

А. М. Ваганов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ СУДОВ



Докладом Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного для студентов высшей школы, обучающихся по специальности «Судостроение и судоремонт»

У 5300



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СУДОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАД
1976

В учебнике приведены общие сведения о транспортных скоростных судах с двигателями приводимой подвеской, а также глиссеры, суда на подводных крыльях (СПК) и суда на воздушной подушке (СВП); рассмотрены также основные гидропроектировочные суда этого класса, рассмотрены принципы выбора архитектурно-конструктивных схем, главных размеров, энергетического оборудования, формы корпуса, крыльевые устройства и другие проектные моменты, обеспечивающие необходимые эксплуатационно-мореходные качества скоростных судов. Обшире рассмотрены дополнения к сведениям описательного характера сопровождаемые справочно-нормативными данными.

Учебник рассчитан на студентов кораблестроительных вузов и факультетов и может быть полезен широкому кругу инженерно-конструкторских работников, занятых в судостроительной промышленности.

Рекомендуется
канд. техн. наук
Б. А. Царя,
канд. техн. наук
А. И. Кисорин

Научный редактор
докт. техн. наук
проф. **И. Т. Егоров**

ОГЛАВЛЕНИЕ

	От автора	7
	Раздел I	
	ГЛИССЕРЫ	
Глава 1	§ 1.1	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	Роль глиссеров и формы корпуса глиссеров	9
О ГЛИССЕРАХ	§ 1.2	
	Классификация глиссерных судов и их архитектурно-конструктивные особенности	15
Глава 2	§ 2.1	
ГИДРОДИНАМИКА	Распределение скоростей и давлений в воде под глиссерной подводкой	22
И МОРЕХОДНОСТЬ	§ 2.2	
ГЛИССИРУЮЩИХ	Гидродинамические нагрузки от воды и сопротивления	24
СУДОВ	§ 2.3	
	Безразмерные гидродинамические коэффициенты	27
	§ 2.4	
	Гидродинамический режим глиссерных судов	32
	§ 2.5	
	Мореходность глиссерных судов	35
Глава 3	§ 3.1	
РАЗРАБОТКА	Общие положения	40
ПРОЕКТА	§ 3.2	
В НАЧАЛЬНОЙ	Сравнение вариантов судов	42
СТАДИИ	§ 3.3	
ПРОЕКТИРОВАНИЯ	Центровка	44
	§ 3.4	
	Выбор главных размеров и их соотношений	45
	§ 3.5	
	Правильность определения действительной скорости глиссерных судов и потребной мощности двигателя	53
Глава 4	§ 4.1	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ	Безразмерные отрывные корпуса	56
ЭЛЕМЕНТОВ	§ 4.2	
ФОРМЫ КОРПУСА	Резиновые катера	63
ГЛИССИРУЮЩИХ	§ 4.3	
СУДОВ	Формы клубового М, грабильные реданы	68
	§ 4.4	
	Тенденция современного развития глиссерных судов	73

Раздел II
СУДА
НА ПОДВОДНЫХ
КРЫЛЬЯХ

Глава 5 ПОДВОДНЫЕ КРЫЛЬЯ И КРЫЛЬЕВЫЕ СИСТЕМЫ	§ 5.1 Гидродинамические характеристики крыльев	78
	§ 5.2 Гидродинамические характеристики подводного крыла	80
	§ 5.3 Конструктивные типы подводных крыльев и их морфологические особенности	91
	5.3.1 Маложорувковые крылья	92
	5.3.2 Полужорувковые крылья	94
	5.3.3 Землеронные крылья	98
	5.3.4 Угровые крылья	99
	§ 5.4 Крыльевые системы СПК	109
Глава 6 РАЗВИТИЕ СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ	§ 6.1 Начальный период развития СПК	114
	§ 6.2 Последующий период развития СПК во Франции	117
	§ 6.3 Относительные СПК	125
Глава 7 МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СПК	§ 7.1 Выход на крыльевой режим и со- противление воды движению СПК	130
	§ 7.2 Статическая и динамическая устойчи- вость СПК	136
	§ 7.3 Движение СПК в узком диапазоне	142
Глава 8 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СУДНА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	§ 8.1 Особенности и последовательность разработки проекта СПК	148
	§ 8.2 Определение основных характеристик судна в первом приближении	152
	§ 8.3 Определение основных элементов СПК во втором приближении	163
	8.3.1 Архитектурно-компоновочные схемы палубных СПК	163

8.3.2 Определение массы СПК	174
§ 8.4 Выбор элементов гидродинамического конфигурационного «крыло-корпус»	179
8.4.1 Крыльевое устройство и его элементы	—
8.4.2 Площадь и размеры воздушных крыльев	181
8.4.3 Расположение крыльев по длине судна	—
8.4.4 Выбор профиля крыльев	186
8.4.5 Уточнение элементов несущих крыльев	187
8.4.6 Высоты и профиль крыльевых стоек	191
8.4.7 Сварочное устройство	193
8.4.8 Форма корпуса	194

Раздел III
СУДА
НА ВОЗДУШНОЙ
ПОДУШКЕ

Глава 9 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВП	§ 9.1 Развитие СВП	198
	§ 9.2 Классификация СВП. Схемы форми- рования ВП	207
	§ 9.3 Габариты ограждения ВП	210
	9.3.1 Материалы ГО	214
	§ 9.4 Архитектурно-конструктивные осо- бенности СВП	215
	9.4.1 Амфиболные СВП	—
	9.4.2 Степные СВП	217
	9.4.3 Полужероночные СВП	218
	§ 9.5 Главные двигатели, двигатели и экс- траторы СВП	219

Глава 10	§ 10.1	
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ОСНОВЫ ГИДРОАЭРОМЕХАНИКИ СВП	Статика СВП	225
	10.1.1	
	Основные гидродинамические характеристики СВП	226
	10.1.2	
	Статическая устойчивость СВП	231
	§ 10.2	
	Сопротивление движению СВП	234
	10.2.1	
	Сопротивление дифферентам СВП	—
	10.2.2	
Сопротивление основным СВП	239	
Глава 11	§ 11.1	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВП	Проектирование дифферента СВП	244
	11.1.1	
	Характерные величины и зависимости для дифферента СВП	—
	11.1.2	
	Определение массы и выбор главных размеров СВП в первом приближении	247
	11.1.3	
	Определение главных элементов СВП во втором приближении	249
	§ 11.2	
	Проектирование скелетных СВП	254
	11.2.1	
	Характерные величины и зависимости для скелетных СВП	—
	11.2.2	
	Определение водной массы и выбор главных размеров СВП в первом приближении	262
11.2.3		
Определение основных проектных характеристик СВП во втором приближении	265	
Предметный указатель	273	
Указатель литературы	276	

ОТ АВТОРА

Учебная дисциплина «Проектирование судов», согласно действующим учебным планам, состоит из двух частей: общей — «Теория проектирования судов» — и специальной части, состоящей из ряда курсов, в которых рассматриваются особенности проектирования отдельных типов судов, имеющих специфические особенности.

В курсе «Теория проектирования судов» излагаются общие методы определения главных элементов проектируемых судов.

В курсах второй части общей подготовки проектирования конкретизируются применительно к судам того или иного типа, рассматриваются методы практического проектирования с учетом особенностей назначения, общего устройства и условий эксплуатации рассматриваемых судов. Одним из таких курсов является «Проектирование скоростных судов».

По принципу движения, архитектурному оформлению, конструкции корпуса, наличию специальных устройств и систем, по характеру проектирования, особенностям различных теоретических вопросов и ряду других признаков скоростные суда резко отличаются от всех водонемещающих судов.

Скоростные суда, или, как их часто называют, суда с динамическим принципом поддержания, получают широкое распространение и сейчас уже занимают ведущее место по перевозке пассажиров в транспортной системе внутренних водных путей и в прибрежных морских районах. Ряд типов судов на подводных крыльях (СПК) и судов на воздушной подушке (СВП) строятся серийно.

По проектированию судов этого типа имеется большое количество работ в публикациях (статьи, брошюры, монографии), но учебная литература отсутствует, что затрудняет подготовку молодых специалистов. Автор надеется, что предлагаемый первый по проектированию скоростных судов учебник частично восполнит этот пробел.

Учебник рассчитан на студентов, обучающихся по программе общей подготовки инженеров-кораблестроителей без специализации по скоростным судам. При его составлении учитывалось то обстоятельство, что студенты не имеют какой-либо существенно важной информации по скоростным судам из других учебных курсов. Это и определило структуру учебника.

Учебник содержит три раздела: глиссеры, СПК и СВП. Каждый раздел составлен примерно по одной схеме: общие сведения по судам, элементарные основы теории и собственно проектирование.

Наибольшее внимание уделено практической методике проектирования, выбору основных проектных элементов и параметров судна в начальной стадии разработки его проекта в учебных условиях.

В связи с ограниченным объемом книги многие вопросы не получили должного освещения. Однако условием основного материала учебника подготовит читателя к тому, чтобы воспользоваться специальной литературой.

РАЗДЕЛ I

ГЛИССЕРЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЛИССЕРАХ

Глава I

Режим движения
и форма корпуса
глиссера

§ 1.1

В спокойном состоянии судна на плаву его масса (вес) полностью уравновешивается гидростатическим давлением воды. При движении судна к гидростатическому давлению прибавляются гидродинамические силы поддержания, которые проявляются как нормальные силы реактивного воздействия на корпус обтекающего потока. Чем больше скорость движения судна, тем больше проявляются гидродинамические подъемные силы, которые могут оказать существенное влияние на изменение его осадки и дифферента.

