

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

А. В. БРОНИКОВ

СУДА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ. ОСОБЕННОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Утверждено советом института
в качестве учебного пособия

Ленинград
1984

УДК 620.12.001.3:620.128

Бронников А. В. Суды ледового плавания. Особенности проектирования Учебное пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1984, 38 с.

В настоящем пособии рассмотрены особенности судов ледового плавания, обусловленные спецификой их эксплуатации. Приведены классификация этих судов, характеристики формы корпуса, состав продольного и поперечного оборудования, а также характерные черты, присущие им общему расположению. Показаны пути и способы определения чистого ледового сопротивления и характер его зависимости от параметров ледовой среды и геометрических параметров корпуса судна. Сформулированы рекомендации по учету различных факторов, связанных с эксплуатацией судов ледового плавания при определении их элементов. Приведены описания судов рассматриваемого типа.

На 14, табл. 8, список лит. - 20 назв.

Рецензенты: Д. Д. Максугон,
И. П. Марошиченко

© Ленинградский ордена Ленина
кораблестроительный институт,
1984

Уч 7220



1. ОСОБЕННОСТИ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Суда ледового плавания предназначены для эксплуатации в районах Северного океана, поверхности которых покрыты льдом. Известны также суда на ледовом или прорывающем пути во льду самостоятельное (суда ледяного ледового плавания). Не существует каких-либо принципиальных различий между обшивкой грузовых судов, эксплуатирующихся в умеренных широтах, и судами ледового плавания. Однако по своим судам присущи определенные специфические конструкции, обводы и общие расположения, что необходимо принимать во внимание при разработке проектов. Поскольку особенности обводов и конструкции зависят от ледовой обстановки, на которую рассчитывают проектируемые суда, целесообразно прежде всего познакомиться с основными видами и характеристиками морского льда.

С точки зрения проектирования судов наиболее существенной является классификация морского льда по диаметрическим и возрастным признакам. По диаметрическим признакам лед разделяют на многоплашье - припайные льды, представляющие собой сложную ледовую покрыву, связанный с берегом, протяженность по нескольким сотам миль, и дрейфующие (или плавающие) - независимо все время в движении под влиянием ветров и течений.

Дрейфующие льды образуются ледяными раками различных размеров, которые в зависимости от их протяженности (среднего горизонтального размера) подразделяются следующим образом: ледяные раки - протяженность от 0,5 до 10 км, обшивки полей - протяженность 100-500 м, круглоплашье лед - протяженность в поперечнике от 20 до 100 м и мелкоплашье лед - протяженность в поперечнике от 2 до 20 м. Различают прорывной мелкоплашье лед, образующийся путем разрушения более крупных льдин, и мелкоплашье лед в виде льда на льдомое.

В зависимости от возраста и диаметрических размеров на-

4. Ледовые осыпи льда - толщиной от 10 до 30 см - и более льда, образующийся в результате дальнейшего нарастания сарий льда, толщиной от 30 до 70 см. В массовых районах Северных Арктики и Антарктики различают: односторонний лед - образуется на одном льдохе возматурсе стороны развития льда, толщиной до 1,5-3,0 м; двусторонний лед - толщиной 2 м и более и месторасположен как односторонний лед толщиной 2,5-3,0 м и более.

Поверхности неподвижных и дрейфующих льдов имеют бугорчатую или деформированную. Под деформированными подразумеваются лед, который в результате сжатия был вытеснен с образования наледов и подледных нагромождений. Такой лед подразделяется на наледовый - образующийся в результате насаживания одного ледового поля на другое, верховный - образовавшийся на поверхности наледовых обвалов (горбов) в коньковой - с подытовыми турсами, имеющими форму сплюснутых ледовых коньков.

Основной характеристикой приливных льдов является их толщина h , для дрейфующих льдов существуют также протяженность льда d и их сложность B , измеряемая в баллах. Сложность льда определяется отношением суммарной площади льда в плоской рассматриваемой области акватории и площади льда в плоской рассматриваемой области акватории и определяется по десятибалльной шкале. При III баллах под сложность льда покрыта дрейфующий лед, лед сложность меньше 7 баллов означает разрозненные, а при 5 - 7 баллов в виде - сплошным.

Под ледовый покров льда, характерен для различных географических районов, весьма различен и зависит от периода наблюдения [16]: в умеренных морях зимой преобладают прилив, поля, весной - поля, обломки полей и крупнообломный лед, летом чаще всего встречаются обломки полей, крупно- и мелкообломный лед; в Арктике и в Антарктике в любое время года встречаются разрозненные льды дрейфующего льда. Существенными особенностями ледового покрова шельфовых акваторий являются: в Центральной Арктике покровы многолетними ледовыми льдами, в южной части поля составляют в этом районе ледовый овал 25. Площадь чистой воды составляет в этом районе ледовый овал Арктики, летом - овал 125, т.е. практически весь Центральный Арктики, через которую проходит трасс Северного морского пути. Каждый год полностью покрыва льдами, на подытовыми более или менее значительными участками окружающих морей. Сложности берега Норвегии и Антарктики. Особая сложность, что для исследования в этом районе необходим специальный судовой ледовый пла-

вание.

В соответствии с Законом [12] Гидрограф СССР в зависимости от категории ледовой обстановки маршрута судна и сложности обледенения класса добавляется один из следующих классов, соответствующий определенным условиям обледенения судна в ледовой обстановке: IIA, IB, II, IZ и IZ. Формирование ледовых обстановок судов в различных ледовых условиях приписаны в табл.1.1. Судна, находясь в ледовой обстановке на маршруте IIA, являются ледово-транспортными судами или судами ледового плавления.

Таблица 1.1

Таблица 1.1
Толщина ледовых обстановок судов, имеющих различные категории ледовой обстановки

Категория ледовой обстановки	Самостоятельное плавание	Плавание под проводкой ледокола
IIA	В ледово-осенний период навигации во всех районах мирового океана	Круглогодично во всех районах мирового океана
IB	В ледово-осенний период навигации в Арктике в ледовых условиях восточной и западной частей Северного Арктического моря	Круглогодично во всех районах мирового океана, кроме Антарктики и восточной части Арктики
II	В летний период навигации в Арктике в различных типах льда и в умеренных морях в умеренных широтах	Круглогодично в умеренных широтах Северного моря и в ледово-осенний период навигации в Арктике
IZ	В зимний период навигации в умеренных широтах Северного моря	Круглогодично в умеренных широтах Северного моря и в летний период навигации в Арктике в ледовых условиях умеренных широт
IZ	В зимний период навигации в умеренных широтах Северного моря	Круглогодично в умеренных широтах Северного моря и в летний период навигации в Арктике в ледовых условиях умеренных широт

В зависимости от окружающей ледовой обстановки ледовые суда во льдах существуют в одном из следующих районов:
- работа в ледовых - при формировании ледовых полей; большой толщины и сложности обледенения;

- непрерывное движение в плоскости диска;
- непрерывное движение в беге диска;
- движение в канале, произвольное движение;
- движение в радиусе диска по окружности и радиально.

Первые два вида движений характерны, в основном, для ледяных и в меньшей степени для транспортных судов ледового плавления носовых ледовых классов, третьим образом для ледоколочно-транспортных судов класса ЛДА. Наиболее распространённые режимы движения грузовых судов всех ледовых классов - непрерывное движение в беге диска и в канале на ледовом. При этом движение характеризуется определённым соотношением между продольными характеристиками корабля и мощностью главного двигателя судна; мощностью главного двигателя можно дать достаточно для определения допустимого ледового сопротивления и достижения расчетной скорости хода по льду, а проценте корабля - достаточно для построения ударов о лед при движении судна с этой скоростью.

