

Ледоколостроению в России более 100 лет. За это время конструкторы и ученые выработали принципы назначения главных параметров и выбора элементов ледоколов. Основной из них – мощность энергетической установки (ЭУ) ледоколов – при переходе от одного типоразмера к другому, более мощному, практически удваивается. Этот принцип среди специалистов известен как «принцип Коваля»*, который находит наглядное подтверждение следующим рядом построенных ледоколов (табл.1).

В 80-е гг. специалистами прорабатывалась целесообразность и возможность строительства ледокола – лидера с АЭУ мощностью 110 000 кВт и даже 220 000 кВт.

АТОМНЫЕ ЛЕДОКОЛЫ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

*С.Н. Климашевский, ст. науч. сотрудник,
В.А. Старшинов, главный конструктор, ОАО «ЦКБ «Айсберг»*

оретических чертежей ледоколов, были проверены на практике. В них нашли применение новые принципы проектирования обводов и винто-рулевого комплекса, целью которых было следующее:

В основу разработок по атомным ледоколам XXI в. должны быть положены следующие требования:

– атомные ледоколы по назначению определяются как линейные с воз-

Таблица 1

Основные типы российских ледоколов

Наименование ледокола	Год постройки	Тип ЭУ	Мощность ЭУ, кВт.	Ледопроездимость, м
«Ермак»	1898	Паровые машины	7360	~ 1,0
«Василий Прончищев»	1961	ДЭУ	3970	0,6
«Москва»	1960	ДЭУ	14720	1,45
«Ленин»	1959	АЭУ	32380	1,75
«Арктика»	1974	АЭУ	55200	2,3

В связи с расширением народнохозяйственной деятельности России в Арктике в 70–80-е гг. потребовалось строительство новых ледоколов, в том числе для проводки судов в Енисейском заливе. Были построены «мелкосидящие» ледоколы типа «Капитан Сорокин» (1977 г.) ледопроездимостью 1,45 м с дизель-электрической установкой (ДЭУ) мощностью 17 170 кВт и л/к «Ермак» (1974) ледопроездимостью 1,8 м с ДЭУ мощностью 30 200 кВт

Длительный период их безотказной работы способствовал принятию решения о строительстве мощных и более широких мелкосидящих атомных ледоколов с одним реактором. На верфях Финляндии и России были построены однореакторные ледоколы типа «Таймыр» ледопроездимостью 2 м с российской АЭУ мощностью 2x18 400 кВт.

В 70–80-е гг. в России и Европе сформировалась группа конструкторов и ученых, работавших над проблемой совершенствования ледоколов и транспортных судов ледового плавания, тесно сотрудничавших друг с другом. Их разработки, включавшие теоретические и экспериментальные исследования, натурные эксперименты, прорисовки те-

– улучшение формы носовых обводов;
– применение направляющей насадки для увеличения упора винтов;
– использование лакокрасочного покрытия корпуса типа «Инерта-160» и листов, плакированных нержавеющей сталью, в носовой оконечности для снижения трения о лед;
– применение пневмо- и водообмыва наружной обшивки для предотвращения облипания, а также уменьшения трения корпуса о лед и снег.

Создание ледоколов будущего и выбора их главных элементов становится принципиально важным в связи со списанием в начале XXI в. большинства ледоколов и ледокольно-транспортных судов, действующих в составе ОАО «Мурманское морское пароходство» (табл. 2), при том что потребность в ледоколах сохраняется. Продолжается круглогодичная навигация на Дудинку. По заказу АО «Росшельф» и судоходной компании «ЛУКОЙЛ Арктик Танкер» выполнены проекты танкеров дедвейтом от 20 000 до 80 000 т [1], по заказу последней построены танкеры ледового плавания типа «Астрахань».

– соответствующей задачи: проводка в круглогодичной навигации судов перспективной постройки, ширина которых может увеличиться в будущем до 40 м [2];

– основные характеристики ледоколов (ширина, мощность, ледопроездимость) должны обеспечить работу судов ледового плавания как на глубоководных трассах СМП, так и в заливах, а также на прибрежных участках шельфа;

– максимальное возможное снижение стоимости АЭУ за счет использования реакторов одного типа, выпускаемых серийно.

В статье разработаны предложения по номенклатуре ледоколов четвертого поколения, их форме обводов и основным элементам.

Опыт эксплуатации ледоколов показал, что выбор формы обводов необходимо проводить с учетом универсального их использования. Такие ледоколы должны выполнять все работы по проводке судов (лидирование, буксировка, околка) на глубокой и мелкой воде в многообразных ледовых условиях – припай, дрейфующий массив льда различной степени сплоченности, тороси-

* Коваль Г.М. (1919-1997) – известный специалист в области ледоколостроения, впервые сформулировавший этот принцип.

Ледокольный флот ОАО "Мурманское морское пароходство"

Суда	Год постройки	Плановый год списания
Атомные ледоколы		
«Арктика»	1974*	1999
«Сибирь»	1978**	2003
«Россия»	1985	2010
«Советский Союз»	1989	2014
«Ямал»	1991	2016
«Таймыр»	1989	2014
«Вайгач»	1990	2015
Дизель-электрические ледоколы		
«Капитан Николаев»	1978	2003
«Капитан Драницын»	1980	2005
*Разрабатываются предложения по продлению срока эксплуатации ледокола.		
**Ледокол находится в ремонте, разрабатываются предложения по продлению срока эксплуатации ледокола.		

стости, заснеженности и разрушенности, в условиях сжатия. Поэтому перспективные ледоколы должны иметь улучшенные традиционные обводы. Доводом в их пользу являются хорошие ледовые качества ледокола типа «Арктика» при работе в разнообразных ледовых условиях, в том числе высокая ледопроечность в дрейфующих льдах [3].

Благодаря научно-оперативному обеспечению с использованием вертолетной ледовой разведки в массиве льда обнаруживаются слабины (трещины, разводья, вставки молодого льда). Поэтому ледокол может двигаться быстрее, чем в припае. Значительно облегчает движение в дрейфующих льдах возможность раздвигания льдин корпусом ледокола, когда они двигаются вдоль борта, соприкасаясь с обшивкой торцевой незаснеженной поверхностью, что существенно снижает сопротивление трения о борт. Это приводит к увеличению скорости ледоколов во льдах предельной для него толщины в 1,6–1,8 раза [3].

С целью улучшения ледопроечности ледоколов в сплошных ровных льдах на ледоколе «Мудьюг» применены санеобразные обводы носа (рис.1) [4]. В дрейфующем массиве льда он не может раздвигать льдины. Поэтому весь массив льда (независимо от его сплоченности), находящийся по курсу ледокола в полосе шириной, равной ширине ледокола, должен быть пройден по схеме, идентичной схеме прокладки канала в припайных льдах. Более того, в разреженных льдах такой толщины, при которой скорость ледокола падает ниже 4 уз, он толкает лед перед собой до тех пор, пока тот не упрется в большое поле. После чего происходит обламывание льда, притапливание под корпус и выталкивание разводящим днищевым клином под кромку канала.



Рис. 1. Носовая оконечность ледокола «Мудьюг» (видны наклонная плоскость носа, ледоразводящий клин и труба якорного устройства). Фото науч. сотрудника ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова А.А. Карелина

Таким образом, имея преимущество при движении в ровных сплошных льдах или припае, ледокол с санеобразным носом теряет его, двигаясь в разреженных толстых льдах.

По результатам комплексных исследований, выполненных с участием упомянутых выше специалистов, предлагаются новые параметры теоретического чертежа (табл. 3). По сравнению с ледоколами, построенными в 60–70-х гг., ледоколы, спроектированные и построенные в конце 80-х–начале 90-х, имеют меньший наклон форштевня к горизонту и больший развал борта в носовой части. В частности, эти рекомендации, проверенные в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, использованы на ледоколе «50 лет Победы». По эксперименту, его ледопроечность должна увеличиться по сравнению с ледоколами этой серии с 2,4 до 2,7–2,8 м.

Благодаря новой форме обводов, а также другим указанным выше мероприятиям ледовое сопротивление ледоколов может быть уменьшено на 25–30%, а ледопроечность увеличена до 30% без увеличения мощности. Такие достижения позволяют по-новому взглянуть на выбор основных элементов ледоколов будущего.

Важнейшим типоразмерным параметром ледокола является осадка. В настоящее время эксплуатируются ледоколы двух типов – мелкосидящие и глубокосидящие.

Осадка перспективного мелкосидящего ледокола выбрана с учетом осадок ледоколов типа «Таймыр». Их минимальная осадка, равная 8 м, удовлетворяет условиям плавания в Енисейском заливе и в Обской губе. Большие значения осадки недопустимы, так как главные и вспомогательные конденсаторы

**Рекомендуемые параметры формы корпуса перспективных
линейных ледоколов**

Основные параметры	Мелкосидящий ледокол		Глубокоосидающий ледокол	
	«Таймыр»	«Таймыр XXI»	«Арктика»	«Арктика XXI»
Отношение длины между перпендикулярами к ширине	5,03	4,43	4,86	4,45
Отношение ширины к осадке по конструктивную ватерлинию	3,46	3,70	2,55	2,9
Коэффициент общей полноты	0,56	0,57	0,546	0,546
Угол наклона форштевня к горизонту, град.	20	20	28	25
Угол наклона борта на мидель-шпангоуте, град.	8	8	20	15
Угол входа ватерлинии на 1-2 шп., град.	25	24	30	22
Угол развала борта на 1-2 шп., град.	53	60	45	50

могут засоряться донными отложениями при маневрировании, а при меньшей осадке уровень воды в ледовых ящиках снижается до опасных значений. Принята осадка по конструктивную ватерлинию (КВЛ) 8 м, а максимальная – 9 м. Осадка глубокоосидающего ледокола по КВЛ принята равной 11 м, т.е. равной осадке ледоколов типа «Арктика».

В разработку облика ледоколов с АЭУ четвертого поколения заложена идея унификации установки на ледоколах разных типов как наиболее дорогостоящего в строительстве и эксплуатации элемента из числа объектов насыщения. Это позволит значительно снизить стоимость самих ледоколов.

Опыт строительства и эксплуатации ледоколов типа «Арктика» и «Таймыр» и работы их реакторов показывал их высокую надежность. Поэтому, учитывая идею унификации главных агрегатов ЭУ, на мелкосидящем ледоколе предлагается один реактор и один турбоэлектроагрегат, т.е. одноэшелонная ЭУ, а на глубокоосидающем – двухэшелонная.

Винто-рулевой комплекс входит в число элементов, определяющих его основные характеристики – ходкость и маневренность. До последнего времени считалось, что для исключения забивания винтов льдом делать винты открытыми. Однако российский морской флот имеет положительный опыт эксплуатации достаточно мощных вспомогательных ледоколов типа «Мудьюг» (9,1 МВт) с двумя ВРШ в насадке. Анализ взаимодействия его

винтов со льдом и аварийность, выполненный в Мурманском и Северном морских пароходствах, а также в филиалах ЦНИИМФ показал их высокую надежность. Поэтому рекомендуется на морских линейных ледоколах средней винт устанавливать в направляющей неподвижной насадке. Находясь в защищенном районе кормы, он будет создавать упор на 20–40% выше открытого винта.

Переменные параметры и номенклатура ледоколов XXI в. оптимизировались в условиях работы в системе «ледокол–судно». Считалось, что одно судно проводится одним ледоколом, как это характерно для зимне-весенней навигации, наиболее продолжительной по срокам в году. Ограничениями в оптимизационной задаче являлись осадка ледоколов, ширина проводимого судна, объемы грузоперевозки и ледовые условия на трассах СМП. Рассматривалась круглогодичная навигация по всему СМП. Принимались средние по тяжести ледовые условия, параметры последних приняты по разработкам специалистов ААНИИ. В качестве перспективного судна принят танкер шириной 38 м [2].

С целью обоснования номенклатуры ледоколов XXI в. рассматривались три типа-размера ледоколов, основные характеристики которых приведены в табл. 4.

В расчете приняты три схемы работы транспортно-спасательной системы:

– Карское море, где осуществляет круглогодичная навигация;

– часть трасс СМП от Карского моря до Восточно-Сибирского, поскольку мелкосидящий ледокол не сможет работать в Чукотском море в круглогодичную навигацию из-за и наличия паковых льдов высокой сплоченности;

– все трассы СМП.

В качестве целевой функции оптимизационной задачи приняты затраты, рассчитываемые по формуле [5]:

$$Z = \Delta + (K_p + E_n) K,$$

где Δ – годовые эксплуатационные расходы (без учета реновационных отчислений); K_p – норма реновации; E_n – норматив эффективности капитальных вложений.

Значение мощности установки мелкосидящего ледокола устанавливались путем оптимизации, ледопроеходимости и ширины при варьировании мощности и других характеристик ледокола.

На глубокоосидающем ледоколе также оптимизировалось сочетание «ширина – ледопроеходимость» при заданной мощности, равной удвоенной мощности ЭУ мелкосидящего ледокола.

Расчеты выполнялись на базе материала [6]. Оптимизационная задача разработана канд. техн. наук Ю.Н. Поляковым.