В зависимости от соотношения гидростатических и гидродинамических сил поддержания различают три скоростных режима движения судна: плавание, переходный режим и глиссирование.

Плавание. Гидродинамические подъемные силы проявляются слабо и не оказывают заметного влияния на осадку судна при движении. При режиме плавания практически точно соблюдается условие равно-

веса сил веса и сил подеркивания, выражаемое законом Архимеда,

$$Dg = \gamma W, \quad (1.1)$$

где D — масса судна, кг; g — ускорение сил тяжести, м/с², W — объемное водозмещение судна, м³; γ — удельный вес воды, кг/м³·с⁴.

Переходный режим. Этот режим характеризуется заметным проявлением гидродинамических подъемных сил. Судно всплывает, его поднимая объем уменьшается, но при этом оно дифференцируется сначала на нос, а потом на корму, что вызывает резкое увеличение волнообразования. Уравнение равновесия сил веса и подеркивания имеет вид

$$Dg = \gamma W_1 + P_p, \quad (1.2)$$

где P_p — равнодействующая гидродинамических подъемных сил, Н; W_1 — объемное водозмещение судна, соответствующее холдовой ватерлинии, м³.

Гласирование. При высоких скоростях движения и соответствующей форме корпуса гидродинамическая подъемная сила становится основной силой подеркивания, судно всплывает и с некоторым углом дифферента на корму начинает скользить (гласировать) по поверхности воды. Масса (вес) судна почти полностью уравновешивается гидродинамической подъемной силой.

Характер скоростного режима может быть определен относительной скоростью, выраженной числом Фруда. Поскольку при высоких скоростях движения длина действующей ватерлинии, вследствие искривления и дифферента судна, является переменной величиной, число Фруда целесообразно брать по водозмещению

$$Fr_D = \frac{V}{\sqrt{gV/D\rho\tau}}, \quad (1.3)$$

Установлено, что границы различных режимов движения судов определяются следующими значениями числа Фруда:

Плавное	$Fr_D < 1,0$
Переходный режим	$1 < Fr_D < 3$
Гласирование	$Fr_D \geq 3$

Следует отметить, что не всякое судно при $Fr_D = 3$ будет действительно гласировать, т. е. скользить по поверхности воды. Чтобы этого добиться, необходимо придать корпусу соответствующую форму. Для благоприятных условий возникновения гидродинамической подъемной силы днище корпуса гласирующего судна должно быть плоским или плоскоклеватым и иметь некоторый подъем от кормы к носу. Для обеспечения срыва обтекающих днище струй воды, т. е. для того, чтобы вода не замыкала борта и корму, бортовая скула должна быть острой, а корма —

обрезной (граниевой). Эти характерные признаки формы корпуса присущи всем типам современных гласеров.

Простейшая форма корпуса так называемого безрамного * гласера показана на рис. 1.1. При достижении определенной скорости судно с такой формой корпуса будет скользить по воде на кормовой части плоскоклеватого днища. Длина этой площади будет тем меньше, чем выше скорость. При очень высоких скоростях и соответствующей центровке (крайне кормовом расположении ЦТ) длина ее становится предельно минимальной, так что почти все днище выходит из воды, и судно скользит на «пятках», имея высокое гидродинамическое качество.

Более высокая эффективность гласирования достигается на реданном гласере (рис. 1.2), а еще большая — на трехточечном (рис. 1.3), предложенном американским конструктором Аллем. Если реданный гласер имеет две несущие площадки — носовую и кормовую (причем кормовая находится в условиях набегания на нее возмущенного потока, что неблагоприятно), — то трехточечный гласер поддерживается на ходу тремя несущими (гласирующими) площадками, работающими в свободных (невозмущенных) потоках воды.

Трехточечные гласеры ввиду сложности их проектирования и постройки, а также из-за неудовлетворительных мореходных качеств не получили массового распространения, хотя все наиболее выдающиеся скорости получены именно на гласерах этого типа.

В 20-х годах американским конструктором Альбертом Хикманом был создан гласирующий безрамный катер с формой корпуса, известной сейчас под названием «морское яйцо» (рис. 1.4). Катера такого типа устойчивы на курсе и не рыскают ** на попутной или встречной волне, идут без бортовых брызг и имеют более высокое гидродинамическое качество по сравнению с обычным типом безрамных гласеров. В настоящее время катера этого типа в различных модификациях получили широкое распространение в любительском катеростроении.

Попытки улучшить мореходные качества судов, движущихся в промежуточном режиме, привели к идее создания комбинированных форм корпуса (рис. 1.5). Носовая часть проектируется по типу у водозмещающего судна с плавными обводами, обеспечивающими безударную встречу с волной, а кормовая — чисто гласирующей. Такая форма может быть признана наиболее рациональной для крупных мореходных катеров со скоростями $1 < Fr_D < 2,5$.

* Редан (hip) — уступ на днище гласера, устраиваемый для устойчивости относительно воды при движении.

** Рыскание — поперечные угловые колебания двигателя судна от несомненного каврирования поперечного в обе стороны под действием волн и ветра при прямом положении руля. При этом падаете управляемые движения спаривается.

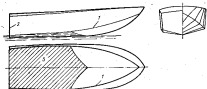


Рис. 1.1. Вербовидный глиссер.

1 — бортовая обшивка; 2 — трапеция; 3 — клеющаяся часть днища.

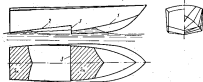


Рис. 1.2. Реечный глиссер.

1 — ватная линия; 2 — скругленный угол; 3 — вертикаль 3_a и 3_b — соответствующие вертикали в горизонтальном сечении глиссирующей.

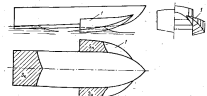


Рис. 1.3. Треугольный глиссер.

1 — клеющаяся обшивка днища.

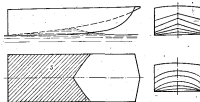


Рис. 1.4. Вербовидный телескопический катер типа «морское сало».

3 — клеющаяся часть днища.

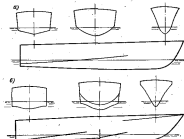


Рис. 1.5. Комбинированные обводы корпусов: а — вербовидный; б — реечный.

В результате поиска повышения мореходности глиссеров появились катера с формой корпуса «глубокое V» (рис. 1.6). Оказалось, что вербовидный корпус с килеватностью 20° и более сравнительно легко можно вывести на режим глиссирования, если по дну поставить продольные рёбра, улучшающие гидродинамическое качество. Катера этого типа имеют малую начальную остойчивость и являются валками на небольших скоростях движения.

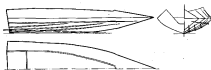


Рис. 1.6. Быстроходная современная моторная лодка с корпусом «лабуной» и предельными режимами.

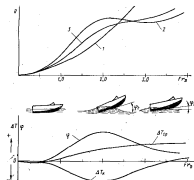


Рис. 1.7. Кривые, характеризующие режимы движения судов.

1, 2, 3 — сопротивление волнообразования судов, предельных и безреданных глиссеров соответственно.

Но на высоких скоростях при волнении они имеют устойчивое движение и относительно малые динамические перегрузки при соударении с волной.

Возвращаясь к характеристике режима движения глиссирующих судов, следует отметить особенность изменения кривой

сопротивления воды движению судна в зависимости от скорости (рис. 1.7). В районе числа Фруда $Fr = 1,5-2,0$ кривая имеет «горб», свидетельствующий о том, что в переходном режиме сопротивление воды движению глиссирующего корпуса заметно выше сопротивления водозмещающего судна. После преодоления «горба» судно начинает переходить в режим глиссирования, и за счет резкого снижения волнообразования вокруг корпуса движущегося судна общее сопротивление уменьшается. В дальнейшем с увеличением скорости сопротивление снова возрастает в связи с увеличением сопротивления трения. «Горб» кривой сопротивления довольно резко проявляется при движении реданных катеров и менее заметно — у безреданных. На рис. 1.7 в зависимости от режима движения показано изменение посадки глиссера, характеризующей углом ходового дифферента φ и изменением осадки ΔT .

Классификация глиссирующих судов и их архитектурно-компоновочные особенности

§ 1.2

Глиссирующие суда составляют большую и разнообразную группу — от мелких до относительно крупных судов, иногда резко отличающихся друг от друга водоизмещением и размерами, мощностью и скоростью, формой корпуса и мореходностью, архитектурно-компоновочными особенностями и рядом других важных признаков.

При современном состоянии и тенденциях развития глиссирующих судов они могут быть классифицированы по следующим признакам.

По назначению выделяют служебно-разъездные, прогулочные, туристские, спортивно-гонимые, пассажирские, катера специального назначения (санитарные, пожарные, спасательные и др.).

По архитектурно-компоновочному типу можно выделить следующие группы судов: беспалубные моторные открытого типа, моторки и катера с жилой палубой и открытым кокпитом, катера с жилой надстройкой и открытым кокпитом в кормовой половине, катера и суда со сплошной надстройкой, большие западабленные катера со средней рубкой, двухкорпусные суда с рубкой на соединительном мосту, суда с аэродинамическими формами корпусов (одно-, двух- или трехкорпусные гоночные катера с плавными обтекаемыми формами, рассчитанными на минимальное сопротивление воздуха или на получение дополнительной подъемной силы).