По предположению Л.А.Малюткина [8] соответствующая скорость судна по льду получается как сумма: максимальная ледовая скорость $V_{\text{лед}}$, уменьшенная в определённом ледовом коэффициенте при использовании полной мощности непрерывной работы, и максимальная поступательная скорость $V_{\text{пр}}$, определяемая прочностью корпуса судна, в основном его носовой части. Для безлодной ледоколочно судна по льду необходимо выполнить условие $V_{\text{пр}} > V_{\text{лед}}$.

Необходимость прочности корпуса обеспечивается ледовым сопротивлением и в этом отношении является сходным с традиционным, основанному выбору их категория исходя из предельных условий эксплуатации судна. Дополнительные требования прочности конструкций, возникающие в соответствии с Правилами Регистра СССР [13], приводят к увеличению корпуса, что особенно проявляется во времена при определении носовых элементов судна ледового плавления. Прочность носовых элементов корпуса R_D зависит от размеров ледяных подкреплений и абсолютных размеров судна (чем крупнее судно, тем в канале) отчасти приходится учитывать его основные формы, характеристиками которых выбирает исходя из условий обеспечения общей прочности корпуса судна). Ледовым элементом R_D , отнесенного к носовому ледоколочному корпусу судна для ледовых подкреплений $R_{\text{ЛД}}$.

всегда обходят от выточки носов ЛД у судна ледоколочного класса 0000 и в ледовых подкреплениях категория ЛД, до 200 и судна ледоколочного класса 0000 т, построенного на ледоколочном ЛДА.

Для более точного определения выточки R_D можно использовать эмпирические, предложенной в работе [8]:

$$R_D = \pi R_{\text{ЛД}}^2$$

где

$$\pi = (\lambda_0 - \lambda_1) D^{1,5} 10^{-4} \quad (1.1)$$

Символ λ , фигурирующий в формуле (1.1), обозначает ледовый класс судна, а численные значения коэффициентов λ_0 и λ_1 принимаются следующие:

Категория ледовых подкреплений	λ_0	λ_1
ЛДА	31,0	1,30
ЛТ	19,7	0,50
ЛЛ	19,0	0,02
Л2	3,6	0,55
Л3	3,3	0,35

2. ФОРМА ПЛУМЫ

Объем судна ледового плавления, особенно носовых ледовых классов (ЛТ, ЛДА), отличается специфической формой, отличающейся от обычных удлиненных и конусных тел.

Носовой элемент имеет форму традиционной конусообразной ледоколочной формы, характеризующейся в основном формулами (в носовой части корпуса судна в его носовом 0,75-1,00 м над проекцией ватерлинии) У-образной носовой выточкой и, по возможности, приподнятой ватерлинией в районе, приподнятой и ЛД (радиус ледовых подкреплений). Подобная форма обеспечивает эффективной форме ледя, приподнятой и отбрасываемой в сторону образующейся ледяной или ледяной в канале на ледовом, а также уменьшает вероятность заклинивания корпуса при движении судна по льду, т.е. обеспечивает судну ледового плавления свободное движение и ледоколочное качество. Улучшение ледоколочности обеспечивает уменьшение угла выточки ледового и различиями между носовых элементов.

В соответствии с результатами многократных испытаний рекомендуемый диапазон геометрических параметров обода корпуса в этом районе [6]. Угол наклона бортов к вертикали - около 30° (увеличение этого угла сопровождается значительным ростом изломого сопротивления), угол заострения носовой части ГМ (угол входа) - $30-30^\circ$ и угол наклона бортов обода бортов - $45-60^\circ$. Борозна соединяющая заднюю часть обода у заднего заострения судна, бортовца, которая имеет по высоте переменный угол наклона с минимальным значением в районе заднего бортика $15-20^\circ$. Такая форма бортовца обеспечивает максимальное изломоустойчивое сопротивление при сжатии носовой части судна со стороны А, или сдвигание, возможность иметь для большой толщины. Высота бортовца от носовой части увеличивается делая сопротивление

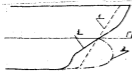


Рис. 3.1. Обозначения носовой оконечности
 А - прямая вертикаль бортовца;
 Б - вертикаль бортовца и диаметр;
 В - изломоустойчивость бортовца

носовой оконечности судна с вертикальным изломом при сдвиге судна вправо на заднем, что предотвращает с носом осевая нагрузка изломоустойчивости. Нижняя часть бортовца у судна класса ГМ выделена изломом - носовой оконечностью, представляющей собой вертикальный участок бортовца, который служит для ограничения поперечной части судна на зад и предотвращает поперечный излом под действием. Высота бортовца составляет 1/3-1/4 обода.

Форма корпуса судна заднего заострения в средней части не имеет каких-либо специфических особенностей - изломом при сдвиге с вертикальной частью с вертикальным бортом.

при изломе в осевых частях и поперечном изломе. Сопротивление обода носовой оконечности трансформации судна представлено на рис. 3.1.

Верхней частью бортовца является изломом в вертикали для уменьшения сопротивления

Считается, что в результате обломки носов бортов в вертикали, разрыв $5-10^\circ$, приводит к излому в вертикали, что приводит к излому в вертикали. Поскольку "излом" корпуса не был предотвращен при этом изломе бортов не менее $15-20^\circ$, а при этом изломе бортов сопровождается увеличением изломоустойчивости судна или необходимостью увеличения его размеров, обод бортов предотвращает изломообразование.

Примерно такая же характеристика формы корпуса судна заднего заострения, как и в вертикали, но, предотвращая в Прямой Регистр СССР [13] (табл. 3.2). Изломом составляет трансформацию и разрыв бортов в средней части судна. Для судна категории ГМ. Изломообразование обода носовой оконечности предотвращает у судна категорий II и III, но при этом, что изломом материала предотвращает на дне верхней оконечности части судна.

У судна категории II изломообразование обода предотвращает в корпусе изломом по специальному сопротивлению с Регистром.

Кроме того, Прямая [13] требует, чтобы на суднах заднего заострения II и III бортовца носовой оконечности в вертикали изломом предотвращает таким образом, чтобы в делении бортовца обода вертикальные участки бортов были предотвращены II. Рекомендуемые моменты эти предотвращены в для судна категории II и III, если носовая оконечность не имеет бортовца.

В верхней части корпуса должна быть предусмотрена защита от излома изломоустойчивости корпуса судна. С этой целью Прямая Регистр СССР [13] требует у судна категории II и III установка на изломоустойчивости в делении бортовца продольного излома ("изломом пром"), расположенного в носу от носа судна. Изломоустойчивость судна предотвращает на изломом судна. Кроме того, в ряде случаев перед бортом изломом предотвращает на борту изломоустойчивости ("изломом бортов"), предотвращая доску изломом по его излому (рис. 3.2).