Расчеты показали, что оптимальная ширина мелкосидящего ледокола равна ок. 30 м, оптимальная ледопроеходимость – около 2,4 м (рис.2). При этом мощность установки на ГТУ, равная около 40 МВт, осталась на уровне мощности мелкосидящего ледокола «Тай-

Основные характеристики сравниваемых ледоколов для выбора их номенклатуры

Основные характеристики	Мощность ЭУ, кВт		
	37 000	74 000	111 000
Длина, м	133,0	142,5	148,5
Ширина, м	30,0	32,0	34,0
Осадка, м	8,1	11,0	13,2
Водоизмещение, т	19700	29000	38300
Количество эшелонов ЭУ	1	2	3
Ледопробиваемость, м	2,3	3,2	4,2
Строительная стоимость, млн. долл.	250	340	410

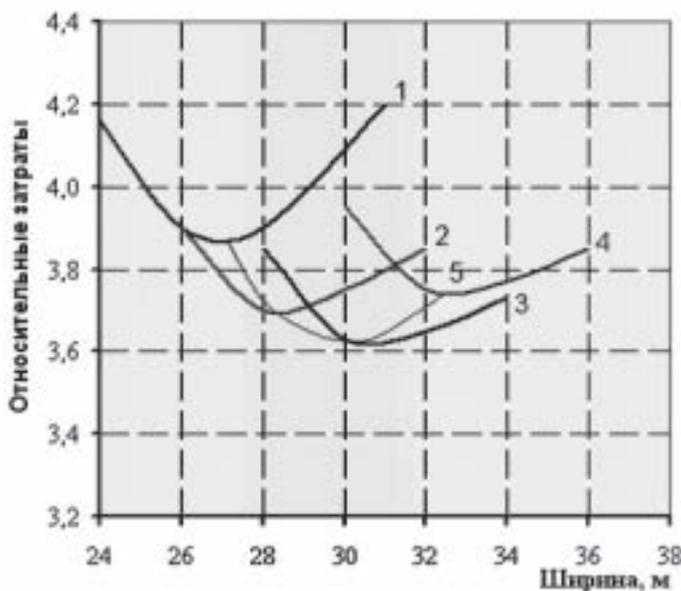


Рис. 2. Зависимость расходов на систему «танкер-ледокол» от ширины и ледопробиваемости мелкосидящего ледокола
1 – $h_n = 2,0$ м; 2 – $h_n = 2,2$ м; 3 – $h_n = 2,4$ м; 4 – $h_n = 2,6$ м; 5 – огибающая по минимумам.

мыр», несмотря на увеличение ширины. Расчеты по оптимизации значений параметров глубокоосидающего ледокола позволили установить следующие их значения: ширина – 32 м, ледопробиваемость – ок. 3,2–3,4 м.

Номенклатура ледоколов однозначно определена результатами расчета затрат по приведенной выше формуле и описанным условиям выполнения исследований (рис. 3).

Видно, что в Карском море минимальные затраты имеет мелкосидящий ледокол. Поскольку он имеет ширину 30 м и достаточную для этого моря ледопробиваемость (лишь несколько ниже ледопробиваемости ледоколов типа «Арктика»), можно утверждать, что круглогодичная навигация в Карском море им будет полностью обеспечена. По существу он уже сейчас выполняет эту работу, имея меньшую ширину и ледопробиваемость.

Ледокол мощностью 110 МВт имеет худшие экономические показатели по сравнению с глубокоосидающим мощностью 74 МВт даже в Чукотском море, несмотря на наличие в нем паковых льдов высокой сплоченности. Таким образом, рекомендуется следующая номенклатура атомных ледоколов XXI века и их параметры.

Мелкосидящий ледокол «Таймыр XXI»: с однореакторной ППУ типа «КЛТ 40», одним турбинным агрегатом типа «513-9» мощностью на фланце около 40 МВт и тремя гребными валами мощностью по 11,0 МВт. Другие характеристики и элементы ледокола приведены в табл. 5.

Глубокоосидающий ледокол «Арктика XXI»: с двухреакторной ППУ типа «КЛТ 40», двумя турбоагрегатами типа «513-9» по 40 МВт в одном МО и тремя гребными валами мощностью по 22 МВт. Остальные характеристики и

элементы ледокола приведены в табл. 5.

Это будут ледоколы традиционного архитектурно-конструктивного типа с удлиненным баком, средним расположением МО, кормовой взлетно-посадочной площадкой для вертолета, ангаром с жилой рубкой, оборудованной «плавающими» каютами.

Разработана улучшенная схема ледоколов четвертого поколения. Основное отличие от ледоколов предыдущих поколений состоит в наличии закрытый юта и бака, а также телескопического ангара у вертолета, образованного подвижным кожухом в кормовой части палубы бака (вертолетной площадке), с кормовыми подъемными воротами для прохода вертолета. Площадь наружных палуб сведена к минимуму для уменьшения на них объема снега и льда. Остальные детали представлены на рис. 4.

Возможно, к моменту постройки ледокола будут найдены конструк-

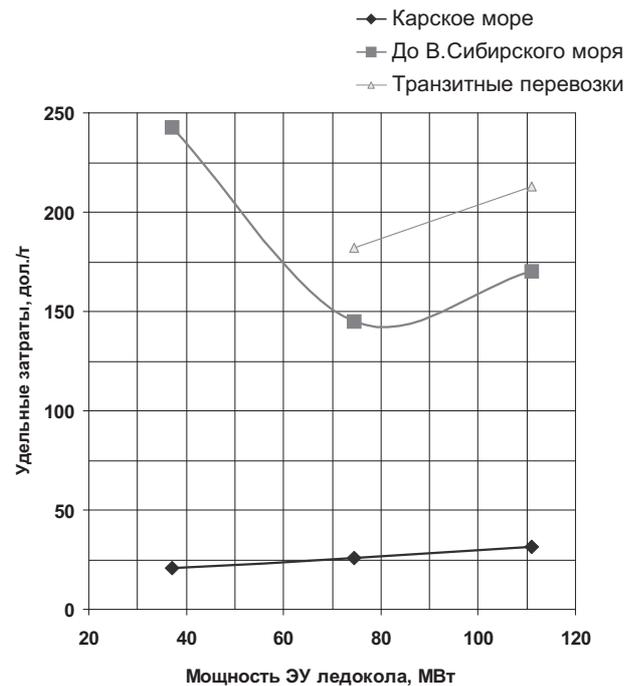


Рис. 3. Зависимость затрат на перевозку грузов системой «судно-ледокол» от мощности груза

Основные характеристики ледоколов с АЭУ четвертого поколения

Основные характеристики	«Таймыр»	«Таймыр XXI»	«Арктика»	«Арктика XXI»
Длина по КВЛ, м	140,8	133,0	136,0	142,5
Ширина по КВЛ, м	28,0	30,0	28,0	32,0
Высота борта до ВП, м	15,15	15,2	17,2	17,5
Осадка, м				
- по КВЛ	8,1	8,1	11,0	11,0
- максимальная	9,0	9,0	11,4	11,4
Коэффициент общей полноты	0,56	0,57	0,546	0,546
Водоизмещение, т				
- при осадке по КВЛ	18100	18600	23460	28100
- при максимальной осадке	19050	20700	24400	29000
Номинальная мощность реактора, МВт	171	180	2 x 175	2 x 180
Мощность ЭУ номинальная на ГТГ, кВт	2x18400	40000	2x27600	2x40000
Мощность навалах, кВт	32500	3x11000	52800	3x22000
Скорость хода на чистой воде, узл.	20,0	20,0	21,0	22,0
Винты:				
- количество	3	3	3	3
- диаметр, м	5,4	5,4	5,7	6,0
Ледопроеходимость, м	2,1	2,4	2,2 - 2,4	3,0 – 3,2



Рис.4. Внешний вид атомного ледокола «Арктика XXI»

тивные решения, обеспечивающие изоляцию всей жилой рубки от корпуса с целью снижения, как вибрации, так и передачи в жилые помещения конструктивного шума, возникающего при взаимодействии корпуса и винтов со льдом.

Предложенные основные характеристики перспективных ледоколов с АЭУ позволят создать ледокольный флот с минимальными затратами, удовлетворяющий требованиям проводки судов перспективной постройки. Такие

ледоколы обеспечат надежную работу транспортного флота при круглогодичной навигации по всем трассам СМП, но при научно-оперативном обеспечении морских операций. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Родионов Н.Н., Воробьев В.М., Голод Б.И. Танкеры ледового плавания для освоения шельфа арктических морей России. – Тр. 3-й Междуна-

родной конференции РАО-97, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1997.

2. Цой Л.Г., Морейнис Ф.А., Глебоко Ю.В., Ариет К.К. и др. Предварительное изучение вывоза нефти на танкерах из Печорского моря. – Тр. 3-й Международной конференции РАО-97, ЦНИИ им. ак. А.Н. Крылова, 1997.
3. Климашевский С.Н. О форме корпуса универсальных ледоколов (по опыту высокоширотного плавания а/л «Сибирь»). – В сб.: Результаты первой научной экспедиции в приполюсном районе на атомном ледоколе «Сибирь». Л.: Гидрометеиздат, 1990, с. 159-163.
4. Захаров Б.Н., Петраков Е.В. Улучшение ледопроеходимости ледокола «Мудьюг» // Судостроение. – 1987. – №12. – С. 6-10.
5. Методические рекомендации по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса / Госкомитет по науке и технике АН СССР, М., 1988.
6. Titow I.A., Klimashevskiy S.N., Simonov Ju. A. Annahernde Bestimmung der Hauptcharakteristiken von Eisbrechern und Eisfahrtschiffen // Hansa. – 1997. – № 8. ■

Общие сведения о состоянии мирового флота судов для перевозки сжиженного природного газа (Liquid Natural Gas – LNG).

Природный газ – один из важнейших источников энергетического сырья, который покрывает до 25% мировой потребности в нем. Перевозки природного газа на судах целесообразны лишь в сжиженном виде, когда его объем уменьшается более чем в 600 раз. Природный газ может переводиться в сжиженное состояние лишь при чрезвычайно низкой температуре (около $-162...163^{\circ}\text{C}$) и перевозка его должна осуществляться в условиях глубокого охлаждения. Это приводит к чрезвычайно большим затратам на организацию поставок газа в страны, разделенные большими водными пространствами. Затраты связаны с подготовкой газа к морской транспортировке (строительство дорогостоящих заводов сжижения), транспортировкой на узкоспециализированных судах, оборудованных сложными дорогостоящими системами, обеспечивающими сохранение газа при крайне низких температурах, и последующей регазификацией доставленного в пункт назначения сжиженного газа. Расходы на сооружение береговых объектов при организации линии по доставке LNG могут достигать нескольких миллиардов долларов. Стоимость современного газозова LNG вместимостью 150–155 тыс. м^3 сегодня составляет порядка 190 млн. долл. В связи с большими капиталовложениями сделки на поставку газа морским путем заключаются на 20–25 лет при жесткой привязке создаваемых судов к конкретным линиям на основе долгосрочных контрактов.

По прогнозу компании «Ocean Shipping Consultants» потребность в морских перевозках сжиженных природных газов (LNG) в ближайшие 10–15 лет будет резко расти. Со 158 млрд. м^3 LNG, перевезенных морем в 2003 г., объем перевозок к 2010 г. возрастет до 269 млрд. м^3 , а к 2020 г. – до 429 млрд. м^3 . Основными потребителями сжиженного природного газа являются восточноазиатские (70% в 2003 г.) и европейские страны (26%) и США (4%). К 2020 г. ожидается изменение географии поставок LNG. Так, доля стран Восточной Азии увеличится до 40% при абсолютном увеличении импорта LNG со 109 млрд. м^3 в 2003 г. до 181 млрд. м^3 в 2020 г., возрастет до 40% доля европейских стран, доля США вырастет до 11%, появятся новые потребители сжиженного газа – это страны Латинской Америки и Южной и Юго-Восточной Азии. Основными экспортерами LNG являются страны Юго-Восточной Азии (Индонезия и Малайзия), страны Среднего Востока, Западная и Северная Африка, Австралия, Центральная Америка. В ка-

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ СУДОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (ГАЗОВОЗОВ LNG)

С.И. Логачев, д-р техн. наук, проф., ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова

честве перспективного экспортера LNG рассматривается Россия.

В связи со значительным ростом спроса в мире на LNG аналитики компании «Douglas-Westwood» считают, что в 2005–2009 гг. следует ожидать серьезных инвестиционных вливаний в производство и транспортировку сжиженного природного газа. По их мнению, сумма вложений составит не менее 67 млрд. долл., из которых 31 млрд. долл. будет инвестирован в строительство 27 заводов по сжижению газа, 14,5 млрд. долл. – в строительство 37 приемных терминалов и 21 млрд. долл. – в строительство судов. Флот газозовов LNG к 2009 г. достигнет 300 судов.

По состоянию на май 2005 г. в мировом флоте находилось 184 газозова LNG суммарной вместимостью около 22 млн. м^3 . Из 106 газозовов LNG суммарной вместимостью более 15 млн. м^3 , находящихся на май 2005 г. в портфеле заказов, 103 имеют каждый вместимость более 130 тыс. м^3 . Как видно из приводимых цифр, мировой портфель заказов на газозовы LNG достиг почти 70% вместимости существующего флота газозовов этого типа. Такое значительное увеличение портфеля заказов на газозовы LNG вызвано не только действительным спросом на суда, но и спекулятивным ажиотажем. Известно, что строительство газозовов LNG ведется в обеспечение долгосрочных контрактов на перевозку сжиженного газа, и необходимое количество газозовов определяется оговоренными в контракте объемами перевозимого на данной линии газа. Спекулятивный ажиотаж, вызванный высокими суточными фрахтовыми ставками на перевозку сжиженного газа, превышающими 30 тыс. долл., привел к тому, что из 69 судов рассматриваемого

типа, заказы на которые были размещены в 2004 г., 25%, или 18 судов, были заказаны на страх и риск без предварительного соглашения на работу по долгосрочным контрактам, а из 19 газозовов, построенных в 2004 г., три судна не смогли получить долгосрочных контрактов.

В табл. 1 и 2 приведено распределение мирового флота газозовов по возрастным группам и вместимости, а также портфель заказов на эти суда по состоянию на май 2005 г.

Анализ портфеля заказов показывает увеличение вместимости заказываемых газозовов. Свыше 80% заказанных газозовов имеют вместимость более 138–140 тыс. м^3 – традиционной вместимости строившихся в последние годы газозовов. Сегодня заказываются газозовы вместимостью 145–155 тыс. м^3 , а также размещены заказы на четыре газозова вместимостью 209 тыс. м^3 и четыре – вместимостью 216 тыс. м^3 .

Главные размерения газозовов и их соотношения. Основой для анализа послужили данные по газозовам последних 10 лет постройки, приведенные в энциклопедии «Fairplay» за май 2005 г., справочнике «Clarkson» по газозовам за 2002 г. и в ежегодных выпусках «Significant Ships».

Сжиженный природный газ, являясь энергетическим сырьем, перевозится партиями больших размеров. Поэтому газозовы LNG имеют большие размеры и грузоместимость.