По форме корпуса* различают следующие группы глиссирующих судов:

* Этот признак классификации для глиссеров является условным, поскольку форма корпуса определяет гидродинамические качества и мореходность.

безреданные остроскулае суда с плосковидеатой или нейй формой (плоской, вогнуто-видеатой, S-образной и др.) шпангоуты;

безреданные с тоннельным образованием декеда: однотоунельные (морские санно); двухтоунельные или трехкильные; реданные (классической тип глассера); реданные глассеры трехточечного типа; мореходные глассеры с комбинированной формой корпуса; глассеры с формой корпуса сглубоное V;

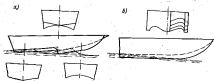


Рис. 1.8. Новые типы обводок глассерующих корпусов: а — стриклива; б — осани Фокса.

глассеры с различными новыми формами корпуса, типа екафара (сочетание формы сглубоное V с несомкнваемым на ходу спонсоном), стриклива (реданный катер, у которого носовая часть выведена по типу «морских саней»), осани Фокса (тоннельно-льжый вариант лнца корпуса) и другие (рис. 1.8).

Кроме того, можно выделить группы судов: по типу двигателя, материалу корпуса и другим признакам.

Ниже приводятся основные сведения и краткое описание по некоторым типам глассерующих судов различных классификационных групп.

Служебно-разведываемые, прогулочные и туристские катера. Это наиболее многочисленная группа быстрходных глассерующих судов, широко используемых на реках, водохранилищах, озерах и в прибрежных районах морей. Наиболее характерные размеры судов: длина 5—7 м, водоизмещением 900—1500 кг. Однако в состав этой группы входят и более крупные суда длиной 9—12 м и водоизмещением до 6 т, вполне пригодные для плавания в море. Отдельные представители данной группы судов являются комфортабельными морскими катерами-яхтами больших размеров водоизмещением 25—30 т.

По архитектурному типу малые прогулочные катера чаще бывают безреданными, с носовой пазубой и открытым кокпитом, с подвесными или стационарными моторами, размещенными в кормовой части. Служебно-разведываемые и туристские катера имеют, как правило, носовую килоту и открытый кормовой кокпит; который в непогоду может быть закрыт окладным телом. В качестве основного материала корпуса на современных катерах этого типа используются легкие алюминиевые сплавы, позволяющие выполнение электросварных соединений. Применяются также алюминизованная фанера, стеклопластик.

По форме корпуса суда этой группы, особенно туристские, в основном относятся к типу безреданных килеватых судов. Однако корпусам современных прогулочных мотородок и катеров с целью повышения гидродинамического качества и мореходности все чаще стали придавать более разнообразие, в том числе и очень сложные формы, что стало возможным благодаря широкому внедрению в малые судостроение нового материала — стеклопластика, из которого трудно выковать корпус практически с любыми обводками.

Спортивно-гоночные суда. В зависимости от формы корпуса, водонемцаеца и установленного двигателя различают четыре основных типа спортивно-гоночных судов: скутеры, мотородки, глассеры и катера. По спортивной классификации этим типам судов присвоены буквенные обозначения: мотородкам и катерам — S, скутерам — O и глассерам — R.

Скутеры — одноместные гоночные суда с одним подвесным мотором. Как правило, корпус скутеров выполняется по типу трехточечных глассеров с передним расположением спонсонов, хотя по форме подводной части, а также по размерам корпуса и массе скутеры по существующей классификации ограниченной не имеют. Основным ограничением является общий рабочий объем цилиндров, и по этому признаку скутеры делят на девять классов: OJ, OA, OB, ..., ON, OZ. Наименьший рабочий объем цилиндров — до 175 см³ (OJ); наибольший — 2000 см³ и выше (OZ). В СССР наиболее распространение получили скутеры классов OA и OB (рабочий объем цилиндров от 175 до 350 см³), развивающие скорость до 62 уз.

Схема теоретического чертежа отечественного скутера «Беркут-М», показавшего высокие ходовые качества, приведена на рис. 1.9.

Мотородки — небольшие безреданные суда открытого типа с одним серийным подвесным мотором. Они имеют ограничения по размерам корпуса и кокпита и по рабочему объему цилиндров двигателя. По этим признакам различают десять классов спортивных моторных лодок. Так, мотородки по второму классу — классу SA — имеют ограничение по объему цилиндров от 175

до 250 см³ с минимальными размерами корпуса $L \times B = 3,5 \times 1,3$ м, а по последнему — десятому классу (S2) — предусматриваются минимальные размеры корпуса $L \times B = 5,0 \times 1,5$ м и двигатель с рабочим объемом 2000 см³ и выше (без ограничений).

Катера — небольшие суда со стационарными двигателями,

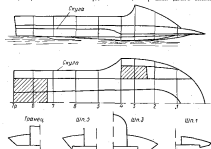


Рис. 1.9. Теоретический чертеж катера «Борей-М».

без ограничений по двигателям, форме подводной части корпуса, количеству и размещению двигателей. Так же, как и для моторной лодки, основными ограничениями для спортивных катеров является рабочий объем цилиндров и размеры корпуса. По этому ограничению различают семь классов катеров: S_1, S_2, \dots, S_7 . Для класса S_1 рабочий объем цилиндров до 1000 см³ при минимальных размерах корпуса $4,25 \times 1,4$ м. Для класса S_7 соответственно до 7000 см³ и выше (без ограничений) при $L \times B = 6,25 \times 1,7$ м.

Глиссеры — суда со стационарными двигателями, без ограничений по форме и размерам корпуса и двигателями. Определяющим признаком, определяющим спортивный класс глиссера, является рабочий объем двигателя. По этому признаку различают семь классов глиссеров: $R_1, R_2, R_3, \dots, R_7, R_8$ с диапазоном рабочего объема цилиндров двигателя от 100 см³ (R_1) до 5—7 тыс. см³ и выше без ограничений (R_8, R_9).

Наибольший интерес представляют глиссеры неограниченного класса и среди них уникальные суда, специально создаваемые для

установления рекорда абсолютной скорости на воде. Это чрезвычайно мощные (до 7500 кВт) и относительно легкие ($D \leq 3$ т) глиссеры, способные скользить по водной глади с громадными скоростями (до 270 уз).

Борьба за призы, награды и национальный престиж побуждает спортсменов-гонщиков, конструкторов, судостроителей и авиационные фирмы создавать все новые и новые образцы корпусов и моторов, что, безусловно, содействует прогрессу водно-моторного спорта, общему развитию теории и практики создания не только спортивных, но и скоростных судов вообще.

Пассажирские глиссеры. До конца 50-х годов, т. е. до появления, а затем и широкого распространения СПК и СВП, глиссеры являлись единственным типом судов, которые могли быть использованы для создания быстрого пассажирского флота. Как пассажирские суда глиссеры получили распространение в предвоенные годы. Они продолжали строиться в послевоенное время, строится и сейчас, так как в условиях, например, мелководных рек глиссеры с водометным двигателем по проходимости превосходят СПК, а иногда могут конкурировать с СВП.

Пассажирские суда — глиссеры условно можно разделить на следующие три группы:

1. Легкие глиссеры открытого типа с откидным тентом или катоме, типа «лимузин». Они используются для почтовой-пассажирских перевозок на мелководных реках и потому, как правило, оборудуются воздушным винтом или водометом. Водоизмещение этих глиссеров обычно не превышает 3 т. Пассажироёмкость — до 12 человек. Мощность мотора — до 185 кВт, скорость — до 32 уз.

Легкие глиссеры повышенной мореходности с водным гребным винтом могут использоваться и в условиях больших рек, озер, водохранилищ и в прибрежной зоне морей как катера-такси.

2. Быстроходные катера-автомобили — пассажирские суда глиссирующего типа, используемые на различных водных трассах. Водоизмещение их достигает 25 т, пассажироёмкость — до 100 человек и скорость 22 уз и выше.

3. Морские катера-глиссеры — наиболее крупные, мощные и мореходные суда глиссирующего типа. Их масса достигает 60—70 т и более, а мощность — до 2200 кВт.

Уникальным представителем этой группы судов является глиссер «Экспресс» (рис. 1.10), который до войны эксплуатировался у нас на линии Сочи—Сухуми. Это теплоход с двумя узкими редатными корпусами, соединенными мостовой надстройкой, в которой размещались салон, пассажирские купе, буфет, радиорубка и складные баки с топливом. В осаленных корпусах расположены мажорные отделения (в носовой части) и пассажирские

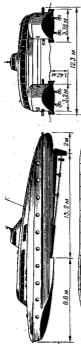
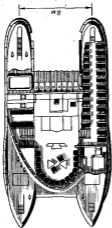


Рис. 1.10. Морской высокоскоростной пассажирский гидроfoil «Экспресс».



кресла (по 48 в каждом корпусе). Всего пассажирских мест — 130, экипаж — 12 человек.

Масса катера — 42 т. Энергетическая установка состояла из четырех основных двигателей отечественной марки ГМ-34 мощностью 550 кВт и двух вспомогательных автомобильных конвертированных двигателей марки ГАЗ-М1, которые использовались для обеспечения заднего хода, маневров в порту и в качестве стартера.