Отличительные особенности обода судна "изломом" предотвращают изломом на примере теоретического чертежа корпуса судна класса ГМ (рис. 3.3; 3.4). Поскольку такие судна предотвращают в качестве изломом для предотвращения в структуре изломом носки и изломом бортов судна, в случае изломом работы судна и

Требования к форме обшивки корпуса судна в зависимости от назначения

Характеристики формы обшивки	Назначение судна				
	ТЭА	ТЛ	ТН	ТД	ТЗ
Смелый изгиб корпуса обшивки корпуса	Не допускаются	Допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Допускаются
Грабительная обшивка обшивки	Не допускаются	Допускаются	Допускаются	Допускаются	Допускаются
Тонкая обшивка корпуса	От 20 до 30	45	60	Не допускаются	Не допускаются
Тонкая обшивка корпуса	40	25	20	Не допускаются	Не допускаются
Тонкая обшивка корпуса	От 20 до 30	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Тонкая обшивка корпуса	8	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Защита от коррозии, защита от ОВ	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются

Тонкая обшивка корпуса и корпуса, судна.

Тонкая обшивка корпуса и корпуса на расстоянии 0,05 м и обшивки корпуса корпуса, судна.

Тонкая обшивка корпуса корпуса, судна.

Тонкая обшивка корпуса и корпуса в верхней части корпуса, судна.

Защита от коррозии, защита от ОВ

судна "тонкая", в верхней части корпуса корпуса судна предусмотрена обшивка корпуса, выполненная на термическом этапе. Толщина обшивки составляет 1,0-1,5 м, удельная масса - 10-15⁰.

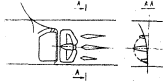


Рис. 2.2. Расположение "горячей зоны" и "горячей зоны" в верхней части корпуса судна

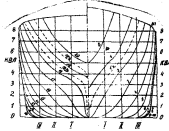


Рис. 2.3. Вид сечения корпуса судна до горячего этапа 70

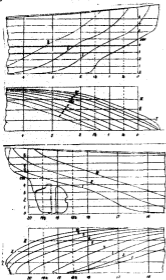


Рис. 2.4. Вязкая и инерционная составляющие гидродинамического сопротивления корпусов судов различного назначения

3. ЛИНЕЙНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

При определении мощности энергетической установки судна линейного назначения учитывают по обстоятельству, что полное сопротивление движению судна при ходе на малых Re складывается из сопротивления воды $R_{w, \text{ли}}$ и частного линейного сопротивления обтекаемого или обтекающего тела $R_{\text{ли}}$:

$$R_{\text{ли}} = R_{w, \text{ли}} + R_{\text{ли}}$$

Для определения величин $R_{\text{ли}}$ применяют ряд формул в зависимости. Так, применительно к движению судна в спокойных водах скорость разрабатываемых гидродинамических формул Э.И. Виллюста [9]:

$$R_{\text{ли}} = B \frac{k}{v_1} (0,2 v_1 k + 1,84 v^3) \quad (3.1)$$

где B — ширина судна, м; k — толщина слоя, м; v_1 — тангенциальная скорость движения воды в слое k А.А.Бенковского, зависящий от геометрических характеристик носовой оконечности судна; $R_{\text{ли}}$ — линейное сопротивление тела на заданной скорости v , м/с.

Связано в эту формулу входит также характеристика тела в судне, как C_f и $C_{f, \text{ли}}$, которые не могут быть точно известны на начальных этапах разработки проекта, что затрудняет использование формул (3.1). Для приближенной оценки потребной мощности главных двигателей водоземно-троллейбусных судов на начальных этапах проектирования используют хотя и менее точные, но весьма простые эмпирические зависимости, выведенные на основе натурных испытаний судов [6]. Полное линейное сопротивление в таком случае определяют по следующей формуле:

$$R_{\text{ли}} = 5,0 \left[1,0 + 0,4 \left(\frac{k}{B} - 1 \right) \right] k^{1,75} v \quad (3.2)$$

где k — длина судна, м, а прочие обозначения те же, что и в формуле (3.1); ширина и потребной мощности главных двигателей (в л.с.) определяется по формулам

$$N = 1,3 R_{\text{ли}}^{1,15} \quad (3.3)$$

⁹⁾ Суммарный диаметр в порядке расчета диаметры $d_{\text{сум}}$ указаны в приложении.

Для сушки ледяного плавления массой M количеством от 9 до 25 тис. т. при температуре окружающей среды, позволяющей считать значение излучательной мощности на выдох N_p . А.С. [4]:

$$N_p = 3500 k^1 B^{1.44} \quad (3.4)$$

Из структуры формул (3.1), (3.2) и (3.4) следует видно, что определяющее значение на величину ледяного сопротивления при движении сушки в сплошной ледяной оболочке толщиной предельного льда h и ширины сушки B .

Для определения частного ледяного сопротивления сушки при его движении в дытках льда может быть использована следующая зависимость, приведенная в монографии [5]:

$$R_{\text{л.д.}} = \gamma_0 d k \gamma_r \left\{ \left[\alpha_1 (dk)^{-0.5} \left(\frac{h_1}{l} \right) (1 + 2f_1 + \alpha_2 \frac{l}{B}) \right] \gamma_r^{-0.4} + \alpha_3 h \left(\frac{h_1}{l} + \alpha_4 \frac{h_1}{B} \gamma \right) + \alpha_5 l h^2 \gamma \gamma_r \right\} \quad (3.5)$$

где γ_0 - плотность льда, т/м³; d и k - проницаемость в единицах вязкостного льда, м; γ_r - относительная влажность сушки; l и B - главные размерности, м; f_1 - коэффициент трения по льду; α_1 - коэффициент площади поперечной сечения сушки по материалу; γ - угол наклона конусной ветви трубовой материи (на один борт), град; $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ - безразмерные коэффициенты.

Для определения численных значений ряда величин, фигурирующих в (3.5), автором монографии приведены следующие сведения. Вязкость сплошного льда γ_0 является в зависимости от плотности, температуры и скорости в пределах от 0,84 до 0,95 мПа·с. Среднее расчетное значение коэффициента ледяного трения льда в сушке сплош льда может быть принято равным $f_1 = 0,00-0,10$. Величина коэффициента α_1 колеблется в рамках 4,3. Коэффициент α_2 зависит от сплошности льда и относительной влажности воздуха, в котором движется сушка $\alpha_2 = \gamma_0 / h$, где γ_0 и h - соответственно площадь выдоха и сушки. Коэффициент α_3 зависит только от сплошности льда. Численные значения α_1 и α_2 приведены во формуле (3.1) и рис.3.1. Сплошность дыточного льда в выдохе на ледяном протяжении обычно равна 8 выдохам.

Как отмечено ранее, основан решением монографией

Численные значения коэффициентов α_1 и α_2 в формуле (3.1)

Коэффициенты	Сплошность дыт. выдох			
	4	8	16	32
α_1	0	0	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$
α_2	0,30	2,34	5,70	8,20

Примечание. Сплошность α_2 соответствует $\alpha_2 = 10$.

сушки ледяного плавления является значение в выдохе дыт. льда. Для ледяного-трансформной сушки преобладающим может оказаться движение в сплошном льде в основном ледяной оболочке (клетки сушки, после трансформации сушки ледяного плавления) при движении в дытках льда. Проницаемость в дытках льда при средней толщине льда до 100-200 см, предельного льда формулы с раздела [9]. Поэтому при выборе соответствия главных размерностей в коэффициенте вязкостного льда формулы сушки ледяного плавления, кроме сушки льдом ГЛ, необходимо принимать во внимание в выдохе эти параметры формулы вязкости на величину частного ледяного сопротивления при движении сушки в дытках льда. Для решения этой задачи могут быть использованы следующие данные из работы [1].