Поскольку сжиженный природный газ перевозится в специально выделяемых изолированных емкостях, а также в связи с тем, что его удельный вес составляет всего 0,42 $\text{т}/\text{м}^3$, т.е. почти в два раза меньше удельного веса сырой нефти, газозовы LNG при одинаковых,

Распределение мирового флота газозовов типа LNG по возрастным группам и вместимости
(по состоянию на май 2005 г.)

Возраст, Число лет	< 100 тыс. м ³		100–130 тыс. м ³		> 130 тыс. м ³	
	Число судов	Вместимость, млн. м ³	Число судов	Вместимость, млн. м ³	Число судов	Вместимость, млн. м ³
0-4	2	0,00	0	0,00	52	7.20
5-9	6	0.20	1	0.13	30	4.10
10-14	3	0.20	9	1.14	9	1.21
15-19	2	0,00	4	0.51	1	0.14
20-24	0	0,00	8	1,01	5	0.66
> 25	18	1,00	16	2.02	3	0.39
неизвестно	1	0.07	0	0,00	14	2.02
Всего	32	1.48	38	4.81	114	15.73

Таблица 2

Портфель заказов на газозовы типа LNG по вместимости
(по состоянию на май 2005 г.)

Годы постройки	< 100 тыс. м ³		100–130 тыс. м ³		> 130 тыс. м ³	
	Число судов	Вместимость, млн. м ³	Число судов	Вместимость, млн. м ³	Число судов	Вместимость, млн. м ³
2005	1	0.01	0	0,00	18	2.50
2006	0	0,00	0	0,00	26	3.77
2007	1	0.01	0	0,00	36	5.54
2008/2009	1	0.01	0	0,00	23	3.69
Всего	3	0.02	0	0,00	103	15.50
% от флота		13.5		0,00		123.4

например, с танкерами главных размерений обладают существенно меньшей грузоподъемностью. Так, газозов в размерах танкера дедвейтом 150 тыс. т перевозит лишь 50–55 тыс. т сжиженного газа.

На величину главных размерений определенное влияние оказывает выбор типа танков, в которых перевозится сжиженный газ. Запатентовано большое количество типов грузовых танков газозовов LNG. Однако практическое применение в настоящее время находят лишь два из них. Это вкладные сферические танки (система Kvaerner–Moss), изготавливаемые из алюминиевых сплавов с наружной изоляцией пенополиуретаном, а также встроенные мембранные танки (система Gas Transport–Technigas), где внутренняя обшивка танка представляет собой тонкую (0,5–1,2 мм) мембрану, наложенную на слой изоляции, закрепляемой на бортах, втором дне и палубе судна.

Выполненный анализ зависимостей главных размерений газозовов от их вместимости и типа используемых грузовых танков, результаты которого приведены на рис.1–4, показал, что принятый тип грузовых танков практически не оказывает влияния на длину судна, высоту борта и осадку. Ширина же суд-

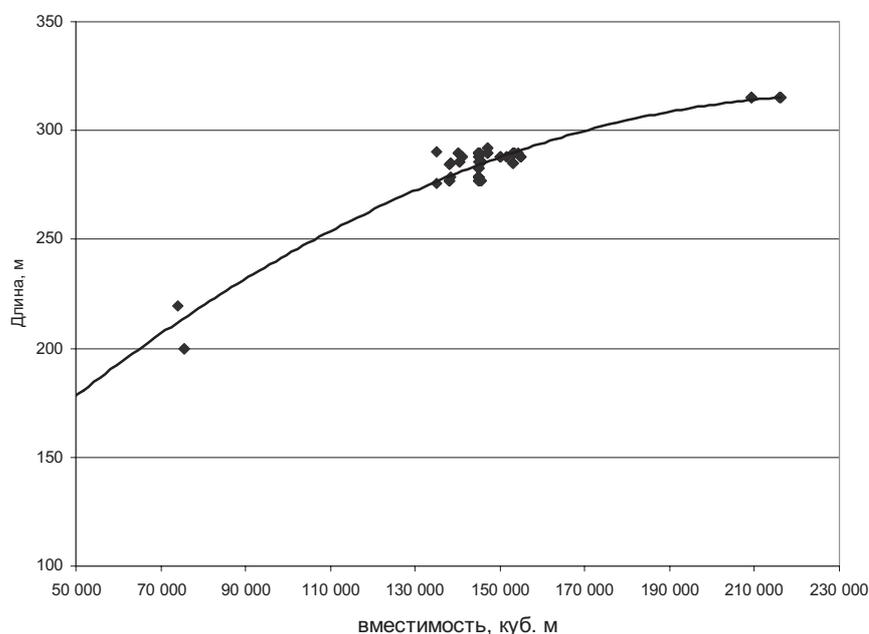


Рис.1. Зависимость длины газозовов типа LNG от их вместимости

на существенно зависит от выбранного типа грузовых танков. У газозовов со сферическими танками ширина судна примерно на 10% больше, чем у судов с мембранными танками. Объясняется это тем, что вместимость мембранных танков зависит от ширины судна в пер-

вой степени, в то время как вместимость сферического танка зависит от ширины судна в третьей степени. Отсюда стремление к максимально возможному увеличению ширины газозовов со сферическими танками.

Большая ширина газозовов со сфе-

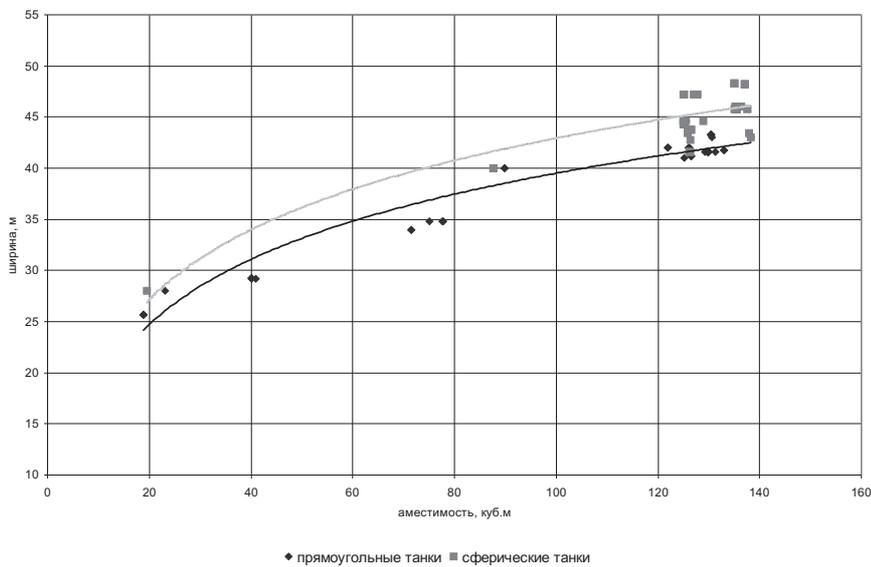


Рис.2. Зависимость ширины газозовов типа LNG от их вместимости

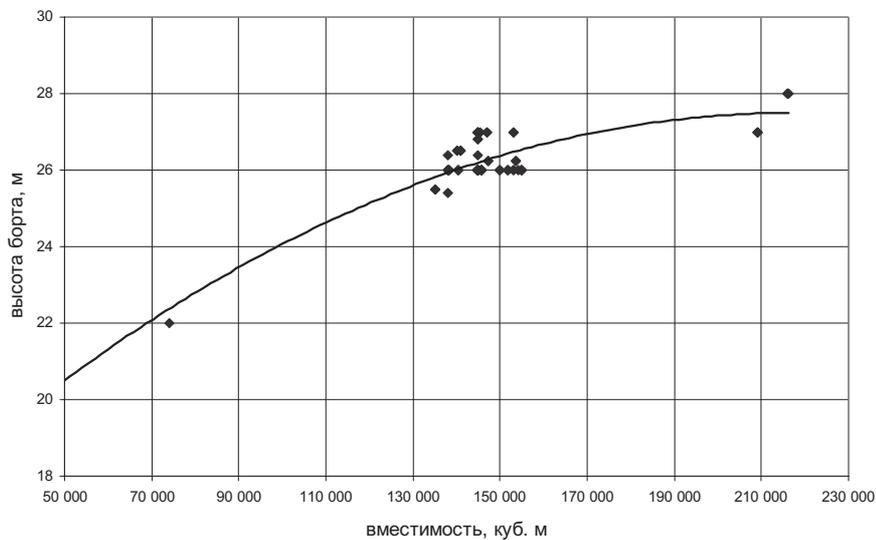


Рис.3. Зависимость высоты борта газозовов LNG от их вместимости

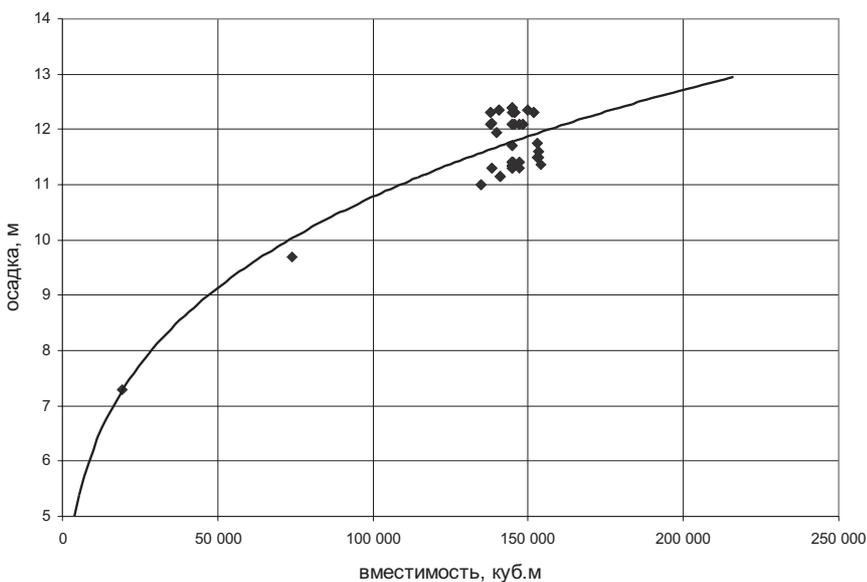


Рис.4. Зависимость осадки газозовов LNG от их вместимости

рическими танками приводит к тому, что отношение ширины к осадке у этих судов составляет 3,9–4,3, в то время как у газозовов с мембранными танками это отношение колеблется в пределах 3,5–3,9.

Отношение длины к ширине (рис.5) газозовов лежит в пределах 5,5–6,5, как у обычных танкеров. Необычным является отношение длины к высоте борта (рис.6), которое составляет у газозовов 10–11, что заметно меньше этих значений у танкеров.

Анализ пропульсивных характеристик современных газозовов. Скорости хода газозовов LNG относительно велики и составляют 19–21 уз (рис.7). Объясняется это высокой стоимостью самих судов и перевозимого груза, а также стремлением снизить потери газа от испарения за счет сокращения продолжительности рейса. Числа Фруда, при которых эксплуатируются газозовы, лежат в довольно узких пределах от 0,19 до 0,20. Соответственно и коэффициенты общей полноты по сравнению с танкерами, эксплуатирующимися при числах Фруда 0,16–0,18, существенно меньше и принимаются обычно для газозовов со сферическими танками в пределах 0,67–0,68, а для газозовов с мембранными призматическими танками – в пределах 0,735–0,745. Принятие меньших значений коэффициентов полноты на газозовах со сферическими танками объясняется тем, что их величина практически не оказывает влияния на вместимость танков, в то время как у газозовов с мембранными призматическими танками величина коэффициента общей полноты непосредственно влияет на вместимость танков.

В первом приближении коэффициенты общей полноты газозовов LNG могут приниматься по следующим формулам:

- для газозовов с мембранными призматическими танками $\delta = 1,08 - 1,68 Fr$;
- для газозовов со сферическими танками $\delta = 1,01 - 1,68 Fr$.

Относительно низкие значения коэффициента общей полноты, обеспечивающие возможность принятия безотрывной формы кормовых обводов, а также принимаемые низкие значения оборотов винта (80–90 об/мин), что легко обеспечивается на традиционно используемых на газозовах паротурбинных установках, приводят к хорошим пропульсивным характеристикам газозовов. Адмиралтейский коэффициент у газозовов вместимостью 130–140 тыс. м³ достигает 580–700 (табл.3).