На спидальных скоростных испытаниях «Экспресс» с полным грузом показал скорость 46 уз, а порожнем, при повышенных оборотах двигателя — 53 уз.

За первую и единственную навигацию 1940 г. «Экспресс» перевез 18 500 пассажиров, пройдя 12 000 морских миль.

В последнее время крупные мореходные глиссирующие катера нередко проектируются и строятся как суда многоцелевого назначения, которые при незначительном переоборудовании могут быть использованы или для пассажирских перевозок на определенных линиях, или для морских прогулок и экскурсий, или для служебных специальных поездок, или, наконец, для любых других целей, когда эти мореходные высокоскоростные суда с жесткими кюитами и салонами могут быть эффективно использованы.

Примером такого многоцелевого судна является пассажирский морской катер «Альбатрос», построенный в 1965 г. Его масса с 40 пассажирами составляет 68 т, скорость максимальная — 39 уз при мощности главных двигателей $N_g = 4 \times 882$ кВт. Он может идти полным крейсерским ходом $V = 32$ уз при волнении до 3 баллов. Длина катера наибольшая — 26,2 м, ширина, — 6,1 м, осадка — 1,3 м.

Глава 2

ГИДРОДИНАМИКА И МОРЕХОДНОСТЬ ГЛИССИРУЮЩИХ СУДОВ

Финансовые издержки, сопровождающие скользкие движения корпуса судна по поверхности воды, представляют сложную картину изменения скоростей и давлений в обтекаемом потоке, с резким градиентом давления и образованием брызговых струй, волн и т. п. Поэтому и разработка точной, вполне конкретизирующей теории, объясняющей законы глиссирования, является сложной задачей. Наиболее трудная часть этой задачи состоит в определе-

ния движения массы возмущенной воды вокруг глиссирующего корпуса, ее скорости и направления.

Вопросы теории глиссирования занимались многие выдающиеся ученые. Среди них прежде всего следует назвать советских ученых С. А. Чаплыгина, Г. Е. Павленко, Н. А. Соколова, Л. И. Седова, Н. С. Володина, К. П. Харитонова, которые в 30-е годы первыми разработали современные основы теории глиссирования и методы расчета сопротивления глиссеров. Значительные работы в области экспериментально-теоретических исследований выполнены также зарубежными учеными Эггертсом, Вагнером, Пабстом, Перришом, Мурем, Корвин-Круковский и др.

Ниже приводятся элементарные сведения по основам теории глиссирования, знание которых необходимо при проектировании судов глиссирующего типа.

Распределение скоростей и давлений в потоке над глиссирующей поверхностью

§ 2.1

Рассмотрим неподвижно закрепленную широкую пластину, на которую вод некоторым углом атаки α со скоростью V набегают поток идеальной жидкости (рис. 2-1). Пластина изменяет направление и скорость потока, разделяя его на две части: основную и верхнюю, которая у пластины заметно подтормаживается и затем движется по ней в виде тонкой струи, направленной в противоположную сторону. При самом простом эксперименте можно наблюдать подобную картину с той лишь разницей, что в реальных условиях отбрасываемый пластиной верхний тонкий слой воды под действием силы тяжести быстро превращается в брызговую волну.

Отметим наличие двух частей обтекающего пластину потока, легко прийти к выводу о существовании разделительного слоя над разделительной линией тока, которая, очевидно, должна подходить к пластине под прямым углом, образуя критическую точку O (по ширине пластины — это линия), в которой скорость потока относительно пластины равна нулю.

Нулевое значение скорости потока в точке O означает, что весь скоростной напор потока превращается в критическое нормальное давление, т. е. максимальное по своей величине и равное $\rho V^2/2$. Влево и вправо по пластине от точки O , в связи с увеличением скорости обтекания, давление будет уменьшаться.

Рассматриваемое обтекание неподвижной пластины может служить примером стационарного движения потока, в котором скорость в любой точке не зависит от времени. Следовательно, здесь применимо уравнение Бернулли, связывающее давление в потоке

с его скоростью. Согласно этому уравнению на поверхностных линиях обтекающего потока скорость каждой частицы воды повсюду равна скорости V набегающего потока, поскольку окружающее атмосферное давление постоянно. Это означает, что скорости брызговой струи и обтекаемая у задней кромки пластины равны скорости набегающего потока. При этом обтекание задней

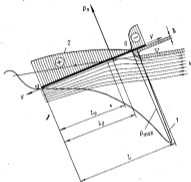


Рис. 2-1. Схема обтекания пластины набегающим потоком.

1, 2 — линии давлений и скоростей.

кромки при развитом глиссировании происходит с главным следом струй, т. е. с удельноэнергетическим постулатом Чаплыгина—Жуковского.

Общую картину распределения скорости и давления по длине пластины, расположенной под некоторым углом α к набегающему за нее потоку, можно представить так, как это изображено на рис. 2-1.

Схема распределения давлений и скоростей в поперечном направлении глиссирующей пластины показана на рис. 2-2. В связи с тем, что под пластиной давление больше, чем на поверхности воды, в районе боковых кромок возникает поперечное пере-

течении воды, в результате этого давление под пластиной у боковых кромок падает. Наличие бокового перетекания снижает эффективность глиссирования плоской пластины и относительно тем больше, чем меньше ее ширина.



Рис. 2.2. Распределение давлений по длине глиссирующей пластины.

Гидродинамическая подъемная сила и сопротивление

§ 2.2

Определение величины гидродинамической подъемной силы и сопротивления воды при глиссировании возможно различными теоретическими методами. Например, гидродинамическая подъемная сила может быть определена путем интегрирования кривой распределения нормальных давлений по длине пластины, но для этого нужно иметь аналитическое выражение этой кривой.

Проще решить поставленную задачу путем определения энергетических затрат на движение пластины. Рассмотрим случай движения пластины по поверхности жидкости, находящейся в состоянии покоя, принимая тот же характер обтекания пластины, что показан на рис. 2.1. Заменив суммарное нормальное давление потока на пластину равнодействующей P_n , приложенной в точке C (рис. 2.3), можно легко установить, что нормальные силы обуславливают величину сопротивления воды движению пластины (P_x), равную $P_n \sin \alpha$. При отсутствии сил трения в идеальной жидкости эта величина будет выражать полное сопротивление.

Следовательно, секундная энергия, необходимая для движения пластины с заданной скоростью V (бухсировочная мощность), может быть определена по выражению

$$A = P_x V = P_n \sin \alpha V. \quad (2.1)$$

Пренебрегая весомостью жидкости γ , значит, волнообразование, можно считать, что вся энергия, необходимая для движения пластины, расходуется на образование брызговой струи, отбрасываемой по направлению движения пластины.

Скорость отбрасываемой воды относительно неподвижного наблюдателя определяется как сумма векторов скорости глиссирующей пластины и скорости движения струи относительно пластины, т. е. будет равна $V_s = 2V \cos \alpha/2$. При этом масса воды, отброшенная вперед, составит величину, равную $\rho \delta V$ (при единичной ширине струи), где ρ — плотность воды, кг/м^3 ; δ — толщина брызговой струи, м.

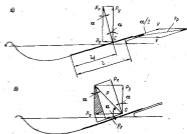


Рис. 2.3. К определению подъемной силы и сопротивления при глиссировании пластины: а — для идеальной жидкости; б — в реальной жидкости.

Следовательно, кинетическая энергия брызговой струи

$$A_{02} = 1/2 \rho \delta V_s^2 = 1/2 \rho \delta V (2V \cos \alpha/2)^2 = 2 \rho \delta V^2 \cos^2 \alpha/2. \quad (2.2)$$

Приравняв энергии по выражениям (2.1) и (2.2), получим

$$P_n V \sin \alpha = 2 \rho \delta V^2 \cos^2 \alpha/2.$$

Отсюда

$$P_n = \rho \delta V^2 \frac{2 \cos^2 \alpha/2}{\sin \alpha} = \rho \delta V^2 \frac{2 \cos^2 \alpha/2}{2 \cos \alpha/2 \sin \alpha/2}.$$

Сокращательно находим

$$P_n = \rho \delta V^2 \operatorname{ctg} \alpha/2. \quad (2.3)$$

Тогда подъемная сила и сопротивление определяется по формулам

$$\left. \begin{aligned} P_y &= P_0 \cos \alpha = \rho V^2 \text{ctg} \alpha / 2 \cos \alpha; \\ P_x &= P_0 \sin \alpha = \rho V^2 \text{ctg} \alpha / 2 \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Таким образом, в условиях идеальной жидкости при заданных V и α подъемная сила и сопротивление легко могут быть определены, если известна толщина брызговой струи. При малых углах атаки ее можно вычислить по формуле

$$\delta = \frac{\pi}{4} l \alpha^2, \quad (2.5)$$

где l — длина смоченной поверхности.

В реальных условиях, в связи с тем что вода обладает вязкостью, на глянсирующую пластину кроме нормального давления действуют силы трения. В результате действия вязкостных сил общее сопротивление воды движению пластины возрастет, а подъемная сила уменьшится (рис. 2.3).

Из рассмотрения геометрической схемы действия сил на пластину, скользющую по поверхности реальной жидкости, можно написать следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} P_x \cos \alpha &= P_f + P_0 \sin \alpha; \\ P_y &= P_f \frac{1}{\cos \alpha} + P_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Так как при малых углах атаки косинус близок к единице, можем написать

$$P_x = P_f + P_0 \sin \alpha, \quad (2.7)$$

где P_x — полное сопротивление; P_f — сопротивление трения; $P_0 \sin \alpha$ — динамическое сопротивление (сопротивление давления).