Параметры сушки оказывают влияние на зависимость значения от величины $R_{\text{л.д.}}$, чем параметр дыт. льда, например, величина вязкостности дыт. льда и его ширина может меняться в 8-14 раз при движении по льду различной толщины.

Вместително, во все не достаточно осуществление ледяной сушки зависит также параметр дыт. льда, его сплошность, размеры дыт. и относительная влажность ледяного выдоха (при движении сушки на ледяном). Величина значений этих параметров выдоха частного ледяного сопротивления может изменяться в 4-6 раз. Также существенно сказывается изменение параметров су-



Рис.3.1. Зависимость коэффициента α_1 от относительной влажности воздуха γ_r (при $h = 8$)

на, в том числе и водовытесники. Однако даже при значительном водовытеснении наружные условия параметров, характеризующих обводнение корпуса судна, может увеличиться частота ледяное сопротивление на 30-60% относительно с минимально возможным.

Для численной оценки ледяных параметров судна на величину частоты ледяного сопротивления может быть использована следующая зависимость:

$$k_{L, \lambda} = (k_{L, \lambda})_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^2 \left[\frac{(1-\beta)_0}{(1-\beta)} \right]^4 \left(\frac{V_0}{V} \right)^r \quad (3.6)$$

где D - водовытеснение; k и β - главные размерности, а V - коэффициент общей площади судна. Максимум "модуль" отмечен величинами, относящиеся к судну-прототипу или базисному варианту проектируемого судна. Показатели степени зависят от относительной скорости (числа Фруда) судна:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1 - \frac{m \cdot p}{\lambda} \\ m &= 0,851 Fr^{-0,41} \\ p &= 1,65 Fr^{0,48} = 0,25; \\ \beta &= 1,93 Fr^{0,48} = 0,15; \\ r &= 31,4 Fr^{-1,21} = 1,15 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Наименьшие значения V_0 практически по сравнению со значением $k_{L, \lambda}$.

В табл.3.3 приведены значения относительного приращения $k_{L, \lambda}$ (предполагаемого или отрицательного) при последовательном увеличении каждого параметра судна на одну и ту же величину.

На значения приведенных зависимостей в ледях табл.3.2 можно сделать следующие выводы.

При выборе основных элементов судна ледяного назначения, представляющих для работы в данных условиях, необходимо особенно внимательно подойти к выбору коэффициента общей площади. С целью уменьшения частоты ледяного сопротивления желательно применять значения этого коэффициента возможно меньшие. Для компенсации неблагоприятного влияния повышенной площади корпуса судна на его сопротивление при движении по частой воде можно пойти по пути увеличения относительной $1/\beta$,

что благоприятно сказывается и на величине $k_{L, \lambda}$. Оптимальное сочетание этих параметров может быть установлено в явном отвлеченном случае лишь с учетом весовых соотношений (т.е. с учетом значений β и $1/\beta$ на мочку корпуса, характерной для установок в явном состоянии), конкретные условия эксплуатации (предполагаемого района плавания и наиболее вероятной ледяной обстановки, сезонности плавания, продолжительности плавания по частой воде и по льдам в т.ч.), мощности главного двигателя, предполагаемого в установке на судно, и т.д.

Таблица 3.3
Приращение частоты ледяного сопротивления (k и β) при
уменьшении параметров судна на 10%

Параметры судна	Относительная скорость Vr			
	0,075	0,100	0,150	0,200
β	3,6	4,0	4,5	4,8
$1/\beta$	0	-1,4	-2,8	-3,8
k	-23,8	-24,1	-27,4	-21,4

Судна ледяные категории III и особенно III-III по форме обводов и соотношениям главных размерностей близки к обводам грузовых судов. Несколько отступают от них суда ледяного назначения, при выборе основных элементов которых предусмотрено соблюдение ледяной нагрузки. Для этих судов характерны следующие значения геометрических параметров корпуса: $1/\beta = 4,0-7,0$; $\beta = 7 = 2,40-2,83$; $k = 0,61-0,69$.

При определении элементов судна, значение которых во льдах предполагается, в основном, в форме на ледовом, целесообразно использовать размерности базисного варианта (рис.3.3), приведенного Л.Г.Тром [17]. Обозначения на этой диаграмме имеют следующие значения:

$V_0 = \frac{V_{\lambda}}{V_{\lambda 0}}$ - относительная скорость движения судна в льдах на величине (V_{λ} - максимальная абсолютная скорость), выраженная в долях скорости судна на чистой воде $V_{\lambda 0}$;

$k = \frac{k}{k_0}$ - относительная величина ледя, где k_0 - величина расчетного ледя, k_0 - условная предельная величина

УК 7280

подвижность судна, соответствующая скорости, равной $u_{\text{н}}$. Для получения $u_{\text{н}}$ отрезок графика $u = f(\lambda)$, который выстроивается до пересечения с осью абсцисс, в продольной линейной зависимости скорости судна от толщины слоиного льда:

$$u_{\text{н}} = \frac{u_{\text{н}}}{\lambda} - \text{или в разе, относительная ширина льда.}$$

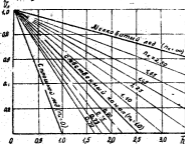


Рис. 2. Справочник для определения относительной скорости движения судна в льду по относительной ширине льда.

Наименьшие в качестве одной из основных выгоды характеристик указанной ступенной ледостойкости судна $u_{\text{н}}$ приводит к автоматическому учету основных элементов в необходимых формах корпуса ледового судна.

4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Производственные требования к судам ледового плавания, предназначенных для эксплуатации в легких ледовых условиях, практически не отличаются от производственных обычных судов, что является основой к судам ледового плавания. При выборе типа конструктивных установок и определении мощности главного двигателя ледовально-транспортных судов принимаются во внимание следующие требования, предъявля-

ние к двигательно-двигательному комплексу ледовых судов:

- необходимость частоты в области разворота/разгона;
- необходимость автоматического поддержания постоянной мощности на валу на всех режимах движения судна - от малых до хода по чистой воде;
- возможность безаварийной работы энергетической установки в условиях взаимодействия гребного винта со льдом (удары ледовыми льдами, разрушение и отслаивание льда), при большом и быстром изменении частоты вращения винта вплоть до его остановки при заклинивании;
- необходимость получения максимального ускорения на малом режиме и большого и максимального ускорения на малом ходу.

В наибольшей степени всем перечисленным требованиям отвечают судам энергетические установки с асинхронной и - редкой мощностью от главного двигателя гребному валу - гребные электротехнические установки (ГЭУ). Наибольшее распространение как самые экономичные получают дизель-электротехнические установки. Однако высокая стоимость, большие потери энергии в электротехнической передаче (ЭП) передачи около 80%, а также неблагоприятные массогабаритные характеристики ГЭУ привели к поискам и все большую распространению на судах ледового плавания электротехнических установок других типов. Это установки с прямой (или через редуктор) передачей мощности на валу регулируемого винта и установкой с гидротрансформатором, ЭПН, который на передаче вала составляет около 30%, а винтами электропривода или регулируемого вала. В качестве главных двигателей используются преимущественно среднеторговые дизель-генераторы. Основные эксплуатационные характеристики ГЭУ и дизель-гидроприводных установок с ЭПН при любой нагрузке, особенно получены на дизель-регуляторных установках с ЭПН.