Металлоемкость и конструктивные особенности газозовов. О металлоемкости газозовов можно судить лишь по величине коэффициента утилизации водоизмещения по дедвейту DW/D и относительноному весу судна порожнем $D_{пор}/LBH$. Для газозовов

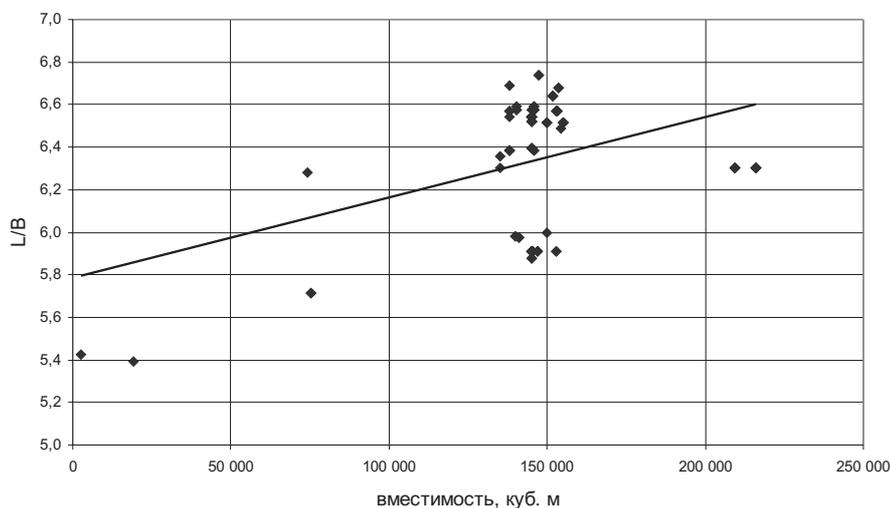


Рис.5. Зависимость отношения L/B газозовов LNG от их емкости

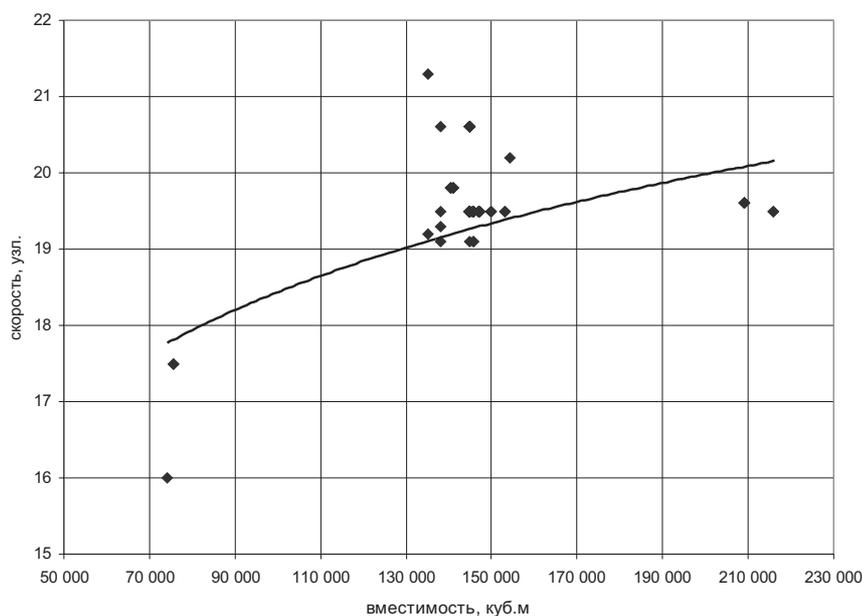


Рис.7. Зависимость скорости газозовов LNG от их емкости

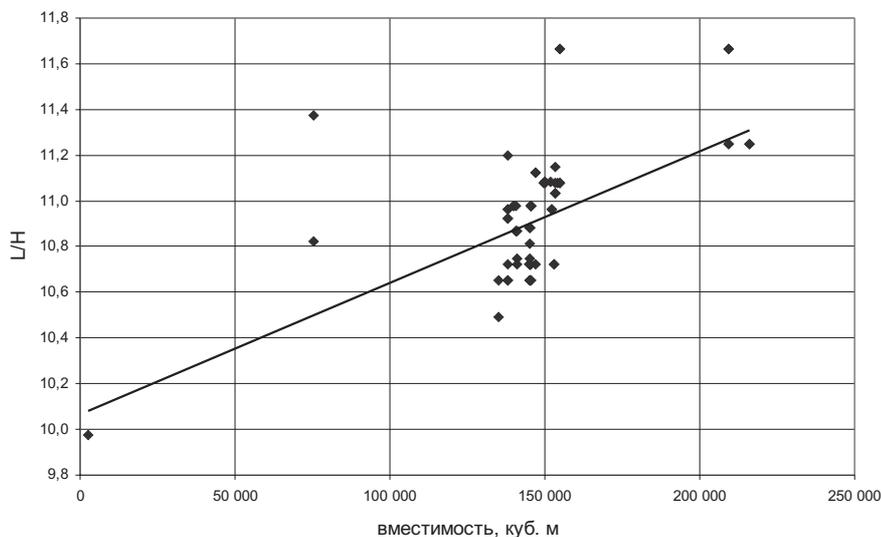


Рис.6. Зависимость отношения L/H газозовов LNG от их емкости

емкостью 130–140 тыс. м³ значения коэффициента утилизации водоизмещения по дедвейту для газозовов с мембранными призматическими танками составляет порядка 0,70, а для газозовов со сферическими танками – около 0,675. Меньшие значения коэффициента утилизации у газозовов со сферическими танками объясняется большей массой судна порожнем, вызванной значительным весом вкладных сферических цистерн. Относительный вес судна порожнем ($D_{пор}/LBH$) у газозовов с мембранными призматическими танками лежит в пределах 0,098–0,100, а у газозовов со сферическими танками составляет примерно 0,0975. При большем весе порожнем газозовов со сферическими цистернами меньшее значение относительного веса объясняется принятием большей ширины для судов со сферическими танками по сравнению с судами с мембранными танками.

Архитектурно-конструктивный тип газозовов определяется свойствами перевозимого груза и выбором типа грузовых цистерн (танков).

Сжиженные природные газы обладают рядом специфических особенностей, таких как низкая удельная масса, огнеопасность и взрывоопасность, токсичность, высокая химическая активность, большая скорость испарения и другие. С этим связан целый ряд особенностей судов-газозовов: разнообразие форм и конструкций грузовых цистерн, трудность обеспечения устойчивости из-за высокого расположения центра тяжести судна, наличие большого количества криогенного оборудования и т.д.

Перевозка газа при температуре -163°C предъявляет особые требования к конструктивному оформлению грузовых помещений и к применяемым для их изготовления материалам.

Сферические танки обычно изготавливаются из алюминиевого сплава 5083 по американскому стандарту и покрываются сплошной монолитной изоляцией из пенополиуретана, наносимой на грузовой танк методом спирального кручения. Толщина изоляции на крупных газозовах достигает 250 мм. Сферические танки непосредственно не соединяются с корпусом судна. Своей экваториальной частью они крепятся к опорным цилиндрам, устанавливаемым в трюмах судна на двойное дно. Узел соединения сферического танка с опорным цилиндром допускает свободное сжатие танка в процессе его охлаждения до температуры -163°C . Данные по весовым характеристикам сферических цистерн практически не публикуются. Имеются лишь данные о весе сферических цистерн газозова "Norman Lady", построенного в Норвегии в 1974 г. и имеющего емкость пяти грузовых танков, из-

Расчетные значения адмиралтейских коэффициентов для некоторых газозовов

Название судна	Вместимость танков, м ³	Тип грузовых танков	Водоизмещение, т	Скорость, уз	Мощность, кВт	Адмиралтейский коэффициент
«Berge Everett»	138000	призм. мемб.	99600	19,5	26985	595
«Methane Kari-Elin»	138200	призм. мемб	97685	20,1	29044	585
«British Trader»	138200	призм. мемб	97900	20,1	29000	590
«Colar Viking»	140200	призм. мемб	99500	19,7	27940	585
«LNG Rivers»	137300	сферические	101100	19,75	23160	720

готовленных из 9%-ной никелевой стали, 87600 м³. Три сферы имели диаметр 33,1 м, толщину оболочки 23 мм и толщину изоляции из полиуретана 215 мм. Вес каждой сферы с учетом изоляции составлял 830 т. Две меньших сферы диаметром 31 м весили каждая 735 т.

Мембранные грузовые танки – это емкости, образованные тонкой оболочкой, способной воспринимать только растягивающие напряжения и опирающейся на смежные корпусные конструкции. Конструкции мембранных танков обеспечивают непроницаемость своей оболочки как при деформациях, связанных с изгибом корпусных конструкций, так и при термических деформациях.

Расчетное давление паров груза в мембранных танках обычно не превышает 25 кПа.

Конструкция мембранного танка состоит из следующих последовательных слоев:

- первая мембрана (первичный барьер), непосредственно соприкасающаяся с жидким метаном;
- первый изолирующий слой (первичная изоляция);
- вторая мембрана (вторичный барьер) - идентична первой;
- второй изолирующий слой (вторичная изоляция), наложенный на внутреннюю обшивку судна.

Давление жидкости на корпус судна передается при помощи жесткой изоляции. Герметичность конструкции обеспечивается первичным барьером, а для повышения безопасности предусмотрен вторичный барьер.

Существуют мембранные грузовые танки двух типов: с гофрированными мембранами (типа «Gaz Transport and Technigaz») и с плоскостными мембранами (типа Gas Transport). Первые формируются из тонколистовой хромоникелевой стали марки SUS304L. Термические деформации такого материала компенсируются специальной гофрировкой металла мембраны. Вторые выполняются из сплава инвар (нержавеющая сталь с 36%-ным содержанием никеля). Они практически не подвержены термическим деформациям в диапазоне температур, отвечающих

условиям эксплуатации газозовов LNG.

Мембранные танки системы Gaz Transport and Technigaz могут быть трех модификаций: Мк.1, Мк. II, Мк. III. Первые две модификации имеют оболочку из гофрированной нержавеющей стали с изоляцией из пробкового дерева или бальзы и фанеры. Между слоями изоляции из пробкового дерева размещается пенопласт. В конце 80-х гг. разработана модификация мембранного танка Мк. III, которая имеет изоляцию из пенополиуретана, укрепленного стекловолокном. В качестве вторичного барьера используется триплекс, состоящий из двух слоев алюминия и слоя стеклоткани между ними. Толщина изоляции – 270 мм. Обшивка мембранного танка типа «Gaz Transport and Technigaz» обычно имеет вафельную гофрировку. Плоские участки обшивки через изоляцию прилегают ко второму дну, борту, скуловым и подпалубным цистернам и к подпалубному набору.

В мембранных танках типа Gas Transport для изготовления мембраны используется сплав инвар, обладающий чрезвычайно низким коэффициентом температурного расширения, и поэтому необходимость в конструктивных мерах по предотвращению теплового расширения и сжатия отпадает. Вторичный барьер в таких танках идентичен первичному и представляет собой плоскостную мембрану и уложенные рядами коробки из клеевой фанеры с прослойкой перлита в качестве изоляции.

Толщина листов мембраны составляет обычно 1,2 мм.

Выполненное в Японии в 1983 г. сравнительное расчетное исследование газозовов вместимостью 130 тыс. м³ с пятью сферическими и пятью призматическими мембранными танками показало, что вес одного сферического танка из алюминиевого сплава составляет 640 т, а вес его изоляции 60 т, в то время как вес мембранного танка составляет 80 т, а его изоляции 240 т.

В табл.4 приведены некоторые особенности конструкции современных газозовов LNG постройки 1994–2004 гг. Там же приведены характеристики оборудования этих судов.

Современные газозовы представля-

ют собой однопалубные суда с избыточным надводным бортом, бульбовой носовой оконечностью и транцевой кормой, с кормовым расположением МО и многоярусной жилой кормовой надстройкой. Из-за большой высоты борта на газозовах вместимостью более 100 тыс. м³ отсутствуют ют и бак. Имеется переходной мостик над грузовой палубой. Грузовое пространство разделяется либо коффердамами, либо поперечными водонепроницаемыми переборками на несколько грузовых трюмов.

Энергетические установки, грузовая система, судовые устройства и оборудование современных газозовов.

В качестве главной энергетической установки на газозовах LNG до последнего времени использовались паротурбинные установки (ПТУ), работающие как на нефтяном топливе, так и на смеси его с более экономичным испаряющимся газом. Использование испаряющегося метана нейтрализует основной недостаток ПТУ – высокий расход топлива. Использование испаряющегося газа в энергетических установках газозовов требует соблюдения особых мер предосторожности, в частности, обеспечения взрывопожаробезопасности.

В настоящее время характерной тенденцией в развитии газозовов LNG стало применение на них в качестве главных двигателей дизельных и дизель-электрических установок, использующих как газообразное, так и тяжелое топливо (dual fuel/diesel electric propulsion systems). Первым газозовом, на котором в качестве главного двигателя был применен малооборотный дизель Mitsubishi мощностью 12 357 кВт, стал построенный в Японии в 2000 г. газозов «Sunny Joy» вместимостью 78 874 м³. Дизель-электрическая установка впервые была применена на построенном в 2004 г. во Франции газозове «Gaz de France Energy» вместимостью 74 130 м³. На газозове установлены четыре среднеоборотных дизеля «Wartsila» суммарной мощностью 22 800 кВт. Компания «Wartsila» считает, что такие установки являются оптимальными для газозовов, поскольку судовладелец получает выгоду из значительной экономии затрат на топ-

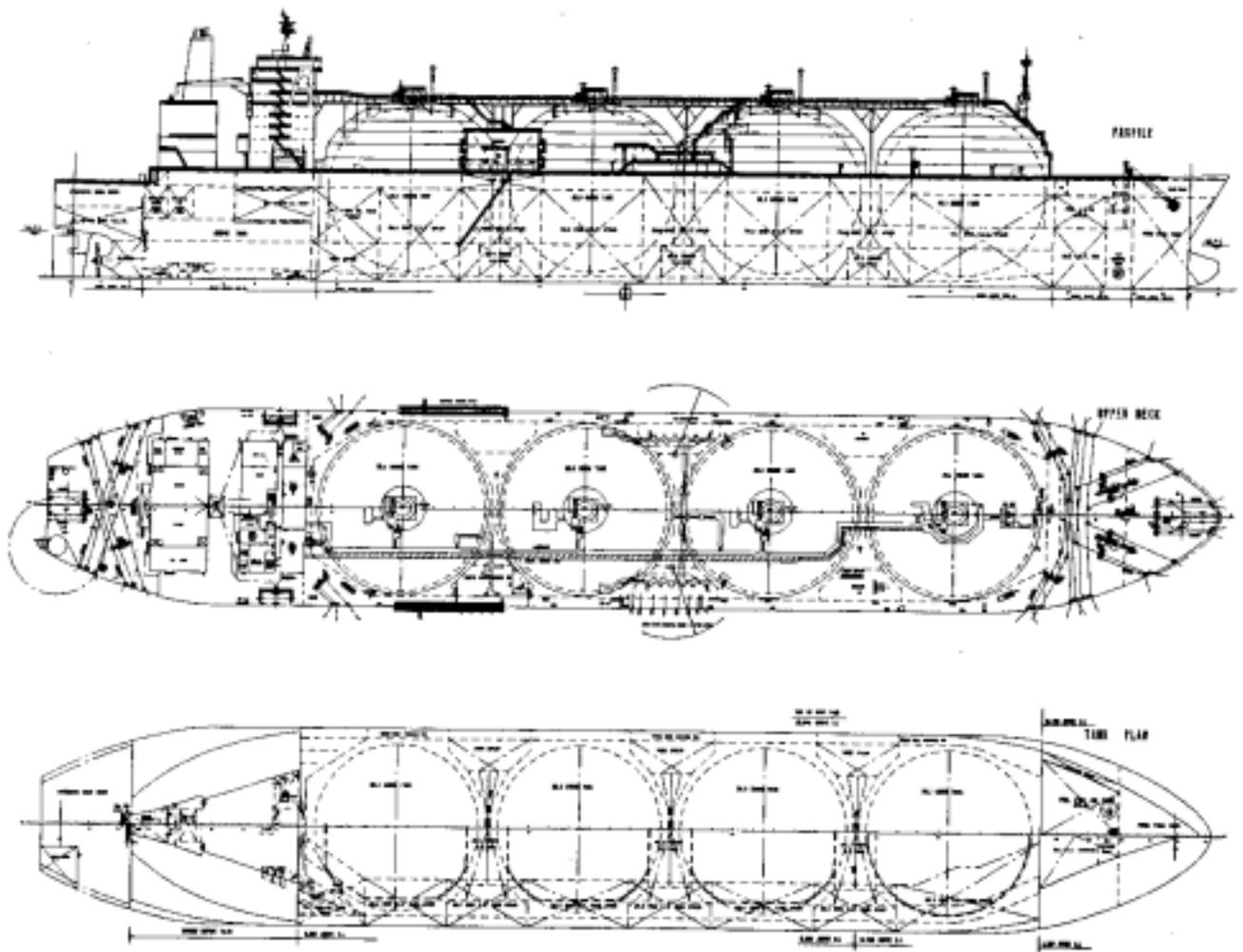


Рис.8. Схема общего расположения газовоза «LNG Rivers» со сферическими грузовыми танками