Таким образом, полное сопротивление глянсирующей поверхности состоит из двух составляющих — сопротивления трения и гидродинамического сопротивления.

Применительно к судну для режима чистого глянсирования, когда сила массы судна практически полностью уравновешивается гидродинамической силой ($P_y = Dg$), выражение (2.5) можно написать в виде

$$R = R_f + Dg \text{tg} \alpha, \quad (2.8)$$

или

$$R = R_f + R_{\text{дин}}. \quad (2.9)$$

Динамическое сопротивление обусловлено наличием нормальных гидродинамических сил и является следствием затраты их энергии на брызго- и волнообразование.

Соотношение между R_f и $R_{\text{дин}}$ при заданной скорости будет определяться углом атаки α (рис. 2.4). Главную часть сопротивления при малых углах атаки составляет сопротивление трения, а при больших, наоборот, — сопротивление динамическое, так как с увеличением угла атаки смоченная поверхность увеличивается, следовательно, увеличивается и сопротивление трения.

Из выражения динамического сопротивления $R_{\text{дин}} = Dg \text{tg} \alpha$ видно, что оно зависит только от массы судна и угла атаки и не зависит от скорости. Однако следует иметь в виду, что величина угла атаки α для данного судна зависит от скорости, следовательно, можно говорить, что с увеличением скорости динамическое сопротивление падает. Это имеет место при переходе судна «горба» сопротивления (см. рис. 1.7), когда судно выходит из режима чистого глянсирования. В дальнейшем с увеличением скорости угол атаки и динамическое сопротивление могут оставаться постоянными.

При постоянном значении динамического сопротивления (при $\alpha = \text{const}$) с увеличением скорости сопротивление волнообразования падает, стремясь к нулю, а сопротивление брызгообразования растет.

Безразмерные

гидродинамические характеристики

§ 2.3

При обработке результатов испытаний в опытовых бассейнах плоских и профилированных глянсирующих поверхностей, при различных анализах и разработке методов гидродинамического расчета и проектирования форм корпуса глянсирующих судов пользуются следующими безразмерными характеристиками.

Гидродинамическое качество

$$K = \frac{P_y}{P_x} = \frac{Dg}{R}, \quad (2.10)$$

где P_y — подъемная сила, Н; D — масса пластины (судна); g — ускорение силы тяжести, м/с²; $P_x = R$ — полное сопротивление, Н.

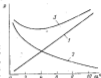


Рис. 2.4. Зависимость динамического (1), полного сопротивления (2) и сопротивления трения (3) глянсирующей пластины в зависимости от угла атаки.

Коэффициент динамической нагрузки

$$C_D = \frac{Dg}{1,25V^2 \rho g} \quad (2.11)$$

где B — ширина глиссирующей пластины.
Относительное удлинение пластины

$$\lambda = \frac{l}{B} = \frac{l'}{S} \quad (2.12)$$

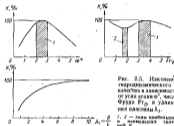


Рис. 2.5. Изменения гидродинамического качества в зависимости от угла атаки α , числа Фруда Fr_D и удлинения пластины λ .
1, 2 — две наибольшие и наименьшие значения K .

где l — свободная длина пластины, м; S — свободная поверхность пластины, м².

Часто пользуются и обратной величиной

$$\lambda_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{S}{l} \quad (2.13)$$

Коэффициент момента гидродинамических сил

$$m_D = \frac{M_{зад}}{F_{зад}} = \frac{F_{зад} D}{g D^3} = \frac{F_{зад}}{g D} \quad (2.14)$$

где $M_{зад}$ — момент гидродинамической подъемной силы относительно задней кромки пластины, Нм; $F_{зад} = 0,785 l$ — отстояние точки приложения равнодействующей гидродинамических сил от задней кромки пластины, м.

Относительная центровка глиссирующей пластины (судна)

$$m_A = \frac{z}{S} \quad (2.15)$$

где z — отстояние ЦТ массы пластины от ее задней кромки, м.

В первом приближении для судна можно считать $m_D = m_A$. Все гидродинамические характеристики взаимосвязаны и изменяются в зависимости от числа Фруда, угла атаки и геометрических особенностей глиссирующей поверхности (поперечная и продольная профилировка).

Гидродинамическое качество K является основным показателем, характеризующим эффективность глиссирования движущейся поверхности судна, и при проектировании всегда стремятся получить его максимальное значение.

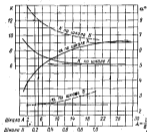


Рис. 2.6. Диаграмма зависимости величины K от угла атаки α и удлинения пластины λ .

Принципиальный характер изменения величины K , как функции от α , Fr_D и $\lambda_1 = B/l$, показан на рис. 2.5.

Экспериментальным путем установлено, что наибольшее значение K для плоской пластины равно 13,2 при $\alpha = 2^\circ 20'$, $\lambda_1 > 10$ и $Fr_D \approx 3$.

На рис. 2.6 приведены кривые количественной зависимости K и α от λ . Кривая $K = f(\lambda)$ фиксирует максимальные значения гидродинамического качества, а кривая $\alpha = f(\lambda)$ — оптимальные углы атаки, при этом или вном относительном удлинении пластины.

Как можно судить по этому графику, гидродинамическое качество тем выше, чем меньше относительное удлинение пластины. Значит, более выгодны широкие и короткие глиссирующие свободные поверхности, а не узкие и длинные. Однако это справедливо лишь при определенных значениях удлинения пластины C_D , относительной центровки m_A и числа Фруда Fr_D . Изменение C_D и m_A существенно связывается на величине K . При малых

значениях C_D увеличение m_2 особенно влияет на понижение гидродинамического качества K . При возрастании C_D от 0,05 и выше гидродинамическое качество падает при любых значениях m_2 и возрастает с уменьшением m_2 . Увеличение скорости снижает K , и, чтобы сохранить его оптимальное значение, необходимо уменьшить ширину гласирующей поверхности и при этом сместить ЦТ к кормовому обрезу пластины. Если же x_d остается неизменным или тем более увеличится, то уменьшение ширины приведет к увеличению m_2 , пластинка дифференцируется на нос, относительное удлинение увеличится, величина K снизится.

Взаимосвязь момента гидродинамических сил, удлинения смещенной пластины и скорости скольжения для плоских гласирующих пластин может быть учтена по графикам, составленным А. С. Перельмутром и Л. И. Седовым в результате обработки экспериментальных материалов Зотторфа и др. (рис. 2.7).

Графики, представленные на рис. 2.7, могут быть использованы для гидродинамического расчета проектируемого гласирующего судна (см. рис. 2.4).

Гласирующее судно с плоским дном обладает низкой мореходностью. Для смягчения удара корпуса при встрече с волной прибегают к поперечной профилировке дна, придавая ему килеватость. Гидродинамическое качество при этом с увеличением килеватости падает. На рис. 2.8, а, б показаны зона изменения гидродинамического качества плоскоклеванных пластин с удельной нагрузкой $C_D = 0,07-0,15$ при различных углах атаки ($\alpha = 4 \times 10^\circ$) и кривые оптимальных углов атаки в зависимости от угла килеватости β . График составлен по данным опытов Зотторфа. По нему можно сделать следующие выводы:

оптимальные углы атаки для килеватых пластин заметно больше, чем для плоских;

при килеватости до 10° гидродинамическое качество снижается незначительно (до 6%, не более), но существенно зависит от угла атаки;

дальнейшее повышение килеватости приводит к заметному снижению качества, а выбор оптимального угла атаки не имеет существенного значения (при 40° практически гидродинамическое качество $K = 4$) и остается без изменения при $\alpha = 4^\circ$ и при $\alpha = 10^\circ$.

Падение качества килеватых пластин особенно проявляется при малых удельных нагрузках C_D , а при больших оно незначительно. Так, при $C_D = 0,03$ в диапазоне изменения β от нуля до 25° гидродинамическое качество K снижается почти на 40% (от 10 до 6,1), а при $C_D = 0,15$ снижение K составляет не более 15%.

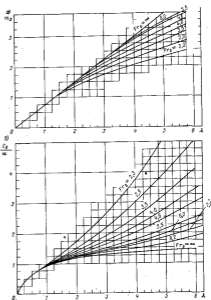


Рис. 2.7. Графики полиномиальная гидродинамическая характеристика плоских гласирующих пластин: а — $m_2 = f(x_d, V_r)$; б — $C_D = f(\alpha, V_r)$.

$O - M_{\text{зам}} = P_{\text{зам}} l_{\text{зам}}$. По нашей схеме ок, очевидно, определяется из выражения $M_{\text{зам}} = g D x_{\text{с}} - T l_{\text{с}}$. Но здесь неизвестна тяга T . В первом приближении можно задать гидродинамическим качеством и принять $T = \frac{C_D}{\lambda}$ или же совсем пренебречь моментом тяги плота и принять

$$M_{\text{зам}} \approx g D x_{\text{с}} \quad (2.17)$$

Тогда коэффициент момента гидродинамических сил определяется по выражению $m_0 = x_{\text{с}}^2 / B$.