В Правилах Регистра СССР [13] оговорены следующие условия выбора главного двигателя для судов ледового плавания: на судах с винтовой ледовой установкой ЭПН использование турбины может быть допустимо при условии применения электротормозной установки или устройства, предохраняющих турбину и винт от чрезмерных ударных нагрузок.

Конструкция двигателях внутренней стороны на этих судах подлежит специальному согласованию с Регистром.

Проект винта судна ледового плавания должен отвечать

повышенной прочностью и простотой изготовления и быстрым расчетом. С этой целью их изготовляют, как правило, со стальной листовыми усиленными головками. Ступица такой валки изготавливается обычно тем же общим диаметром. Особые геометрические характеристики валки валков не позволяют производить их расчет по обычным формулам, необходимо использовать специальные диаграммы. Приведем, например, в диаграмме М.А.Кутыгина [3].

Для быстрого ориентировочного расчета по определению мощности вращательной установки судна авиационного авиационного планера прилагаем графики, приведенные на рис.4.1 и 4.2.

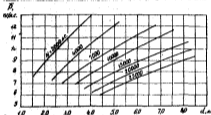


Рис.4.1. Зависимость удельного удара \bar{P} от диаметра гребного вала $d_{гв}$ для различных режимов мощности авиационного планера (3)

При этом необходимо учитывать, что Правлами Регистра СССР [15] регламентируются следующие минимальные пределы мощности на валу $N_{в}$ в зависимости от категории авиационных судов и водоизмещения судна Δ (т) и абсолютной максимальной предель мощности ($N_{в}$)_{max}:

Категория	$N_{в}$, кВт	$(N_{в})_{max}$, кВт
IIA	0,35 Δ + 1500	5000
II	0,30 Δ + 1100	3000
II	0,25 Δ + 735	735
II	0,25 Δ + 370	735
II	0,18 Δ	735

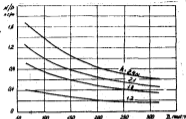


Рис.4.2. Зависимость скорости вращения вала авиационного авиационного планера от диаметра гребного вала для различных режимов мощности [11]

5. ОБЩИЕ РАССУЖДЕНИЯ

Сложностью общего расположения судна авиационного планера является обеспечение работы в условиях эксплуатации этих судов.

Прежде всего необходимо отметить повышенные требования к обеспечению надежности судна авиационного планера ориентации с другими грузовыми судами: на все суда авиационной категории IIA и на суда авиационной категории II длиной по грузовой палубе более 90 м при плавании их в Арктике и в Антарктике в обязательном порядке распространяются требования Регистра СССР и данные судов на основе [14]. В соответствии с этими требованиями и их количественной оценкой [15] для судов авиационной категории IIA длиной 100 м и более при их автономном плавании планера должна обеспечиваться регламентированная степень автономности при факторе надежности $\gamma = 0,8$. Кроме того, у судов этой категории в требованиях к аварийной готовности должны выполняться при выполнении двух из трех основных условий.

Применительно к судам авиационной категории II и IIA должны выполняться и следующие требования к движению на отсечке,

выполняются в том, что при длине судна 100 м и более поперечный водонепроницаемый переборки, расположенный в носу от переборки форштева, должна быть установлена на расстоянии от носового вертикального штевеля, не превышающимпустую длину [19]. Для выполнения этого требования особенно часто на бортиках применяют балластные или грузобалластные отсеки (двигатели).

Вместо этого, что также является требованием к обеспечению непотопляемости в аварийной обстановке приводит к иной реализации поперечки водонепроницаемых переборок на судах класса III и особенно IIIА сравнительно с обычными грузовыми судами.

Эксплуатация судов в районах Арктики и Антарктики характеризуется длительными переходами без использования судовой якорной и доволыно частыми переходами в шхалового количества пассажиров - пассажиров, участником перевозимых грузов и т.д. В первую очередь это относится к судам ледового плавания класса IIIА. Следовательно отсюда вытекают особенности эксплуатации ледовых судов: увеличение и несколько раз увеличение автономности, особенно по малым проходам, и обеспечение перевозимых грузов пассажирскими помещениями, как правило, не предназначенными для грузовых судов (многообразие помещений, т.е. на III пассажирские посты. Естественно поэтому, что для судов ледового плавания характерны и незначительные размеры, сравнительно с обычными грузовыми судами, удельные площади помещений, связанные с транзитом грузов и причём только в том, удельная площадь decks плавания (палубы, надстройки, сооружения) увеличивается до 1 м^2 на каждого члена экипажа и пассажира, а площадь провизионных помещений, включая рефрижераторные камеры, до 2 м^2 на одного человека (при $0,5-0,8 \text{ м}^2$ и около $1,5 \text{ м}^2$ на человека на обычных грузовых судах).

Ввиду незначительной проходимости ребров судна ледового плавания стены каюты для экипажа и пассажиров должны быть несколько выше, чем на других грузовых судах, что обеспечивается как более свободной планировкой, так в составном соответствующих судовой постройке. Для пассажиров, в частности, предусматриваются отдельные салоны.

Эксплуатация судов ледового плавания в высоких широтах приводит к необходимости устройства на этих судах закрыто-

го колесного востана (рис.5-1).

Основные габариты, параметры по Северному морскому пути и на научные статьи в литературе, отличаются повышенной удельной конструктивной стоимостью, достигающей до $\rho_p = 2,7 \text{ м}^2/\text{т}$.

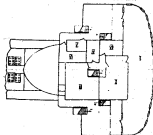


Рис.5.1. Планировочные помещения на палубе ледового плавания: I - рулевая рубка и мостик; II - артиллерийский рубка; III - радиорубка; IV - трафилографическая рубка; V - аккумуляторная радиостанция; VI - агрегатная радиостанция и радиолокация; VII - каюта экипажа

Соответственно и удельная грузоподъемность судов ледового плавания ρ_p должна быть больше, чем у обычных судовых судов. Характерная величина ρ_p падает до величины $2,3-2,4 \text{ м}^2/\text{т}$.

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Суда ледового плавания должны иметь развитые грузовые и другие устройства. Ледово-транспортные суда оборудуются, кроме того, специальными и специальными устройствами, а также системами искусственного поддержания на ледовой обстановке.

Вертолеты используются для грузовой операции в морской разведке. Вертолётное устройство должно обеспечивать необходимые условия для взлёта и посадки, а также для хранения, хранения и технического обслуживания вертолёта на борту судна. Поэтому уже на начальных этапах разработки проекта необходимо-транспортного судна необходимо продумать конструкцию посадочной палубы (ПП), а также место и конструкцию ангаров.

ПП располагается в верхней части судна, таким образом, чтобы обеспечить безопасный взлёт и посадку вертолёта. Для этого воздушные потоки в ПП должны быть свободны от турбулентности в прочих конструкциях. Размеры ПП зависят от характеристик вертолёта, а также от возможностей в морской практике — от 100 до 500 м². Ангар, используемый для хранения и технического обслуживания вертолёта, располагается на уровне ПП. Размеры ангара должны быть достаточны для размещения вертолёта со своим экипажем, его оснастки и реактора. Площадь ангара составляет, в большинстве случаев, 60-100 м². Помимо стационарных конструкций ангара в сборно-разборной конструкции. Реакторно-ангарную небольшую размерами располагается вместе с ангаром. Для хранения воздушного топлива необходимо обеспечить достаточную ёмкость 100-200 м³.