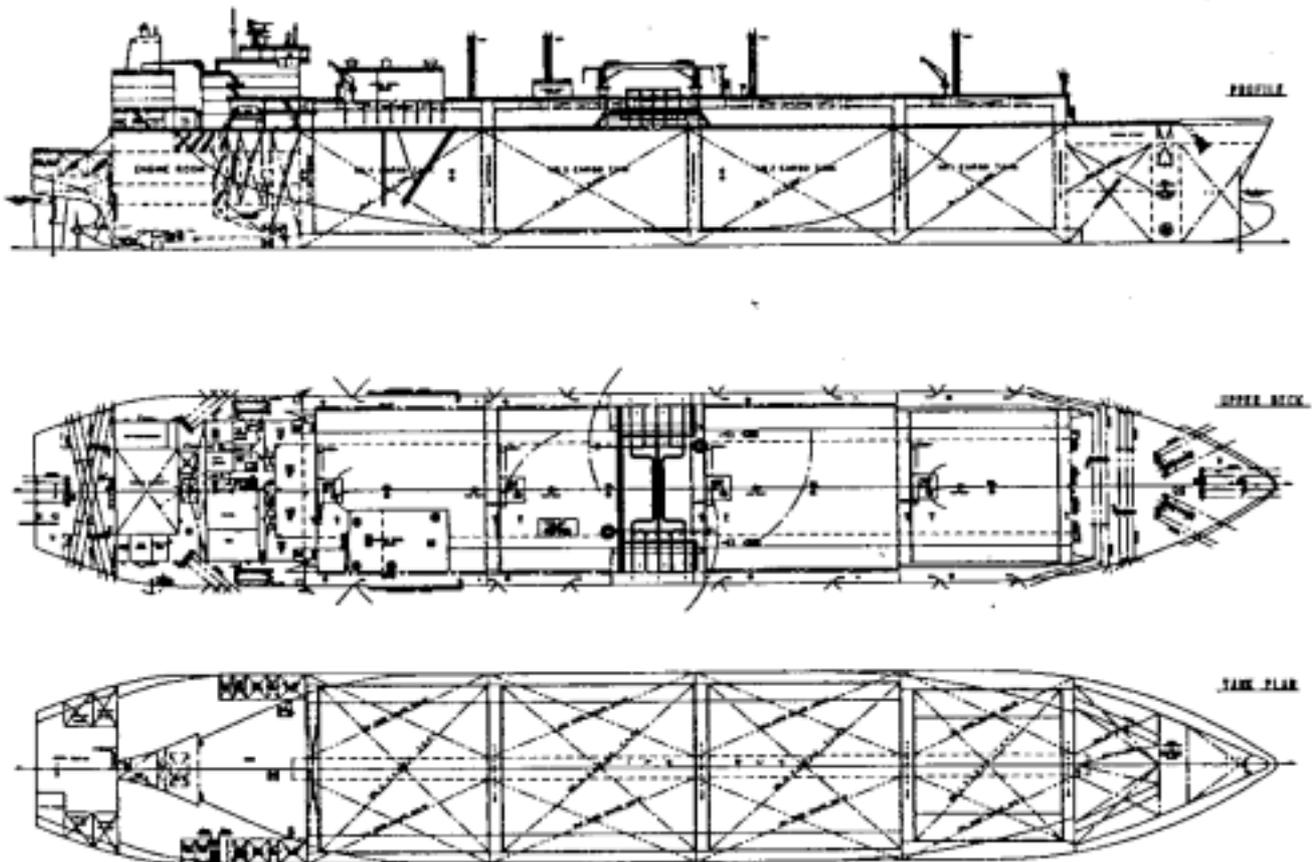


Рис.9. Схема общего расположения газовоза «Golar Viking» с мембранными грузовыми танками

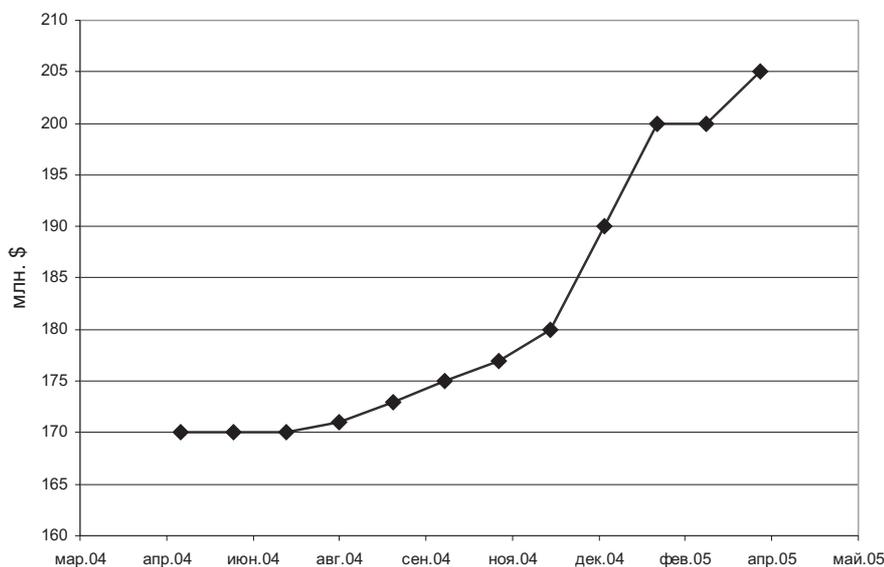


Рис.10. Динамика изменения цен на газозовы LNG вместимостью 140 тыс. м³ в 2004 г., в 2005 г. – 150 тыс. т (Источник: «Lloyds Shipping Economist»)

ливо по сравнению с паровой турбиной, и, что также важно, такие установки наиболее безопасны для окружающей среды. На май 2005 г. в портфеле заказов размещены заказы на постройку 15 газозовов с дизельными установками, четыре из которых будут иметь вместимость по 216 тыс. м³, и 9 газозовов – с дизель-электрическими, восемь из которых имеют вместимость по 155 тыс.м³.

Мощность электростанции составляет 25–35% мощности главного двигателя.

Специальные системы газозовов по аналогии с системами танкеров подразделяются на два больших комплекса: грузовой и обеспечивающий.

Грузовые системы предназначены для проведения погрузочно-разгрузочных операций и аварийной разгрузки.

Комплекс обеспечивающих систем служит для создания благоприятных условий ведения грузовых операций и соблюдения технологических режимов транспортировки сжиженного природного газа.

В комплекс грузовых систем входят непосредственно грузовая и зачистная системы и аварийная грузовая система. Грузовая система предназначена для осуществления операций погрузки и выгрузки сжиженного природного газа, зачистная служит для удаления остатков груза и его паров, а аварийная грузовая система должна обеспечить разгрузку грузовых емкостей при нештатных ситуациях, возникших в результате выхода из строя основной грузовой системы. Погрузка газозовов осуществляется обычно береговыми средствами, а выгрузка LNG – средствами судна.

В состав грузовых систем входят грузовые и зачистные насосы, компрессоры, приводы, трубопроводы LNG, конденсата и паров газа, сборные колод-

цы, путевые соединения, компенсаторы, запорные и невозвратные клапаны, предохранительные клапаны, контрольно-измерительные приборы и средства автоматики.

Ввиду особенностей физико-химических свойств сжиженных газов, их погрузка и выгрузка – представляют собой весьма сложную, ответственную и опасную операцию, в процессе которой за 8–16 часов перекачивается до 150 тыс. м³ сжиженного газа. Суммарная подача (производительность) насосов составляет примерно 8–10% грузоместимости газозова.

На судах, транспортирующих сжиженный природный газ, применяются погружные насосы. Преимуществами их являются: простота конструкции, компактность, отсутствие палубных сальников, взрывопожаробезопасность и прочее. Корпуса насосов изготавливаются из никелевой и нержавеющей сталей, алюминиевых сплавов. Современные погружные насосы отличаются большей производительностью и давлением нагнетания. Обычно производительность насосов лежит в пределах 1000–1700 м³/ч при давлении до 1,25 МПа.

Для перекачки паров газа в составе грузовых систем используются одно- и двухступенчатые компрессоры.

Балластные системы, применяемые для балластировки газозовов, мало чем отличаются от устанавливаемых на обычных судах. Особенностью их являются большие объемы балластных цистерн, разнообразие конструкций, размещение в междудонном пространстве, в двойных бортах, под палубой и т.п. Грузовые емкости использовать для приема жидкого балласта воспрещается.

Несмотря на использование даже самых современных средств теплоизоляции вследствие теплопритоков из-

вне перевозимые сжиженные газы постоянно испаряются, создавая повышенное давление в грузовых емкостях. Объем испарившегося сжиженного газа обычно составляет 0,15% в сутки от всего объема груза. Испаряющийся газ отводится из купола цистерны через специальную систему и используется в энергетической установке судна в качестве добавки к основному топливу.

В последние годы в связи с возрастающими ценами на газ для предупреждения потерь груза от испарения газозовы LNG оборудуются системами повторного сжижения газа, несмотря на связанные с этим большие энергозатраты (на сжижение 1 кг метана затрачивается 0,735 кВт энергии), относительную сложность применяемого оборудования и значительную первоначальную стоимость таких систем. Судовые системы повторного сжижения газа представляют собой универсальное и эффективное техническое средство регулирования параметров перевозимого LNG. Они обеспечивают надежную и безопасную эксплуатацию газозовов и предотвращают загрязнение окружающей среды газом.

Практически на всех судах устанавливается носовое подруливающее устройство (НПУ). Мощность его зависит от дедвейта судна.

Новым направлением в создании газозовов LNG является оборудование их установками регазификации. Первое судно – газозов «Excelsior» вместимостью 138 000 м³, оборудованный установкой регазификации (LNGRV), было сдано в ноябре 2004 г. Заказала его бельгийская корпорация «Exmar» в Южной Корее. Бельгийцы заказали пока три таких судна. Второе судно сдано в апреле 2005 г.

Судно имеет мембранную конструкцию танков и оборудование для регазификации Energy Bridge TM фирмы «Excelerate Energy». Это новое оборудование позволяет стандартному газозову LNG выполнить процесс регазификации на судне. Газ с судна выгружается через трубопровод в подводный газод. Контрактная цена на заказанное судно – 150 млн. долл. США.

О перспективности применения систем регазификации на газозовах говорит тот факт, что среди 37 планируемых к созданию до 2009 г. приемных терминалов восемь терминалов предполагается создать на шельфе.

Стоимость постройки газозовов. На рис.10 показано изменение цены на газозовы вместимостью 140 тыс. м³. Как видно из рисунка, цены на газозовы в течение 2004 г. неуклонно росли, причем особенно стремительно в начале 2005 г. ■

«ЭГО Транслейтинг» – крупнейшая переводческая компания в России. В этом году она подводит итоги своей 15-летней деятельности. Комментарий дает **Анатолий Антонович Городянко, помощник начальника Центрального морского конструкторского бюро «Алмаз».**

У НАС ДОЛГАЯ ИСТОРИЯ

Как КБ «Алмаз» мы работаем с 1949 г. и являемся наследниками проектных довоенных организаций СССР. До 1997 г. нашей специализацией были скоростные военные катера и малые корабли. И вот 10 лет назад у нас начались серьезные взаимодействия с международными организациями и с зарубежными предприятиями. Мы заключили очень важный, прорывной контракт в истории отечественного судостроения.

То, что мы сделали, – это была первая поставка военной техники России в страну НАТО – в Грецию. Она закупила самые крупные в мире корабли на воздушной подушке «Зубр», построенные по нашему проекту. Это было событие всемирного значения, потому что до этого момента Россия в страны НАТО не поставляла ничего – никакой военной техники.

СЛОЖНО И СРОЧНО

После столь знакового события все стало меняться. Естественно, компания «ЭГО Транслейтинг» в этом переводе сыграла немаловажную роль, предоставив в нужный момент профессиональное языковое сопровождение всех новых проектов.

Нам нужно было обеспечить этот первый корабль технической документацией на английском языке. «ЭГО Транслейтинг» пришлось работать в непростых условиях: во-первых, было сложно технически – сами документы были достаточно трудными. Дело в том, что тематика, к которой относится воздушная подушка, находится на стыке авиации и судостроения. Поэтому получается очень сложный глоссарий по многим вопросам – смешанная терминологическая база. Во-вторых, мы были ограничены во времени. С этим компания «ЭГО Транслейтинг» с честью справилась.