Пользуясь значением m_0 , по графику рис. 2.7, а для всех принятых чисел Фруда находят относительное удлинение λ , а используя его, по графику рис. 2.7, б определяют параметр C_D/α . Вычисляя коэффициент загрузки по формуле $C_D = \frac{g D}{V^2 \lambda^2 \alpha}$ и

сравнивая $\alpha = \frac{C_D}{C_D^{\text{теор}}}$. Найденные значения λ и α не учитывают килеватости, и их необходимо откорректировать. Для этого можно воспользоваться формулами И. П. Любомирова

$$\lambda_{\text{к}} = \lambda^{0,8} \frac{1}{\cos \beta} \left\{ 1 - 0,29 (\sin \beta)^{0,29} \right\} \times \left[1 + 1,35 (\sin \beta)^{0,41} \frac{m_0}{V F_{\text{к}}} \right]; \quad (2.18)$$

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha + \frac{0,15 (\sin \beta)^{0,8} (1 - 0,17 \sqrt{\lambda_{\text{к}} \cos \beta})}{F_{\text{к}}^2 \lambda^2} \frac{1 - 0,17 \sqrt{\lambda_{\text{к}} \cos \beta}}{V \lambda_{\text{к}} \cos \beta}, \quad (2.19)$$

где $\lambda_{\text{к}}$, $\alpha_{\text{к}}$ — соответственно относительное удлинение и угол атаки для килеватого днища.

Затем определяется динамическое сопротивление $R_{\text{зам}} = g D \lg \alpha_{\text{к}}$, смоченная длина $l = \lambda_{\text{к}} B$ и смоченная поверхность $S = \lambda_{\text{к}} B^2$.

Расчет сопротивления трения при известной площади смоченной поверхности ведется обычным способом. Здесь определяется малое сопротивление $R = R_{\text{тр}} + R_{\text{зам}}$. И, наконец, можно вычислить осадку на транце по формуле

$$l = \frac{\alpha_{\text{к}} B}{\lambda_{\text{к}} \sqrt{1 + \lambda_{\text{к}}}} \quad (2.20)$$

Более сложным является гидродинамический расчет реланных глиссирующих катеров. Материала по этому вопросу можно найти в книге А. И. Марьянова «Глиссеры», М., Речиздат, 1940. Общие вопросы гидродинамики и практические методы расчета многокорпусных глиссирующих судов, трехточечных и двух-

корпусных глиссеров с аэродинамической разгрузкой и корпусов с большой килеватостью и продольными релансами рассмотрены в [23, 45, 57].

Мореходность глиссирующих судов

§ 2.5

Под мореходностью судов в широком смысле этого слова понимается совокупность названных качеств, обеспечивающих безопасность и удобство использования судна в конкретных условиях эксплуатации (плавучесть, остойчивость, управляемость, ходкость, незадавленность на волне и др.).

В более узком, непосредственном значении под мореходностью понимают поведение судна при движении на волнообразной воде. Судно считается мореходным, если оно имеет плавную качку, не зарывается в воду при взбросе и волной и мягко и соударяется, устойчиво на курсе, остойчиво на попутной волне.

Глиссеры, как суда с жестким режимом движения, при котором необходимо сохранение постоянного соотношения основных параметров глиссирования, являются маломореходными судами, и основной проблемой современного развития этого типа судна является создание мореходных глиссеров при сохранении высокого гидродинамического качества.

Основным критерием мореходности глиссеров является устойчивость их движения при волнении и величина вертикальных перегрузок от соударения корпуса с волной.

Неустойчивость движения проявляется в различных формах нежелательного поведения глиссеров на воде и возникает по разным причинам даже в условиях самого незначительного волнения.

На устойчивость движения влияет целый ряд факторов: центровка (положение ЦТ по длине и высоте), форма корпуса и соответствие главных размеров, дифференциальный момент от упора двигателя и его реактивный крутящий момент, форма и расположение руля, воздействие аэродинамических сил и др.

Различают устойчивость движения на курсе и устойчивость глиссирования.

Нарушение устойчивости движения глиссера на курсе проявляется в двух видах.

Рыскливость — явление ухода судна вправо или влево от заданного курса при неизменном положении руля в диаметральной плоскости, что вызывает постоянную потребность в перекладке руля и снижает скорость судна.

Взрывные развороты на ходу — полный разворот на 180° с весьма малым радиусом циркуляции при незначительной перекладке руля. К такому чрезвычайно опасному маневру иногда бывают склонны глиссеры с воздушным винтом.

Эта величина во многом зависит от взаимного расположения центра тяжести и центра общего сопротивления глиссера. Если центр общего сопротивления расположен впереди центра тяжести, то нарушение устойчивости движения на курсе вполне возможно. Здесь уместна аналогия с вылетом стрелы: стрела летит устойчиво, если ее ЦТ расположен близко к носу и, наоборот, она кувыркается, если ЦТ смещен к хвостовому оперению. Неблагоприятная комбинация взаимного расположения ЦТ и центра общего сопротивления вполне может возникнуть на реальном глиссере, особенно когда носовая редан несет большую часть нагрузки, а скорость судна велика. В этом случае отрицательную роль смещения центра общего сопротивления вперед по судну играет аэродинамическая составляющая, которая на высоких скоростях становится существенной величиной, а центр ее приложения расположен примерно в конце первой трети длины судна.

Нарушение устойчивости глиссирования, или, как сейчас чаще называют, динамической продольной устойчивости движения проявляется в форме рикошетирования и дельфинирования.

Рикошетирование — особый режим движения, при котором подпрыгивание судна осуществляется несимметричными силами, идентичными силами при косом ударе тел о воду. В этом режиме движения днище глиссера только периодически касается воды, практически не изменяя каленого дифферента. Рикошетирование возникает у судов с малой удельной нагрузкой ($C_{\Sigma} < 0,02$), движущихся с высокой скоростью по волнообразной поверхности. Это происходит в связи с тем, что при встрече днища с волной площадь глиссирующей площадки внезапно возрастает, вызывая резкое увеличение подъемной силы, в катер подпрыгивает, отрывается от воды. Частота отрывов и соударения днища с волной увеличивается со скоростью движения. Вертикальные ударные перегрузки при этом получаются значительными, и удары днища о воду похожи на удары о твердую поверхность. Сила удара днища о воду зависит от килеватости судна (чем больше килеватость, тем слабее сила удара), скорости соударения (пропорционально квадрату этой скорости) и высоты волны.

Рикошетирование вызывает очень неприятное ощущение (иногда невыносимое) у людей, находящихся на судне, вызывает конструктивно и снижает скорость судна до 50% и более.

Рикошетирование на относительно больших волнах и большой скорости обуславливает значительные перемены катера с волны на волну, во время которых возможно появление крена как дифферента судна, в результате чего при последующей встрече с волной судно может опрокинуться через скулу (поперечное опрокидывание).

Дельфинирование — неустойчивое движение глиссера с плавным периодическим раскачиванием вокруг поперечной оси, иногда со все увеличивающимся размахом. В последнем случае процесс неустойчивого движения может закончиться катастрофическим вылетом судна вперед по баллистической траектории, в конце которой глиссер нырнет носом в воду (бровок «барсом»).

Этому сложному явлению в общем виде может быть дано следующее объяснение. Система сил и моментов, действующая на глиссер при наличии ряда взаимосвязанных параметров, сама по себе является неустойчивой: незначительное изменение одного из параметров (например, угла атаки α) сразу же нарушает соотношение сил и моментов в динамических уравнениях движения и может вызвать нарастающие продольно-килеватые колебания, т. е. дельфинирование.

Теоретические и экспериментально-опытные работы позволили установить, что дельфинирование может возникнуть в следующих случаях:

- слишком смещение ЦТ в нос;
- слишком низкое расположение ЦТ;
- малый продольный момент инерции глиссирующей поверхности;
- аэродинамический момент, дифференцирующий судно на нос.

Дельфинирование возникает при относительно умеренных скоростях судна (при $F_{\Sigma} < 6$), а во время как рикошетирование возникает при более высоких числах Фруда. Важно отметить, что наибольшее число аварий и катастроф, например с трехкопечными глиссерами, происходит по причине потери динамической устойчивости, т. е. из-за возникновения явления дельфинирования.

Начиная с 60-х годов среди гоночных судов появилось много катамаранов* катеров и глиссеров, у которых заметную роль играет аэродинамическая нагрузка. Для этих судов характерна иная форма потери продольной устойчивости: судно дифференцируется на корму и под воздействием резкого возрастания аэродинамической силы опрокидывается через транец. Такие случаи бывают и с трехкопечными глиссерами.

Мореходность глиссирующих судов определяется также и динамической поперечной устойчивостью. Поперечное опрокидывание глиссеров на крутой циркуляции или при рикошетировании от соударения с волной бортом — нередкое явление. До 10% общего числа аварий спортивно-гоночных судов относится к случаю потери поперечной устойчивости. Некоторые глиссирующие суда от недостатка динамической поперечной устойчивости на ходу раскачиваются с борта на борт, что вызывает снижение скорости глиссирования и беспомощность людей на судне. Поперечная устойчивость движения зависит от ширины глиссирующей по-

терхности, формы поперечной профилировки днаца и положения ЦТ по высоте.

На рис. 2.10, а показаны схемы распределения динамического давления по ширине судна для различных форм поперечного

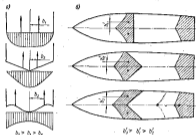


Рис. 2.10. Внешние формы поперечного сечения корпуса и формы внутреннего редана в хвосте на фоне поперечной динамической остойчивости.