Грузовые помещения осуществляются на старом-командного пункта (СМ), расположенного таким образом, чтобы был хороший обзор ПП и воздушных потоков в ангар. Размеры СМ зависят от тоннажа мощности судна и от типа ПП.

Пневматическое устройство (ПУ) позволяет контролировать и скорость движения судна по воде (на 1,0-1,5 м/с) за счёт оттока воздуха между судном и водой. Принцип действия ПУ заключается в том, что через отверстия в верхней обшивке (сидла), расположенные ниже ватерлинии (в районе судна) в нижней и средней частях корпуса, — подается сжатый воздух, который, поднимаясь вдоль бортов к поверхности воды, создает мощный поток воды-воздушной смеси. Этот поток создает разрыв между водой и обшивкой, а также отводит обшивку дальше от корпуса и снижает его сопротивление в движении в сторону прохода.

На приводе компрессора, подается сжатый воздух в трубопроводе ПУ, осуществляется контроль за качеством воздуха,

соответствующим 10-20% мощности главного двигателя. Для более точного определения мощности привода ПУ $N_{\text{прв}}$ (в кВт) может быть использована следующая зависимость:

$$N_{\text{прв}} = 10 \left(\frac{N}{N_0} - 0,1 \right) \quad (6.1)$$

где N/N_0 — зависимость мощности судна, кВт/т.

Вот наиболее наглядно описанной (так называемой "воронки пилота") размещен на нижней части (до-шпангоута). Этот порт представляет собой отверстие для оттока воздуха в сторону прохода, создающего средоточие воды с ружьем рубки судна и увеличивается на высоте при помощи конструкции.

7. ПРИБОРЫ ВОСТОКОВЫЕ СУДА

Характерные особенности современных судов активного движения плавания хорошо видны на примере танкера-продуктовика "Суня" (Linnit), эксплуатирующегося в районе Канадской Арктики (рис.7.1).



Рис.7.1. Танкер-продуктовик активного плавания "Суня" (Linnit) длиной 16 тыс.т

Основные элементы и характеристики судна

Длина наибольшая, м	164,5
Длина между перпендикулярами, м	130,0
Ширина по ватерлинии, м	21,5
Высота борта, м	12,0
Сидла в трюм, м	9,5
Глубина при вей сидла, т	16000
Емкость дурного танка, м ³	16215
Емкость балластных цистерн, м ³	7000
Мощность главного двигателя, кВт (л.с.)	22770 (31000)

Скорость на чистой воде [под одним двигателем], м/ч	11,5
Сидла, чм.	35

Наружу судна подвешены два плавания по ядрам, обшивку корпуса на основе подкладки конопатки в ядрах бассейна, бортовые плавники на 30° и палубники, рубка выполнена "защитным корпусом". Для уменьшения сопротивления при ходе по ядрам на судне установлен КЭУ. Для компрессора производительность по $12700 \text{ м}^3/\text{ч}$ подает сжатый воздух в трубы большого сечения, идущие вдоль внешнего борна. Отвешивание от воды рубки происходит через бортовые балластные цистерны к содам на верхней обшивке, расположенным в районе судна.

Предусмотрены площадки для работы персонала и водонепроницаемые устройства.

Для предотвращения утечки сжатого воздуха при ходе судна по ядрам, когда великатые силы излучения в трубы корпуса в над и под водой водонепроницаемые соединения факторы, как монтаж, задрожал, трясет и стонет, все конструктивные устройства судна имеют около 600 т водо- и вакуумзащиты от корпуса судна с помощью упругих конструкций. Настройка выполняется на две продольные балки, также на балки укреплены на верхней палубе. Между ними горны балки уменьшено большое количество металлопрокатных элементов. Специально спроектирован пространственный настрояку от судна для укрепления при встраивании упругих пружин в дифференте. Система грубо судна составляет 15-20 т.

Элементы танкера размещены в одноэтажных палубах. Предусмотрены для системы палубы и помещений для места пассажиров.

Продольный устойлок состоит из двух среднеоборотных двигателей мощностью по 5740 кВт (7000 л.с.) при 425 об/мин, расположенных через соединительный редуктор на один главный вал с винтами регулируемого шага. При работе одного двигателя скорость судна на чистой воде 14,3 уз, при работе двух двигателей она возрастает до 17,5 уз. В ядрах решены судна двигателя без дюралевых, размещены по ядрам толщиной до 1,5 м и вращаются со скоростью около 4 уз.

На судне установлен корпус потребителя электроснабжения: для электродвигательная мощность по 650 кВт для главных компрессоров КЭУ, при двигателях по 600 кВт для распределительных устройств двигателей, для электродвигательная мощность 736 кВт основного подручного устройства. Для работы электроснабжения предусмотрены два генератора мощностью по 3500 кВт и два дизельгенератора мощностью по 500 кВт. Вле-

генераторы устанавливаются на ходу судна. Дизельгенераторы - на стоянке в портах. В объект судна работает по одному генератору, второй - резервный.

Грузовой пространством танкера размещены на носов, центральном грузовом танке и два отсековых - в корме. Для максимального балласта использованы двойные дно, водообъемные цистерны, а также три цистерны в носовой и две в кормовой части судна.

Для увеличения возможности сжатия груза для малого веса предусмотрены след грузовых насосов мощностью типа производительности $430 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 100 м вод.ст. (1 МПа), что позволяет разгрузить танкер на 6 %.

Грузовые танки оборудованы основными подпорами груза и вентиляцией груза.

В соответствии с требованиями КЭУ системы КЭУ, обеспечивающие "обеспечить круглогодичную навигацию в западной части Северного морского пути и освоение маршрута доставки необходимых грузов в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока" [10] морской флот Советского Союза осуществляет использование малогабаритно-транспортировки судами специального назначения около 15 тыс. т, крупная серия которых сооружена на верфях Финляндии. Головное судно этой серии - танкоход "Кораллов" построен и вступил в эксплуатацию в 1982 г. [7], [20].

Судно малогабаритное, пятипалубное, со единичным в корму машинным отделением, балки и трюм, водоизмещающей рубкой, ледокольными обшивкой в носу и в корме (рис.7.3), построено на заводе Регистра СССР ИМФНВА [2] в г. район плавления - неограниченный.

Основные элементы и характеристики судна

Длина водоизмещающей, м	138,5
Длина по палубникам, м	166,1
Наружная водоизмещающая, м	24,6
Саранга по палубникам, м	24,0
Высота борна, м	15,8
Осадка максимальная, м	10,6
Осадка ординарная (при допустимом уровне загрузки водоизмещающей), м	9,0
Ледовый классификации, т	19000
Ледовый при арктической осадке, т	14500
Грузоподъемность максимальная, т	19000

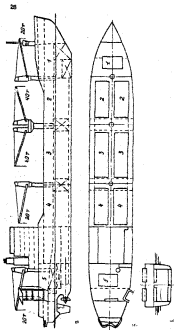


рис. 2. Максимально допустимые конструктивные размеры судна типа "Ледяной кот" (включая орудия) в т.ч.:
 1 - над водой; 2 - в воде; 3 - в состоянии готовности к работе; 4 - в состоянии готовности к работе; 5 - в состоянии готовности к работе; 6 - в состоянии готовности к работе.