Десантный корабль на воздушной подушке проекта 12322 «Зубр»

ПЕРЕВОДЧЕСКАЯ ГАВАНЬ

А. А. Городянко, помощник начальника ЦМКБ «Алмаз»



НА ВСЕ ЯЗЫКИ

«ЭГО Транслейтинг» – «мастер на все руки», если можно так сказать про переводчиков. Или «на все языки». Мы привлекали и привлекаем специалистов этой фирмы к работе над нашими новыми контрактами, связанными с Республикой Корея. И к первому в истории международного сотрудничества освоению лицензионного проекта патрульного природоохранного судна, сделанного немецкой компанией «Abeking und Rasmussen». Иногда к нам приходили объемные документы на арабском, и «ЭГО Транслейтинг» их переводила. Был французский язык – когда мы занимались Гвинеей и в 1997–1999 гг., когда мы ремонтировали два алжирских ракетных корвета «Овод». Ну, понятное дело, не алжирских, а наших – тех, которые СССР много лет назад в Алжир продал. Теперь пришло время провести их ремонт и модернизацию. Переводили документацию на французский, хотя на верхнем уровне управления в Алжире русский язык еще помнят – у нас же все учились.

«ЭГО Транслейтинг» привлекалась нами и при проведении международных переговоров. Мы им доверяем, и не только мы: «ЭГО Транслейтинг» обслуживает и правительство города.

Мы сотрудничаем с «ЭГО Транслейтинг» уже 10 лет, как раз с тех самых пор, когда в этой компании ввели программу, направленную на сотрудничество с отечественными промышленными предприятиями, работающими в области судостроения. За это время ЦМКБ «Алмаз» убедилось в их надежности и профессионализме. **Для нас это очень важный показатель: мы делаем военную технику, и у нас нет права на ошибку.**

Россия, 191023, Санкт-Петербург,
Мучной переулок, дом 2,
Тел. +7(812) 310 1288, факс +7(812)113 4713
manager@translating.spb.ru; www.translating.spb.ru



АЛМАЗ

Центральное Морское
Конструкторское Бюро



E-mail: office@almaz-kb.sp.ru,
<http://www.almaz.info>

Объектами анализа являются свыше 90 высокоскоростных судов (ВСС), которые подразделены на три группы по типу несущей платформы: скеговые СВП (СВПс), катамараны, однокорпусные суда трех назначений: пассажирские ВСС, грузовые ВСС и скоростные пассажирско-автомобильные паромы. Исключение составляют некоторые ВСС специального назначения: экспериментальные (СВПс «SES-100А», «Стрепет»), патрульные и сторожевые («Мираж», «Мангуст» и др.), представленные для того, чтобы восполнить пробел в данных анализа с большими числами Фруда.

Цель исследования – сравнить такие важнейшие проектные и эксплуатационные характеристики, как водоизмещение, дедвейт, полезная грузоподъемность, скорость, энергооборуженность и др., на базе построенных судов или разработанных проектов ВСС, которые могут быть использованы при разработке новых проектов ВСС для сравнения их технического уровня с лучшими образцами и расчетов экономических показателей эксплуатации.

Исходные данные по проектам зарубежных ВСС, используемые для анализа, взяты в специализированных справочных и информационных изданиях [1–3]; данные по проектам этих судов ФГУП ЦМКБ «Алмаз» принимались на основании публикаций в отечественной литературе [4, 5] или информационных материалов, представленных на тематических выставках.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА

Публикуемые в различных источниках технические данные ВСС различаются по номенклатуре и полноте. Для одних судов детально представлена структура дедвейта (состав полезного груза, топливо, масло, вода, снабжение и т. д.), но не указывается полное водоизмещение; для других – приводятся водоизмещение и варианты полезного груза, но без указания его массы и других составляющих дедвейта, так что получить замкнутое уравнение масс непосредственно не представляется возможным. Данные о скорости хода в ряде случаев содержат элемент неопределенности: некоторые источники, сообщая скорость, не указывают водоизмещение судна и величину фактически используемой мощности двигателей. Практически ни по одному новому судну не публикуются теоретические чертежи или их фрагменты, иллюстрирующие характерные особенности формы корпуса, а фотографии с видом корпусов на стапеле публикуются в ракурсе, не позволяющем точно воспроизвести форму и геометрию конструкции. Это далеко не полное перечисление тех приемов, которые фирмы-проектанты и строители ВСС используют для защиты «ноу-хау» при рекламировании своей продукции.

В связи с этим все данные о судах, полученные из различных источников, рассматриваются как случайные величины, к которым для выявления закономерностей применяются статистические методы осреднения, сглаживания, экстраполяции и т. д.

Рассмотрим на конкретных примерах методы определения некоторых технико-эксплуатационных характеристик (ТЭХ).

ОБОБЩЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

А.В. Абрамовский, аспирант СПб ГМТУ

1. Водоизмещение, дедвейт, полезная нагрузка

Из всей совокупности ВСС одного типа делалась выборка тех из них, для которых имелись достаточно полные данные о составе и дедвейте D_w , полезной нагрузке G_n и одному из видов водоизмещения (порожном D , нормальном D_n , полное D_{II}). По этой выборке определялись соотношения между перечисленными характеристиками, которые оказались в пределах: $D_w/D_{II} < 0,24 \div 0,37$; $G_n/D_w < 0,73 \div 0,85$. Для остальных ВСС, не имевших полного набора данных, принимались средние значения $D_w/D_{II} = 0,3$ и $G_n/D_w = 0,8$, с помощью которых определялись недостающие характеристики.

2. Скорость, мощность, сопротивление движению

Для всех ВСС, приведенных в табл. 1–3, указывалась максимальная скорость v_{max} при полном водоизмещении D_{II} и максимальной мощности ГЭУ N_x . Как отмечено выше, в тех случаях, когда нет точных сведений об условиях нагрузки судна и используемой мощности, возможны ошибки в определении тех характеристик, которые находятся через эти параметры, например, коэффициента сопротивления. Для его расчета использовалась известная формула

$$N_x = \frac{R \cdot v_{max}}{75\eta}, \text{ л.с.} \quad (1)$$

Переходя к мощности в киловаттах (1 л.с. = 0,736 кВт), скорости в узлах ($v_{max} \text{ м/с} = 0,515 v_{max} \text{ уз}$) и вводя коэффициент сопротивления $\epsilon = R/D_{II}$, получаем формулу для расчета коэффициента сопротивления ВСС:

$$\epsilon = 0,198 \frac{N_x \cdot \eta}{v_{max} \cdot D_{II}} \quad (2)$$

Необходимо отметить, что в большинстве случаев значения КПД движителя не входят в число данных, сообщаемых в числе общепроектных характеристик судна, поэтому для оценки коэффициента сопротивления по (2) использовались обобщенные зависимости КПД от скорости для каждого типа движителя. В частности, для оценки КПД водометных движителей (ВД оборудовано около 90% ВСС, рассмотренных здесь) применялся эмпирический график Свенсона [3], построенный по данным нескольких десятков натуральных ВСС, оснащенных водометами фирмы «KaMeWa» (рис.1).

$$\zeta_D = \frac{R \times V_S}{P_D}$$

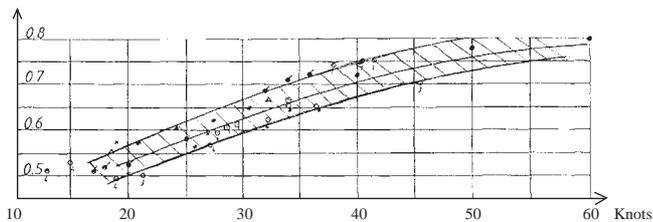


Рис.1. Зависимость КПД от скорости судна

3. Анализ характеристик судов, не имеющих аналогов

Наиболее сложными для анализа проектных характеристик являются суда, не имеющие аналогов, по которым при большом объеме информации рекламного характера сообщается минимум проектных данных. Типичный пример – построенные в 1996 г. для компании «Stena Line» судостроительством «Finnyards» два скоростных пассажирско-автомобильных парома «Stena 1500 HSS» (рис.2) [1].



Рис.2. Пассажирский катамаран «Stena 1500 HSS» (№ 8, табл. 2)

В этом проекте были успешно реализованы многие технические решения, которые зарубежные эксперты называют революционными, например, создание корпуса катамаранной формы из легкого сплава длиной 126 м, шириной 40 м и высотой около 27 м уникально с точки зрения прочности, технологии сборки и сварки.

Бортовые корпуса (скеги) высотой около 10 м имеют сужение в районе ходовой ватерлинии; шпангоутные сечения подводной части скегов имеют форму эллипсов, радиус которых уменьшается от кормы к носу, что в сочетании с удлинением скега по ватерлинии, равном 27, обеспечивает минимальное сопротивление на тихой воде и минимальную потерю скорости на волнении (на волнении с максимальной высотой до 6 м судно двигалось со скоростью 38 уз, что составляет 95% эксплуатационной скорости).

Для нас наибольший интерес представляли гидродинамические характеристики судна и их соответствие скорости и мощности. Основная трудность состояла в том, что воспользоваться непосредственно формулой (2) невозможно, поскольку ни в одном из источников не сообщалось водоизмещение. Попытка оценить его через дедвейт не привела к успеху, поскольку различные варианты загрузки (пассажиры, легковые автомобили, автобусы, трейлеры с прицепами) дают значения дедвейта от 1000 до 2500 т и, соответственно, разброс водоизмещения от 3000 до 7000 т. Поэтому была сделана попытка рассчитать объемное водоизмещение, используя известные данные о длине скега по ватерлинии и осадке, однако для этого необходимо было знать, хотя бы приближенно, коэффи-

циенты, характеризующие форму подводной части скега. С этой целью был проведен реконструктивный анализ фотографий сечений судна на стапеле (рис.3, 4).



Рис.3. Вид кормы «Stena 1500 HSS»

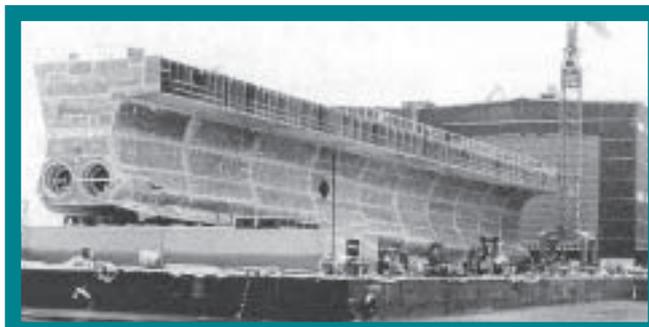


Рис.4. Бортовая секция «Stena 1500 HSS»

Метод технической реконструкции широко используется специалистами разных стран для извлечения из открытых публикаций данных по ТТХ боевых кораблей вероятного противника или отдельным видам их вооружения. В данном случае опорным размером для определения масштаба послужил диаметр выходного сопла ВД 160S, известного по каталогам фирмы «KaMeWa» (см. рис.3). Поскольку в нижней части каждого скега размещаются два таких двигателя и известна величина монтажных зазоров, определились приближенные размеры нижней части скега в корме судна.

В результате удалось воссоздать эскиз подводной части скега, использованный для последующих расчетов плавучести и сопротивления движению (рис.5).

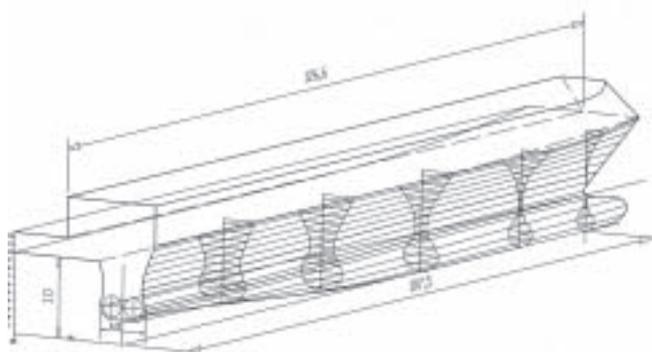


Рис.5. Реконструкция теоретического чертежа «Stena 1500 HSS»



МОРЯНОТ

КОНЦЕРН



**СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ,
ОЧИСТКА И ОКРАСКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
НЕФТЯНЫЕ ТЕРМИНАЛЫ И ТРУБОПРОВОДЫ,
ЭКСПЕДИРОВАНИЕ, АГЕНТИРОВАНИЕ, ДЕКЛАРИРОВАНИЕ ГРУЗОВ,
ИНВЕСТИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ, ФИНАНСОВЫЕ УСЛУГИ**

**Россия, 195009, Санкт-Петербург, Лесной пр., 19/21 лит. Б
Тел.: +7 (812) 542 80 63, 542 27 98; Факс: +7 (812) 542 34 37
E-mail: mmf@spb.cityline.ru**



СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ФИРМА «АЛМАЗ»



Сторожевой катер проекта 10412 «Светляк»



Представительская яхта Президента России «Кавказ»



Десантный корабль на воздушной подушке проекта 12322 «Зубр»



Многоцелевой катер на воздушной подушке «Рысь»



Лоцманское судно проекта AP-1600

Россия, 197110, С.-Петербург,
Петровский пр., 26

Тел. 812 350 11 64
Факс 812 350 11 64

e-mail: market@almaz.spb.ru
www.almaz.spb.ru

Расчет сопротивления движению был выполнен по методике, изложенной в [6], в предположении отсутствия взаимного влияния скегов. Как следует из исследования [5], такое предположение допустимо, поскольку параметры катамарана «Stena 1500 HSS», определяющие взаимодействие корпусов (относительное удлинение скега $i = L_{ск} / (\omega_{ск})^{1/3} = 8$; относительный горизонтальный клиренс $C_L = C / L_{ск} = 0,29$) обеспечивают либо отсутствие, либо благоприятное взаимодействие корпусов (коэффициент взаимодействия $K_c = R_0 / R_{0c} \geq 1$).

В результате расчетов элементов теоретического чертежа были получены значения площади смоченной поверхности скегов (3465 м²) и объемного водоизмещения (4400 м³), что с учетом солёности даёт водоизмещение около 4500 т. Для проверки этих результатов, полученных с помощью метода технической реконструкции, были непосредственно рассчитаны сопротивление движению и требуемая мощность для достижения максимальной скорости, а затем полученные данные сравнивались с фактической мощностью ГЭУ, установленной на судне.