сечения днаца. Очевидно, что равнодействующая симметричных положений этих аэродинамических сил будут определять динамический восстанавливающий момент ($M_{\text{дин}} = P_{\text{дин}} \delta$). Из рисунка видно, что

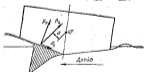


Рис. 2.11. Действие гидродинамических сил на галсерирующий корпус при циркуляции.

галсерирующая поверхность выпукло-вогнутаго формы (из трех сравниваемых форм корпуса) обладает наибольшей динамической остойчивостью. На рис. 2.10, б показано влияние формы редана на величину плеча динамической поперечной остойчивости, которая имеет значение при редане с обратной кивновидностью.

Поперечная остойчивость на циркуляции у галсера практически полностью определяется действием гидродинамических сил, возникающих в результате его бокового подкальзывания (дрейфа) во внешнюю сторону циркуляции (рис. 2.11). Если при этом результирующая гидродинамических сил (нормальное давление и трение) R , пройдет выше ЦТ, то галсер кренится внутрь циркуляции и наоборот. Крен во внутреннюю сторону циркуляции характеризует хорошую динамическую поперечную остойчивость, а крен во внешнюю сторону — плохую, так как в последнем случае возрастает сила сопротивления дрейфа, которая вместе с инерционной силой создает шару сил, опрокидывающую судно во внешнюю сторону. Форма корпуса и положение ЦТ по высоте являются определяющими факторами динамической поперечной остойчивости галсера на циркуляции. Маневрирование на галсере осуществляется легко и безопасно в том случае, если форма днаца в кормовой половине длины судна допускает свободное боковое подкальзывание во внешнюю сторону циркуляции, а ЦТ расположен достаточно низко.

Вопросы поперечной остойчивости галсерирующих судов разработаны и подробно изложены в монографии [31].

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Глава 3

Общие положения

§ 3.1

Проект судна представляет собой совокупность теоретических расчетов, чертежей и различных текстовых технических документов, по которым можно построить это судно с наперед заданными качествами.

Проектирование должно проходить при соблюдении основных требований, изложенных в техническом задании на проектирование, которое проектировщик (проектная организация) получает от заказчика. В техническом задании должны быть оговорены наименование и район плавания судна, условия плавания по погоде, скорости или мощность, или тип двигателя, число экипажа и пассажиров, масса груза. Дальность плавания или запас топлива, материал корпуса, серийность постройки и, может быть, специальные требования.

Методика проектирования, т. е. способ и последовательность определения основных параметров проектируемого судна, зависит

от наличия официальной информации по особенностям разработки проекта данного типа судна, наличия прототипов, возможностей проектирования и организации и проведения экспериментов, а также от подготовленности и субъективных взглядов конструктора.

В настоящее время по проектированию глиссирующих судов нет какого-то единого академического метода, который бы позволял относительно легко и просто разработать проект судна, наилучшим образом отвечающего поставленным требованиям.

Общаясь мировой практикой постройки и эксплуатации глиссирующих судов, а также результатов теоретических и экспериментальных исследований в этой области, позволило выработать определенные рекомендации по проектированию быстродвижных катеров. Эти рекомендации в виде отдельных положений, эмпирических зависимостей и графиков и лежат в основе современных практических методов проектирования, являющихся по существу своему методом последовательного приближения.

Важным и ответственным моментом проектирования является предварительная или начальная стадия разработки проекта, когда решаются принципиальные вопросы выбора основных элементов будущего судна. Смена последовательности определения главных параметров должна быть проекта такой, чтобы при наименьшем числе приближений можно было получить наиболее удачное решение, наилучшим образом удовлетворяющее требованиям заказчика.

При проектировании туристских, пассажирских и других типов судов, для которых выбор главных параметров в первую очередь определяется условиями размещения пассажиров, груза, специальных устройств и оборудования, особенно когда задан двигатель, целесообразна нежесткая схема последовательности разработки проекта в начальной стадии.

1. Выбирается архитектурно-конструктивный тип судна, составляется эскиз общего расположения и определяются минимальные размеры (L, B, H) из условий размещения. При этом учитываются существующие рекомендации по выбору соотношений главных размерений $L/B, L/H, B/H$.

2. По среднестатистическим значениям в зависимости от типа судна и материала корпуса или по прототипу находится размерный модуль по кубическому модулю и определяется масса корпуса $M_p = \rho_0 L B H$.

3. Составляется полная нагрузка судна, определяется водоизмещение (D) и рассчитывается положение ЦТ по длине.

4. По найденному значению D и заданной мощности N , используя графики (например, $D/N = f(V)$) и приближенные формулы, определяются достижимая скорость.

5. По значению достижимой скорости V с учетом требований по мореходности, а также в зависимости от материала кор-

пус выбирается наиболее целесообразная форма обводов корпуса.

6. Составляется эскиз теоретического чертежа и производится расчет элементов планучести и продольной осойности для горизонтальных и наклонных ватерлиний.

В результате этого расчета определяется положение статической ватерлинии (ВЛ на плаву) для водоизмещения и центровки, заданных в п. 3.

Если результат неудовлетворителен (значительный дифферент, выходящее из нормы отношение B/T и др.), то необходимо пересмотреть весовую нагрузку и изменить центровку или обводы теоретического чертежа или же, наоборот, пересмотреть (изменить) главные размерения (L и B).

7. При согласовании пунктов 3 и 6 уточняются основные параметры судна, после чего необходимо произвести для различных скоростей судна гидродинамический расчет, расчет двигателя и установить таким образом ходовые характеристики судна, определить гидродинамическое качество.

Если вся работа, продолженная в пунктах 1—7, даст, по мнению конструктора, хорошие результаты (выдержаны все основные требования технического задания), предпоследний этап проработки проекта можно считать законченным.

Следующий этап (финансовый проект) должен проходить примерно по той же схеме, но с более тщательной разработкой чертежей общего расположения с предварительной проработкой конструктивного чертежа корпуса и машинного отделения, что позволит уточнить нагрузку и центровку судна. Отработку формы обводов корпуса на этой стадии проектирования желательно провести в нескольких вариантах с применением модельных испытаний. Кроме того, разрабатывается принципиальная схема технологии постройки и производится предварительный технико-экономический расчет (определяется строительная стоимость и эксплуатационные расходы). После согласования эскизного проекта с заказчиком приступают к завершающей стадии проектирования — разработке технического проекта в рабочих чертежах.

Рассмотренная схема последовательности проектирования в принципе может быть применена к любому типу глиссирующего судна, однако возможны и другие схемы. Например:

1. По известной полезной нагрузке (экипаж, пассажиры, груз, топливо, смазка, инструмент) через коэффициент утяжеления водоизмещения χ_0 определяется полная масса судна $D = D_0/\chi_0$, где D_0 — масса полезного груза (делает). Коэффициент χ_0 может быть найден по прототипу или же ориентировочно принят равным 0,5 (при скорости судна не более 50 уз).

2. По коэффициенту загрузки C_{Σ} , равному значению, при котором судно начинает всплывать и переходить в режим

гласирования (например, двухрядный глассер испытает при нагрузке на носовой радиус $C_D < 0,12$), определяют необходимую ширину корпуса в зависимости от заданной скорости.

3. По рекомендуемому значению L/B с учетом скорости судна определяют длину $L = (L/B) B$.

4. По полученным значениям L и B составляется предварительный эскиз общего расположения глассера и ориентировочно определяется его центровка.

5. Производится гидродинамический расчет и определяется необходимая мощность двигателя для обеспечения требуемой (заданной) скорости судна.

6. Подбирается двигатель, уточняется схема общего расположения, масса, центровка и главные размерения.

7. Разрабатывается эскиз теоретического чертёжа (в нескольких вариантах), проводятся модельные испытания, результаты которых позволяют уточнить основные параметры проектируемого судна на предварительной стадии проектирования. Если же модельные испытания провести невозможно, то ограничиваются повторным гидродинамическим расчетом.

Эти две и любые другие схемы последовательности проектирования могут дать удачные результаты, если конструктор правильно воспользуется статистическим материалом, рекомендациями и аналитическими зависимостями. Как видно из обеих схем, исключают и важную роль в определении основных параметров глассирующего судна играет величина водоизмещения и центровка. Поэтому очень важно на первоначальной стадии проектирования как можно точнее определить весовую нагрузку и положение центра тяжести.

Одна из особенностей проектирования глассирующих судов состоит в том, что соблюдение дисциплины весового режима, как это имеет место в авиации, при разработке всех разделов проекта должно быть жестким законом. Очень важно правильно выбрать принципиальную форму корпуса и провести ее детальную разработку, поскольку форма корпуса оказывает решающее влияние на ходкость, устойчивость движения и мореходные качества. Следует иметь в виду, что не только принципиальные нарушения, но и, казалось бы, незначительные изменения формы корпуса могут заметно повлиять на гидродинамическое качество, устойчивость и мореходность. При проектировании глассеров с высокими скоростями ($V > 50$ уз) конструктор должен быть особенно внимателен к разработке формы корпуса.

Сложность и особенность проектирования глассирующих судов (как, впрочем, и проектирование других типов судов или любых инженерных сооружений) состоит в том, что часто приходится принимать компромиссные решения, поскольку мероприятия, улучшающие одни качества, одновременно ухудшают другие.