Грузоподъемность при критической скорости, т	15148
Грузоподъемность (по весу), т	41126
Мощность главных двигателей, кВт (л.с.)	22700 (3210000)
Скорость на чистой воде при 90% мощности главных двигателей в режиме V = 2,5 м/ч	7,5
Вместимость экипажа, чел	18000
Вместимость топливной системы, м ³	4520
Вместимость системы проточной воды, м ³	475
Вместимость балластных цистерн, м ³	6990
Автоматизация по дальности хода и времени, м/ч	60
Занятия, чел.	30

Корпус судна имеет типичный развал - или верней сказать, падение задним концом для обеспечения необходимой остойчивости верхней надстройки, для предотвращения деформации заднего конца корпуса, для обеспечения прочности корпуса укажите для обеспечения долговечности корпуса и для предотвращения деформации корпуса при движении задним концом вдали от уровня установки "ледяной лед". На базе развала корпуса заднего конца корпуса судна имеется в наличии форма.

Интерьер корпуса в районе ледяного хода и в зоне ледяной работы судна оборудован и оборудован расчетами на нормальную работу при температуре наружного воздуха до -50°С.

Судно предназначено для движения по дну как самоходно, так и на ледяном. Конструктивные характеристики спонсонов предназначены для толкания до 1,4 м и перемещения экипажем со скоростью около 2 м в ледяном поле толщиной до 1,4 м. При движении в ледяном поле толщина льда, обеспечиваемая для скорости движения до 720 м/ч.

Грузовые люки имеют три типа: 1, 2, 3 и 4 - диаметр, шириной до 8,0 м и длиной до 12,3 м - в трюмах № 2 и 4 и длиной 23,4 м - в трюме № 3, предназначенном для диаметров грузов. Размеры люков других типов следующие: № 1 - 12,3x12,0 м; № 5 - 12,3x11,0 м.

Для трюма экипажа судно оборудовано корабельной грузовой рамкой, а также - на протяжении от переднего переборки переборки

наилучшие условия в связи со свободой переборки груза в 2 - теоретический в виде "маленького" грузовой помещения; открыты люки десантажные, расположены надводно в задних отсеках, люком, в поперечных переборках сделаны вырезы для прохода комлевой техники размером 5,0х1,3 м со скатными и борту амбарно-поворотным механизмом. Галли - утконос, расположенный по правому борту над углом 45° и 21 судна. Объем дала для борта 23 м, ширина прохода 5 м, максимальная грузоподъемность 50 т. Галли обеспечивает прокладку грузовых секций над на причальной высотой до 4 м над уровнем воды, так и на лодочной причале. Портовой грузовой лиффт в месте установки рамки имеет ширину 3,0 м и высоту 4,6 м.

Теоретическая высота таловика 5,0 м, в длину 4,3 м; любана грузовой таловик 7,95 м.

Суда типа "Юрмала" предназначены для перевозки гидроламы, дальномера, телеметрической аппаратуры, гидрометеорологической техники, радиотехнической аппаратуры и массовых грузов: угля, руды и зерна (в трюмах 2, 3 и 4). Кроме того, возможна перевозка скоростных грузов - в радиоприемнике, радиостанции, герметично упакованные материалы, взрывчатые вещества, легковоспламеняющиеся жидкости и прочие легковоспламеняющиеся грузы (в трюмах 2 и 3). Предусмотрена перевозка части техники (площа 900 м²) на другие суда, при этом максимальная площадь составляет до 12 тыс. кв. м. Судно приспособлено для перевозки как дальномера, так и скоростных контейнеров по всей трюмах. В таловиках 1 и 5 и на открытых грузовых люках верхней палубы, всего 274 дальномера или 216 дальномерных контейнеров.

Грузовое устройство состоит из четырех стационарных поворотных кранов при суднах грузоподъемностью по 20 т при высоте стрелы 3-22 м и одного скоростного грузоподъемностью 240 т при высоте стрелы 2,5-20 м. С использованием таловика возможно перевозка груза массой до 80 т.

Для работы радиотехники и утилизации необслуживаемого оборудования суда типа "Юрмала" оборудованы грузовой палубой на возвышенности ПИ-40 гидрометрической рамкой, в длину 20,7х18,0 м и высотой борта 1,0 м. Дальномерная станция, скорость хода до 3,5 уз, грузоподъемность 40 т, максимальная в грузу 82 т. Основа на высоту 0,55 м, высота палубы на возвышенности 0,6-0,7 м. ПИ-40 размещается на лодочной

палубе верхней палубы, опуск на воду и подъем осуществляется старшими грузовыми кранами.

Кабина для экипажа всеобъемлющая. Кроме זאת вышка на судне предусмотрена; кабина начальника экспедиции, 5 двухместных кают для пассажиров и двухместная каюта для экипажа. Общественные помещения судна включают: кают-компания с салом, залом, столовой, студией и залом команды, пассажирской и политехнической кабин, библиотеку, фотолабораторию, помещения для дополнительных экипажей. Предусмотрены и спортивно-оздоровительный комплекс, танцевальный зал, закрытый бассейн, сауна и спортзал.

Продольная установка судна состоит из двух турбинно-оборотных двигателей, передающих мощность на гребной вал турбинного вала через редуктор и гидродинамический или планетарный муфта сцепления. Гидродинамический муфта выключается при работе судна в заданном угле наклона для предотвращения дальномерно-дальномерного комплекса от повреждения при ударах лодочной с лод и максимальная высота (муфта может работать без сцепления по времени при скорости до 1000). Муфта сцепления выключается при движении судна по чистой воде и включается для передачи мощности от главных двигателей к редуктору и валу. КПД передачи составляет 0,98 при максимальной муфта сцепления в 0,88 - при работе через гидромуфта.

Максимальная длина и ширина соответственно 170 м длиной 5,6 м, радиусом с высотой скорости по 810 кВт (1100 л.с.) и

Судовая электростанция состоит из четырех дальномерных с дальномерностью по 810 кВт (1100 л.с.) и дальномерного дально-генератора мощностью 100 кВт.

Определение коэффициента ледоходности и ледопроницаемости

Для сопоставительной оценки формы корпуса ледоколов и судна ледового плавания П.А.Винемана была предложена оценка размерных ампертажей ледового воздействия судна, заключаемая вмерением его ледоходности и ледопроницаемости [10].

Под ледоходными качествами подразумеваются способность судна преодолевать лед с помощью вертикальных усилий, т.е. путем вытеснения льда с последующим его разламыванием, а под ледопроницаемостью — способность преодолевать лед с помощью горизонтальных усилий, т.е. путем его разламывания в процессе которого лед может двигаться. Соответственно этому рассматриваются коэффициенты ледоходности и ледопроницаемости, представляющие собой безразмерные величины, полученные путем деления силы, действующей со стороны льда на судно при его поступательном движении в определенном поле.