Согласно расчету, полное сопротивление движению катамарана на скорости 43 уз составило 279,5 т (2742 кН), а требуемая мощность – 113 000 л.с. (83,1 МВт); фактическая установленная мощность ГЭУ составляет 106 080 л.с. (78 МВт). Расхождение составляет около 6%, что, учитывая неизбежные погрешности в определении исходных данных, позволяет сделать вывод о приемлемости полученных результатов для целей данного анализа. Представляет интерес полученное в расчете соотношение составляющих полного сопротивления:

- вязкостное (сопротивление трения + сопротивление формы) – 61,5%;
- волновое – 23,4 %;
- выступающих частей (включая водозаборы ВД, сварные швы и т.д.) – 12,8%;
- аэродинамическое сопротивление – 2,3 %.

Обобщенные данные по ТЭХ СВПС, катамаранов и однокорпусных ВСС приведены в табл. 1, 2 и 3 соответственно, где $L \times B$ – длина/ширина максимальные, м; $D_{п}$ – полное водоизмещение, т; D_w , $G_{п}$ – дедвейт и полезная нагрузка, т; ω_{max} – максимальная скорость, уз; Fr_D , Fr_l – числа Фруда по водоизмещению и длине; N_x , $N_{п}$, N_{Σ} – мощность энергоустановки: на движение, на воздушную подушку, полная, кВт; ϵ – коэффициент сопротивления (обратное гидродинамическое качество); η – коэффициент полезного действия движителя.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

3.1. Коэффициент сопротивления движению ВСС

По данным табл. 1–3 с помощью (2) рассчитывались значения коэффициента сопротивления ϵ для каждого типа ВСС и строились их графики в зависимости от числа Фруда по водоизмещению Fr_D . Применяемая для обработки компьютерная программа «Microsoft Excel» позволяет воспользоваться для аппроксимации зависимости $\epsilon = f(Fr_D)$ линейную, логарифмическую, степенную, экспоненциальную и другие виды функций; в данном случае была выбрана экспоненциальная. Графики зависимости $\epsilon = f(Fr_D)$ приведены на рис. 6–10.

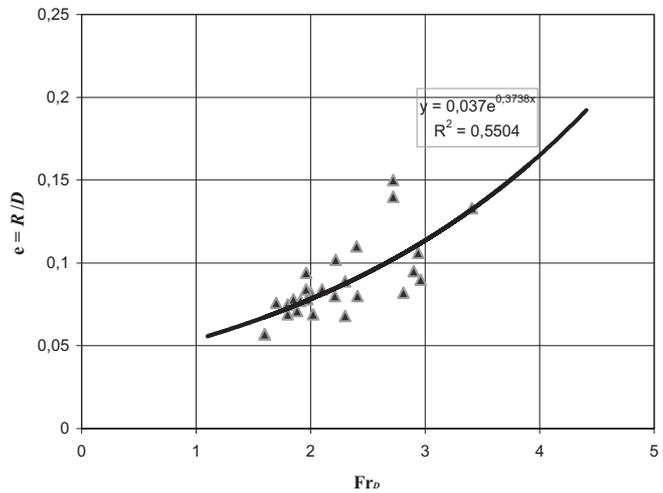


Рис. 6. Зависимость коэффициента сопротивления катамаранов от числа Фруда по водоизмещению

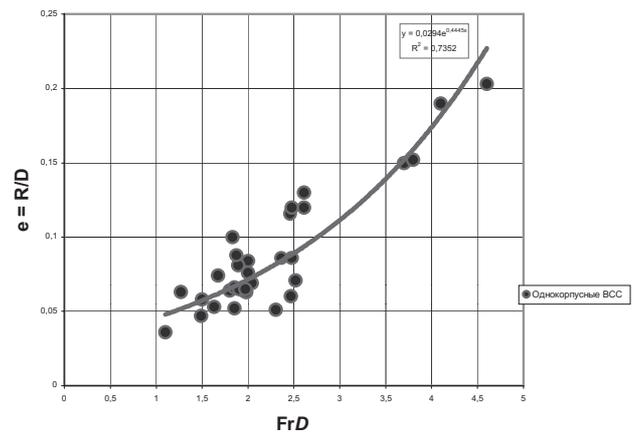


Рис. 7. Зависимость коэффициента сопротивления однокорпусных ВСС от числа Фруда по водоизмещению

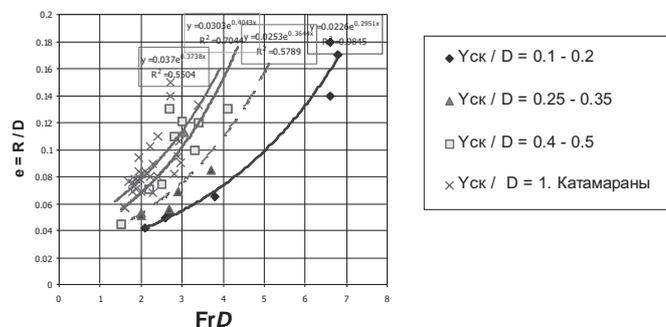


Рис. 8. Зависимость коэффициента сопротивления скеговых СВПС от числа Фруда по водоизмещению

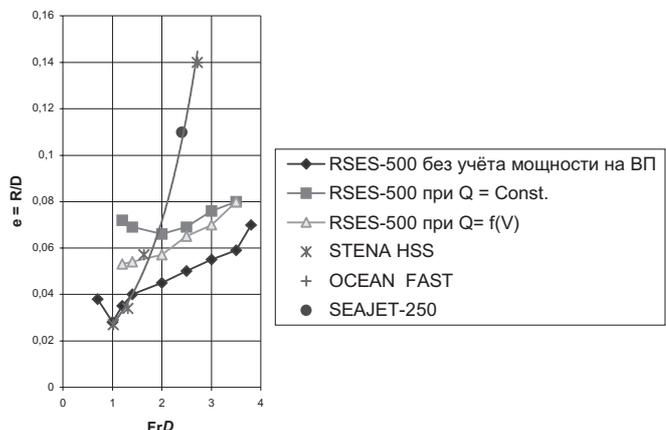


Рис. 9. Сравнение относительного сопротивления СВПС и катамаранов

Таблица 1

Технико-эксплуатационные характеристики СВПС

№	Название	Страна	LxB, м	D _п , т	D _в , т	G _п , т	v _{max} , уз	Fr _D	N _х /N _п , кВт	N _Σ , кВт	D _в *v _{max} , уз	ε	η	Y _c /D _п	N _Σ /D _п , кВт/т	Число пасс./ автом.
1	«Cirrus-120P»	Норвегия	35x 11,5	120	36	30	50	3,7	3380/ 650	4030	1800	0,085	0,76	0,3	33,6	320/-
2	«Cirrus-200P»	Норвегия	60,5x 17,8	500	150	123	55	2,6	8820/ 1470	10290	8250	0,049	0,77	0,2	20,6	364/- 56
...																
20	«Бора»	Россия	64x 17	1050	350	*	50	2,6	44120/ 2940	47060	17500	0,13	*	0,45	44,8	*
...																
27	«Hisho» (MHI)	Япония	70x 18,6	700	200	150	54	3,0	24000/ 6000	30000	10800	0,121	0,77	0,35	42,9	500/ 75
28	«Semo»	Южн. Корея	40x 11,6	130	38	35	50	3,7	3900/ 1080	5080	1900	0,116	0,75	0,25	39,1	350

Таблица 2

Технико-эксплуатационные характеристики катамаранов

№	Название (фирма)	Страна	LxB, м	D _п , т	D _в , т	G _п , т	v _{max} , туз	Fr _D	Fr ₁	N _х , кВт	D _в *v _м , уз	ε	η	N _Σ /D _п , кВт/т	Число пасса- жиров	Число Автомо- билей
1	«74m WPC»	Австралия	74x 26	650	200	160	37	2,1	0,77	15000	7400	0,084	0,68	23,1	450	84
...																
8	«Stena HSS 1500»	Швец. Финл.	126x 40	4500	1600	1200	43	1,6	0,69	78000	68800	0,057	0,72	17,3	1500	375
...																
20	«Bazan»	Испания	77,3x 19,5	700	200	150	53	2,92	1,08	28000	10600	0,113	0,76	40	450	52
...																
26	«Spirit of Ontario»	Австралия	86,6x 23,8	1600	470	370	47	2,3	0,83	32800	22090	0,064	0,74	20,5		

Технико-эксплуатационные характеристики однокорпусных ВСС

№	Название (фирма)	Страна	LxB, м	D _п , т	D _в , т	Гп, т	v _{max} , уз	Fr _D	Fr _Г	N _х , кВт	D _в *v _{max} , уз	ε	η	N _з /D _п , кВт/т	Число пассажиров	Число Автомобилей
1	«Almundaina» (Bazan)	Испания	96,2x14,6	950	280	200	38	2,0	0,69	22600	10640	0,084	0,68	27,8	450	84
2	«SilviaAnn» (Bazan)	Испания	125x18,7	2000	650	450	40	1,8	0,60	38000	26000	0,064	0,70	19,0	1250	250
3	«MDV1200» Fincantieri	Италия	95x16	1300	400	300	40	1,98	0,73	24000	16000	0,063	0,70	18,0	600	170
...																
9	«MDV 3000» Fincantieri	Италия	145,6x22	4000	1200	1000	45	1,85	0,59	68000	54000	0,052	0,71	17,0	1800	450
10	Flying Cat	Норвегия	59x16	450	150	120	33	1,96	0,77	10800	4950	0,094	0,65	24,0	450	52
...																
20	«Fast Ship»	США	265x40	24600	15000	9200	40	1,1	0,43	250000	600000	0,036	0,70	10,2	-	1432 TEU
21	«Corsaire 12000» (Leroux)	Франция	119x15,7	1700	500	400	40	1,9	0,60	32400	20000	0,065	0,70	19,0	1000	210
22	Corsaire 14000 (Leroux)	Франция	140x21,8	4300	1300	870	40	1,63	0,56	66200	52000	0,053	0,70	15,4	1800	450
23	«EHSCV IZAR»	Испания	166x27	7400	3000	2400	40	1,49	0,51	100000	120000	0,047	0,70	13,5	-	80 трейлеров
...																
32	«Мангуст» (Алмаз)	Россия	18,7x4,1	29			50	4,6	1,90	1980		0,200	0,75	68,3	Патрульный	
33	«Мираж» (Алмаз)	Россия	35,4x6,6	121			50	3,7	1,38	7060		0,150	0,65	58,3	Патрульный	
34	«Соболь» (Алмаз)	Россия	27x5,8	57			50	4,2	1,58	2680		0,120	0,65	47,0	Патрульный	
35	«Octopussy»	Голландия	39,9x8,2	140			53	3,8	1,38	7500		0,152	0,76	53,6	Яхта	
36	«МПК» (Алмаз)	Россия	30,9x5,2	84			53	4,1	1,57	5600		0,189	0,76	66,7	Патрульный	

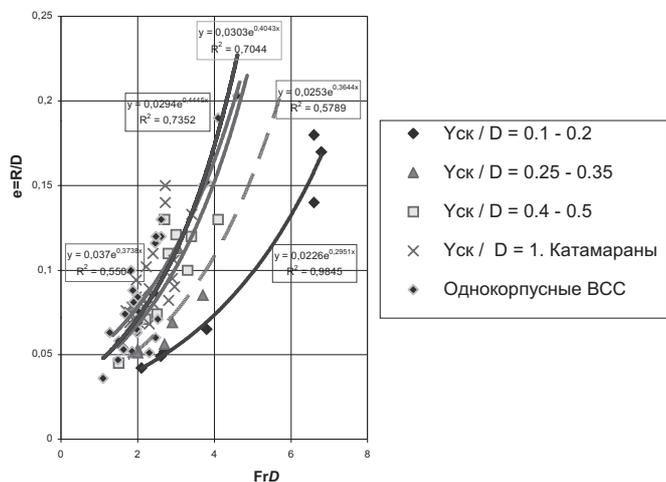


Рис.10. Зависимость коэффициента сопротивления ВСС различных типов от числа Фруда по водоизмещению.

ВЫВОДЫ

Катamarаны. Из табл. 2 и рис. 6 можно заключить, что основная группа рассмотренных катamarанов располагается в диапазоне $1,5 \leq Fr_D \leq 3$.

Самый низкий коэффициент сопротивления $\epsilon = 0,057$ (или самое высокое гидродинамическое качество $K = 1/\epsilon = 17,5$) имеет шведский катamarан финской постройки «Stena 1500 HSS» при водоизмещении около 4500 т и скорости 43 уз. Самым скоростным из рассмотренных является 77-метровый катamarан испанской фирмы «Bazan», имеющий скорость 53 уз.



Рис.11. Катamarан «Spirit of Ontario» фирмы «Austal» (№ 26, табл. 2)

Однокорпусные ВСС. Это самая большая группа из рассмотренных в анализе ВСС (36 судов).

Хотя основная группа судов располагается в диапазоне чисел $Fr_D = 1 \div 3$, с коэффициентом сопротивления $\epsilon = 0,05 \div 0,1$, ряд однокорпусных судов имеет более высокие относительные скорости: $3,7 \leq Fr_D \leq 4,6$. Это патрульные катера проектов ЦМКБ «Алмаз»: «Мангуст» (29 т, 50 уз, рис.12), «Мираж» (120 т, 50 уз, рис.12) и скоростная яхта голландской постройки «Octorussy» (140 т, 53 уз, № 35 табл. 3). Для этих судов $\epsilon = 0,15 \div 0,20$. Самое низкое относительное сопротивление ($\epsilon = 0,052$) имеет один из самых крупных однокорпусных ВСС – 155-метровый паром «MDV3000» итальянской фирмы «Fincantieri» при скорости 45 уз (№ 9, табл. 3).

Интересен проект трансатлантического контейнеровоза «Fast Ship» (№ 20, табл. 3) дедвейтом около 15 000 т, скоростью 40 уз, проектант – «Giles Co Inc», США, и более реальный проект европейского контейнеровоза «EHSCV» (№ 23, табл. 3) дедвейтом 3 000 т, скоростью 40 уз, проектант – группа «IZAR», Испания.