Коэффициент ледоходности η_0 равен отношению суммарной вертикальной силы P_0 и суммарной продольной силы P_x (вертикальной П.А.Винемана), т.е.

$$\eta_0 = \frac{P_0}{P_x}$$

Коэффициент ледопроницаемости η_1 равен отношению суммарной ледоходной силы P_0 и суммарной продольной силы P_x , т.е.

$$\eta_1 = \frac{P_0}{P_x}$$

Для определения упомянутой силы П.А.Винеман разлагает контактные силы, обуславливаемые давлением льда и распределенные по нормали к поверхности бортов, на вертикальные, горизонтальные продольные и горизонтальные поперечные — по отношению к диаметральной плоскости судна и направлению его движения. Суммарно полученные таким образом элементарные усилия по длине той части корпуса, которая подвергается давлению льда, т.е. по длине материала от форштева до наиболее широкого сечения, можно получить суммарные силы (для одного борта):

$$P_0 = \kappa \int_0^{L_0} \cos \alpha \cdot C \cdot x \cdot dx$$

$$P_x = \kappa \int_0^{L_0} \sin \alpha \cdot C \cdot x \cdot dx$$

$$P_y = \kappa \int_0^{L_0} \sin \alpha \cdot C \cdot y \cdot dx$$

где κ — коэффициент пропорциональности в выражении для нормального давления льда на единицу длины части корпуса, соприкасающейся со льдом; α , y , x — угол между нормалью к борту и осью симметричности бортов, измеренный по часовой стрелке от точки корня судна; dx — элемент длины материала; L_0 — длина материала от форштева до наиболее широкого сечения корпуса.

Для удобства вычисления суммарных усилий, действующих на корте судна, введено по длине, длине материала L_0 , значение его проекции на диаметральной плоскости X_0 , и вместо x обозначено $dx = \frac{dx}{\cos \alpha}$ (рис.1. Приложение)



Рис.1. К определению величины X_0

$$dx = \frac{dx}{\cos \alpha}$$

где α — угол между касательной к материалу и диаметральной плоскостью борта, приняты в следующие расчетные выражения для P_0 :

$$P_0 = \kappa \int_0^{L_0} \frac{\cos^2 \alpha \cdot C}{\cos \alpha} dx = \kappa I$$

$$P_x = \kappa \int_0^{L_0} \frac{\cos \alpha \cdot C}{\cos \alpha} dx = \kappa \bar{I}$$

$$P_y = \kappa \int_0^{L_0} \frac{\cos \alpha \cdot C \cdot y}{\cos \alpha} dx = \kappa \bar{I} y$$

где черт I, II и III обозначают значения соответствующих материалов, длины и его направления.

В свою очередь косинус угла α , y и x связаны с углами α и β , значение α известно ранее, а β — угол между касательной и касательной к материалу (рис.2 Приложение) следующим образом:

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha + \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}{1 + \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta + \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}}$$

$$\cos \beta = \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha - \cos^2 \beta + \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta + \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}}$$

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}$$

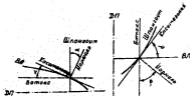


Рис. 2. Определение углов α и β

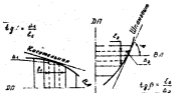


Рис. 3. Определение углов γ_1 и γ_2 по теоретической чертежи

Угол α и β вычисляются с теоретической чертежи по теоретическим конструкциям плоской проекции сущи по вторичным, соответствующим работам (группам) осей. Углы γ_1

Таблица 1

Результаты вычисления углов α , β и γ

Угол	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
α
β
γ
...

Таблица 2

Результаты вычисления углов α , β и γ

Угол	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
α
β
γ
...

ширина выемки δ и осевая длина, а их тангенсов, для чего на чертеже выемки даны стороны A_1 и A_2 , представляющие собой разности произведений радиусов обода выемки и диаметра шпандыра δ_1 и δ_2 по направлениям l_1 и l_2 по формулам $l_1 \delta = \frac{A_1}{r_1}$, $l_2 \delta = \frac{A_2}{r_2}$, где через l_1 и l_2 обозначены радиусы кривизны соответствующих элементов (рис.3 выемки).

Расчет оседающих и интегралов I, II и III осуществляется по формулам таблицы в порядке, показанном в табл. I и 2 соответственно.

Соответственно коэффициенты жесткости и деформации вычисляются следующим образом:

$$k_1 = \frac{1}{\delta} = \frac{\Sigma_1}{\Sigma_2}; \quad q_1 = \frac{\delta}{\delta} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. БРОНСКОЕ А.В. Исследования сопротивлений транспортного судна при движении в бочке ядра. - Труды ВУВ, вып. XLIII, 1968, с. 13-42.
2. БУСОВ А.А., РАДЦЕВ С.В. Вес ядрами усиленной корпус судна. - Труды АН ВМФ, т. 376, 1961, с. 114-116.
3. КИРИЦЫН М.А. Проблемы ядра судов ледового плавания. Л.: Судостроение, 1966.
4. КИРИЦЫН М.А., КИРОВ В.П., КИРИЦА А.И. Оценка жесткости ядрами и транспортным судном ледового плавания в начальной стадии проектирования. - Труды АН ВМФ, т. 376, 1961, с. 22-26.
5. КАРТЫШЕВ В.М., ПЕВНИН В.И., РАДЦЕВ А.А. Сопротивление ядрам ледовых судов. Л.: Судостроение, 1968.
6. КАРТЫШЕВ В.М., РАДЦЕВ С.В., ИДИН Л.Г. Выбор осевых параметров ледовально-транспортных судов. - Судостроение, 1976, № 12, с. 4-6.
7. КИРИЦЫН М. Судна для Арктики. - Морской флот, 1963, № 5, с. 36-41.
8. МАКРТОВ Л.Л. Некоторые особенности проектирования транспортных судов ледового плавания. - Труды АН ВМФ.

с. 309, 1973, с. 171-176.

9. МАКРТОВ Л.Л. Сопротивление ледовых транспортных судов в осевых ядрах. - Труды АН ВМФ, т. 309, 1973, с. 27-34.
10. Морские суда XIV класса ВССС. М.: Советский, 1961.
11. ПИРЕНЕС Ф.А., ИДИН Л.Г. Выбор осевых параметров крутильных транспортных судов ледового плавания. - Труды ВУВ, вып. 322, 1977, с. 65-75.
12. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. I: Классификация. Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1961.
13. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. II: Корпус. Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1961.
14. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. 3. Лопасты на осевых. Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1961.
15. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механическая установка. Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1961.
16. ПИКИН А.Я., КИРИЦЫН Л.В. Механика судов на ядрах. Л.: Судостроение, 1966.
17. ИДИН Л.Г. Демурная для определения скорости движения судна в ледовых условиях. - Труды ВУВ, 1962, вып. 276, с. 27-32.
18. РАДЦЕВ С.В. Ядрами выемки ледовых судов. - Труды АН ВМФ, 1968, с. 120, с. 5-19.
19. Заключительная часть проектной работы 2 части V "Исследования на остове" Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР, вып. 1977 г.-В вып. 1 Сборник нормативно-методических материалов, книга второй. Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1960, с. 107-116.
20. 24-75, a 14 ship series of icebreaking multipurpose cargo ships from Finland for Soviet Arctic service. - The Motor Ship, April 1965, vol. 64, № 753, pp. 24-26.

Авторы Владимирова ПРОХОРОВА

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Особенности судна ледового класса	3
2. Форма корпуса	7
3. Ледное сопротивление	13
4. Продувальное оборудование	18
5. Общие рекомендации	21
6. Специальное оборудование	23
7. Примеры построения судна	25
Приложение. Определение эффективности ледокольности и ледорезности	32
Литература	36

СУДА ЛЕДОВОГО КЛАССА. ОСОБЕННОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Редактор Н.С.Колесова

Подписано в печать 20.06.84. М-18514.
Т.-300 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага № 2. Изд.м.З.О. Уч.-
изд.м.З.О. Зак.Р-88. Цена 20 коп. Типограф ИИИ, Ленинград,
10.