Рис.12. Патрульный катер «Мираж» (№ 33 табл.3)



Рис.13. Патрульный катер «Мангуст» (№ 32, табл.3)

Скеговые СВП (СВПс). Эта наименьшая по количеству реализованных судов группа из числа рассмотренных, что отражает общую статистику по ВСС в мире, где СВПс составляют около 10% общего количества ВСС. Не проводя здесь подробного анализа этого, отметим, что в числе основных причин сложившегося положения обычно отмечают более сложную конструкцию их корпуса, наличие дополнительной энергетической установки и обусловленную этим более высокую стоимость постройки и эксплуатации.

Остановимся на ходовых качествах СВПс, зависящих в первую очередь от таких параметров, как удлинение воздушной подушки (ВП), давление в ней, расход воздуха и распределение нагрузки между ВП и скегами.

Удлинение ВП существенно влияет на волновую составляющую сопротивления: с его увеличением возрастает волновое сопротивление на высоких «загорбовых» относительных скоростях ($Fr_L > 1$), но уменьшается величина «горба».

Давление воздуха в ВП влияет двояким образом: его увеличение ведет к росту «горба сопротивления», но в то же время при постоянном водоизмещении уменьшаются габариты корпуса и расход воздуха, что способствует снижению гидродинамической, аэродинамической и импульсной составляющих сопротивления.

Увеличение расхода воздуха существенно снижает сопротивление на высоких скоростях ($Fr_D > 3$); на более



Рис. 14. Ракетный КВП скегового типа «Бора» (№ 20, табл.1)

низких скоростях увеличение расхода воздуха слабо влияет на сопротивление, но увеличивает суммарную мощность.

Еще один важный фактор, влияющий на сопротивление СВПС, – это распределение сил поддержания между ВП и скегами. Для большинства проектов СВПС, приведенных в табл. 1, известны величины давления в ВП и главные размерения, по которым с достаточной точностью можно определить площадь ВП, а затем и силу аэростатического поддержания.

На основании известного уравнения равновесия СВПС по высоте

$$gD = P_{\Pi} \cdot S_{\Pi} + 2\rho g \bar{\omega}_{\text{СК}} \quad (3)$$

можно рассчитать коэффициенты нагрузки на скеги:

$$Y_{\text{СК}}/D = 2\rho g \bar{\omega}_{\text{СК}}/D = 1 - P_{\Pi} \cdot S_{\Pi}/gD \quad (4)$$

(см. табл. 1).

На рис. 8 приведены графики коэффициента сопротивления СВПС для различных значений коэффициента нагрузки.

Как видно из них, самое низкое сопротивление имеют СВПС с малонагруженными скегами ($Y_{\text{СК}}/D = 0,1 - 0,2$), примерами которых являются «SES-100А», «SES-100В» и «Стрепет», имеющие из всех рассмотренных СВПС самые высокие скоростные показатели (скорости 70–90 уз, относительные скорости $Fr_w > 6,5$). С увеличением коэффициента нагрузки сопротивление возрастает настолько, что скоростной диапазон ограничивается числами Фруда 3–4; при этом относительное сопротивление ряда СВПС, имеющих $Y_{\text{СК}}/D = 0,4-0,5$ приближается к сопротивлению катамаранов, для которых $Y_{\text{СК}}/D = 1$.

Многие оппоненты СВПС считают, что сравнение по относительному сопротивлению (обратному гидродинами-



Рис. 15. Пассажирское СВПС «Демокрасу» фирмы «Semo» (№ 28, табл.1)

ческому качеству $\epsilon = R/D$) катамаранов и однокорпусных ВСС со скеговыми СВПС некорректно, поскольку у последних при этом не учитывается затрата мощности на поддув. К этому замечанию можно подойти с двух точек зрения. Если целью ставится достижение максимальной скорости и выбор необходимой для этого энергетической установки и пропульсивного комплекса, никакого нарушения корректности здесь нет, поскольку выводы об экономичности (энергозатратах) могут быть сделаны путем сравнения суммарных относительных мощностей, анализ которых будет приведен ниже. Если сопоставления относительного сопротивления традиционных ВСС и СВПС может быть применен показатель обратного энергетического качества (полного относительного сопротивления), предложенный С.Г. Ермолаевым [7].

$$\epsilon_{\Sigma} = N_{\Sigma}/DV = RV/DV + QH/DV \equiv \epsilon_r + \epsilon_{\Pi}, \quad (5)$$

где $\epsilon_r = R/D$ – обратное гидродинамическое качество (10-коэффициент сопротивления); Q, H – соответственно, расход воздуха в ВП и напор вентилятора; N_{Σ} – полная (на движение и поддув) мощность энергетической установки СВПС; $\epsilon_{\Pi} = QH/DV$ – безразмерный коэффициент, учитывающий затраты мощности на образование ВП.

Знак приближенного равенства в (5) связан с допущением близости значений КПД нагнетателя и движителя (в пределах 10–15%).

На рис. 9 построены зависимости обратного энергетического качества для проекта RSES-500 в сравнении с коэффициентами гидродинамического сопротивления катамаранов. Из графиков видно, что учет затрат на образование ВП, хотя и увеличивает коэффициент полного относительного сопротивления СВПС, но не опровергает вывода о преимуществе СВПС с малонагруженными скегами ($Y_{\text{СК}}/D = 0,1 - 0,2$) по сравнению с катамаранами при $Fr_D > 2$. Возвращаясь к отрицательному эффекту избыточного расхода воздуха на пониженных скоростях, можно предложить режим движения СВПС с переменным по скорости расходом воздуха, что иллюстрируется средним графиком рис. 9: при $Fr_D < 2$ $Q = 300 \text{ м}^3/\text{с}$; при $Fr_D < 3$ $Q = 400 \text{ м}^3/\text{с}$; при $Fr_D > 3$ $Q = 500 \text{ м}^3/\text{с}$.

На практике это может быть осуществлено либо изменением оборотов (при отдельных приводах движителя и нагнетателя), либо регулированием воздушного потока в ВП (например, поворотными лопатками нагнетателя).

3.2. Сравнение энерговооруженности ВСС различных типов

В табл. 2 и 3, столбец 15 и табл. 1, столбец 16 приведены значения удельной мощности рассматриваемых ВСС, по которым построены зависимости $N_{\Sigma}/D_{\Pi} = f(D_{\Pi})$ для различных скоростей хода (рис. 11–15). Из них следует, что для всех типов ВСС удельная мощность уменьшается с ростом водоизмещения по логарифмическому закону: $Y = -a \cdot \ln(x) + b$, где параметры a и b определяются в ходе статистической обработки фактических данных и приведены на упомянутых диаграммах.

Анализируя зависимости конкретно для каждого из типов ВСС, можно отметить следующее.

Однокорпусные суда. Для скоростей 30–35 уз удельные мощности составляют от 18 (для судов $D \approx 1300 \text{ т}$) до 27 кВт/т (для судов $D < 200 \text{ т}$); для скоростей 36–45 уз – от 15 (для судов $D \approx 400 \text{ т}$) до 32 кВт/т (для $D > 200 \text{ т}$); для 50–55 уз – от 40 (для судов $D \approx 1000 \text{ т}$) до 60 кВт/т (для $D < 150 \text{ т}$).

Следует заметить, что ввиду малого количества данных по последней группе ВСС показатель достоверности аппроксимации ($R^2 \approx 0,33$) довольно низкий, поэтому приведенные оценки следует рассматривать как ориентировочные.

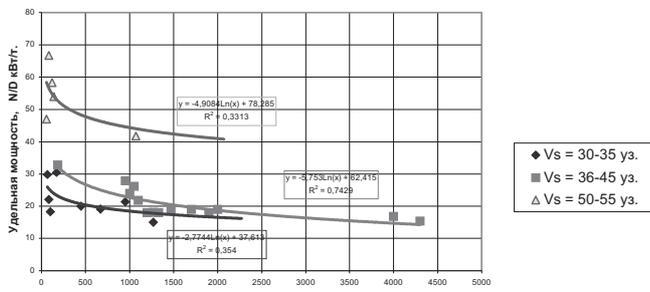


Рис.16. Зависимость удельной мощности однокорпусных ВСС от водоизмещения

Катамараны. Для диапазонов скоростей 30–39 уз удельные мощности составляют от 15 (для $D \approx 220$ т) до 30 кВт/т (для $D < 500$ т); для 40–44 уз – от 17 (для $D \approx 4000$ т) до 40 кВт/т (для $D < 500$ т); для 45–55 уз –

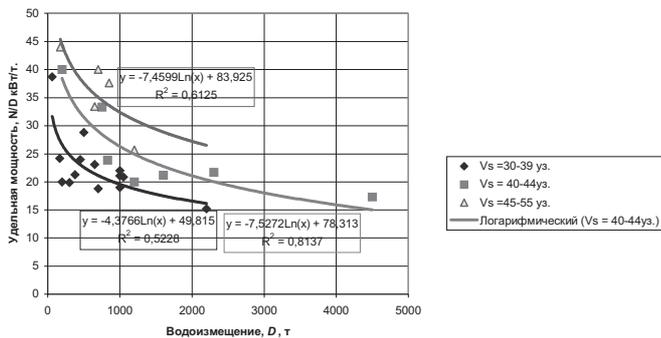


Рис.17. Зависимость удельной мощности катамаранов от водоизмещения

от 26 (для $D \approx 1200$ т) до 44 кВт/т (для $D < 500$ т).

Скеговые СВП. При скоростях 40–45 уз удельные мощности составляют от 20 (для $D \approx 2200$ т) до 40 кВт/т (для $D < 200$ т); при скоростях 50–55 уз – от 25 (для $D > 3000$ т) до 45 кВт/т (для $D < 1000$ т); при скоростях 70–90 уз – от 50 (для $D \approx 3000$ т) до 100 кВт/т

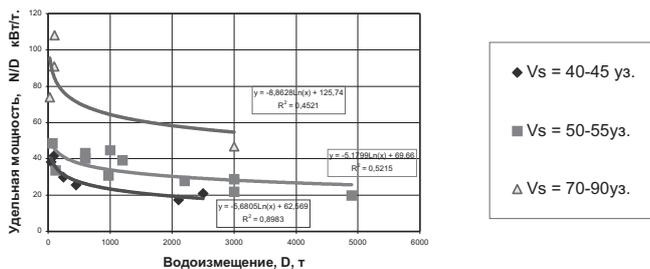


Рис.18. Зависимость удельной мощности СВПс от водоизмещения (для $D < 150$ т).

Полученные данные позволяют сделать аналогичные выводы об относительной энерговооруженности рассмотренных ВСС (рис.19 и 20):

1. При скоростях 40–45 уз ($F_{rD} \leq 3$), однокорпусные суда и СВПс имеют близкие значения удельной мощности; катамараны показывают несколько большие значения удельной мощности (рис.19);

2. При скоростях 50–55 уз ($F_{rD} \leq 4$), скеговые СВП по затратам мощности выглядят предпочтительнее, хотя разница с катамаранами находится в пределах точности расчета; однокорпусные ВСС имеют удельную мощность примерно в 1,3 раза большую.

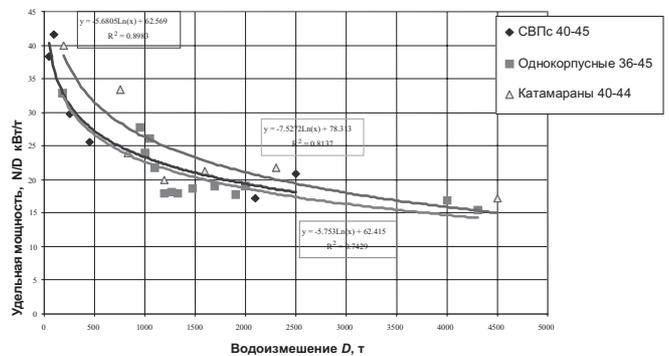


Рис.19. Сравнение удельных мощностей ВСС

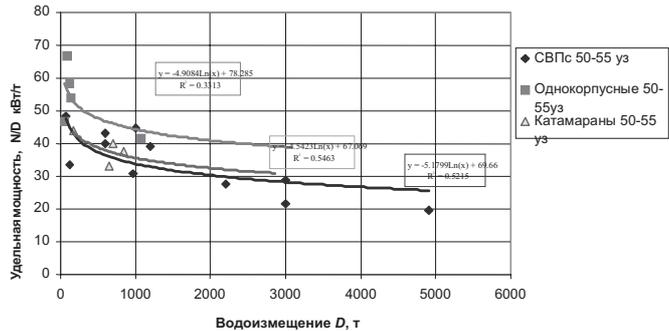


Рис.20. Сравнение удельных мощностей ВСС

3. При скоростях движения, соответствующих $F_{rD} \leq 4$, данные по однокорпусным ВСС и катамаранам отсутствуют, но, как можно заключить из данных рис. 10, в этом скоростном диапазоне энергетическое преимущество скеговых СВП очевидно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе приведенного в табл. 1–3 статистического материала автор предполагает проанализировать эксплуатационные характеристики ВСС, как провозоспособность, транспортная эффективность и др., а также их стоимостные характеристики ВСС.

Автор выражает признательность руководству ФГУП ЦМКБ «Алмаз» за возможность ознакомиться с проектными разработками Бюро, а также В.В. Зубрицкому, А.В. Захарову, О.Н. Тазову, Д.Е. Цымлякову за консультации и помощь в проектном анализе и компьютерной обработке данных по ВСС. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Fast Ferry International, 2000–2005.
2. *Speed at Sea*, 2002–2004.
3. *Kameva*. Seminar in St. Petersburg. March, 1992.
4. Судостроение. – 1999. – № 4.
5. Цымляков Д.Е. Разработка методики оптимизационного проектного расчета элементов скоростных двухкорпусных судов (катамаранов) с различной степенью разгрузки аэростатической воздушной подушкой. – Дисс. на соискание уч. степени канд. тех. наук. – СПб ГМТУ. – 1997.
6. *Войткунский и др.* Справочник по теории корабля. – Л.: Судпромгиз. – 1960.
7. Ермолаев С.Г. и др. Особенности гидродинамики быстроходных катамаранов // Судостроение. – 1976. – № 8. ■