Эта особенность, пожалуй, наиболее резко проявляется при выборе и проектировании формы корпуса быстроходного катера: улучшая мореходность, конструктор придет к форме обводов с низким гидродинамическим качеством и наоборот. Задача конструктора здесь состоит в том, чтобы найти такое промежуточное решение, которое бы наиболее близко подходило к условиям задания.

Определение нагрузки судна

§ 3.2

Полная масса глассирующего судна в начальной стадии проектирования представляется, как и для водоизмещающих судов, в виде суммы укрупненных масс

$$D = P_{\text{к}} + P_{\text{об}} + P_{\text{м}} + P_{\text{а}} + P_{\text{т}} + P_{\text{св}} + P_{\text{мт}} \quad (3.1)$$

где $P_{\text{к}}$ — масса корпуса с оборудованием, устройствами и системами; $P_{\text{об}}$ — масса энергетической установки (двигатель и монтажное оборудование); $P_{\text{м}}$ — масса топлива; $P_{\text{а}}$, $P_{\text{т}}$ — масса пассажиров и груза соответственно; $P_{\text{св}}$ — масса экипажа и снабжения; $P_{\text{мт}}$ — запас водоконденсата.

Из перечисленных составляющих нагрузок известными являются $P_{\text{к}}$ и $P_{\text{т}}$, поскольку в техническом задании величина груза должна быть задана, а масса пассажиров определяется из общеизвестного условия $P_{\text{а}} \sim 100\Pi$, где 100 — расчетная масса одного пассажира, кг; Π — число пассажиров.

Масса топлива может быть предварительно определена в зависимости от дальности безаварийного пробега (дальность плавания без пополнения запасов топлива) и удельного расхода топлива по выражению

$$P_{\text{т}} = \frac{L_{\text{пр}}}{V} N g, \quad (3.2)$$

где $L_{\text{пр}}$ — длина пробега, м, миль; N — эксплуатационная мощность, кВт; V — эксплуатационная скорость, уз; g — удельный расход топлива, кг/кВт·ч.

Масса энергетической установки $P_{\text{об}}$ представляется в виде

$$P_{\text{об}} = P_{\text{дв}} + P_{\text{м.об}} \quad (3.3)$$

где $P_{\text{дв}}$ — масса двигателя, кг; $P_{\text{м.об}}$ — масса монтажного оборудования, кг.

Если двигатель указан в задании, то его масса берется по технической характеристике, а масса монтажного оборудования (редуктор, движитель, аккумуляторы, выхлопные трубы и т. п.) может быть взята по прототипу. Масса монтажного оборудования зависит от мощности двигателя, частоты вращения, схемы расположения двигателя (в корме, посредине) и схемы передачи (с редуктором или без редуктора). Этим изображением и следует

руководствоваться в выборе прототипа для определения массы монтажного оборудования.

Предварительная оценка массы корпуса P_k может быть произведена по измерителю массы, связанной с кубическому модулю $P_k = P_0/LBH$. Статистические данные по возросшим габаритующим судам показывают, что релаксация факторами, влияющими на величину этого измерителя, являются материал корпуса, тип его формы, наличие надстройки в район эксклузтапи.

В начальной стадии проектирования можно ориентироваться на следующие показатели измерителей масс по кубическому модулю P_0/LBH , кг/м³:

Морское катера и яхты с корпусом из стали	100—140
Реданное гоночное катера с деревянным и алюминиевым корпусами	35—45
Трехместные галсесеры с деревянным и алюминиевым корпусами	20—30
Катера с корпусом «глубоко V» (деревянные и алюминиевые)	9—12
Береговые катера и яхты с внутренним плаванием: спортивное (деревянные и алюминиевые)	20—30
регулярные, служебно-рыболовные с деревянным или пластмассовым корпусами	25—45
сверьезе сапел, трамараны, кабараны из стеклопластика	35—45
Катера сурьезеке яхты:	
редане (класс «R»)	35—50
сверьезе (класс «S»)	45—60

Центровка

§ 3.3

Положение центра тяжести судна, как уже отмечалось выше, оказывает большое влияние на гидродинамические качества и устойчивость движения габаритующих судна.

Излишне носовое расположение ЦТ затрудняет выход на режим габаритования, обуславливает малый (меньше оптимального значения) угол атаки, когда смещенная поверхность увеличивается, сопротивление трения возрастает, гидродинамическое качество падает. При этом возникает опасность возникновения дельфинирования.

При излишнем носовом расположении ЦТ угол атаки резко возрастает, в связи с чем габаритование становится неустойчивым, что также ведет к падению гидродинамического качества. На реданных катерах, например, такая центровка способствует возникновению рикошетирования носового редана.

Для реданных катеров ЦТ должен располагаться позади носового редана. Наиболее оптимальной величиной отстояния ЦТ от редана можно считать $x_c = (0,20 + 0,25) l_p$, где l_p — отстояние носового редана от транца.

При центровке трехместных галсесеров и катмаранов, т. е. судов с аэродинамической разгрузкой, ЦТ следует располагать с учетом расположения центра аэродинамических сил. ЦТ должен находиться вперед центра приложения аэродинамических сил, чтобы иметь определенный запас продольной устойчивости и таким образом исключить возможность опрокидывания судна через транец.

Для безреданных катеров и моторлодок в первоначальной стадии проектирования можно принимать $x_c = (0,36 + 0,41) L$, где x_c — отстояние ЦТ судна от транца; L — длина судна по катеранию на плаву.

Необходимо отметить, что положение ЦТ по высоте также может оказать влияние на ходовой дифферент судна и, следовательно, на его гидродинамические качества. Если продолжение линии действия упора винта (направление оси гребного вала) будет проходить выше ЦТ, то момент силы упора относительно ЦТ будет создавать дифферент на нос и паборот.

Центровка судна уточняется в результате аэродинамического расчета, и в начальной стадии проектирования необходимо предусматривать возможность передвижения грузов по длине (и высоте) судна.

Выбор главных размеров и их соотношений

§ 3.4

Размеры проектируемого судна должны обеспечить прежде всего выделение необходимых площадей и объемов для размещения людей, груза, топлива, энергетической установки, оборудования и различных запасов. При этом они должны быть предельно минимальными, поскольку масса и строительная стоимость судна находятся в прямой зависимости от его размеров.

Главные размеры также должны находиться в определенных соотношениях, близких к оптимальным, при которых можно гарантировать высокие маневренные и эксплуатационные свойства судна.

За основной размер конструкторы чаще всего принимают длину проектируемого судна, которую определяют из условий общего расположения или назначают исходя из каких-то других соображений (требования заказчика, ограничение по габаритности, ориентировка на прототип и др.). Иногда же за исходный основной размер принимают ширину, которая определяется из условий получения определенного коэффициента загрузки C_D .

Располагая основным размером (L или B), через отклонения главных размерей L/B , B/T , L/H можно легко получить все другие размеры.

Отношение L/B , ширина B . На рис. 3.1 показана зависимость L/B от L для различных групп построенных глиссеровых судов. На рисунке можно видеть определенную закономерность возрастания значения L/B с увеличением длины судна. Для

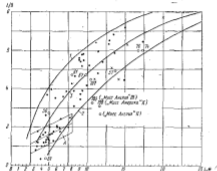


Рис. 3.1. Изменение отношения L/B от длины судна.

1, 2 — крайние значения колеблемости и пределы значений L/B ; 3 — средняя величина значений; 4 — типичные реданные глиссеры (закрыты, откидывае у воды); 5 — безреданная конструкция корпуса.

среднестатистических значений эта закономерность может быть выражена эмпирической формулой

$$L/B = 1,45\sqrt{L} - 0,002L^2. \quad (3.4)$$

Для группы небольших, в основном безреданных, мотолодок и катеров современной постройки (зона А) зависимость L/B от L более точно выражается другой формулой

$$L/B = (0,1L + 2,3) \pm 0,25. \quad (3.5)$$

Ориентируясь на среднестатистические показатели L/B , не следует считать их заключенными. В конкретных условиях проектирования необходимо учитывать скорость, мореходность, форму корпуса, центровку. Если, например, для безреданного маломо-

редного катера длиной 5 м при скорости 10 м/с отношение L/B можно принять равное около 2,5, то при такой же длине, но скорости катера 14 м/с и повышенных требованиях к мореходности отношение L/B следует увеличить до 3. При одинаковой длине двух катеров с разными формами корпуса, одной и той же скоростью отношения L/B могут или должны быть разными. Так, реданные катера должны в принципе иметь большее отношение L/B , чем безреданные, в связи с тем, что мореходность реданных катеров хуже.

Для реданных катеров в зависимости от скорости по [53] рекомендуется принимать следующие отношения:

До 11 м/с	.....	$L/B \leq 3$
От 11 до 16 м/с	.....	$L/B = 3+4$
От 17 до 28 м/с	.....	$L/B \geq 4$

Эти рекомендации соответствуют отношениям L/B для построенных глиссеров, за исключением рекордных гоночных судов типа «Мисс Англия» и «Мисс Америка», которые проектировались специально для установления рекордов на тихой воде.

При выборе отношения L/B по существу решается вопрос о выборе ширины проектируемого корпуса — размера, оказывающего исключительно важное влияние на качество глиссирующего судна.

Теоретически чем больше ширина B , тем выше гидродинамическое качество K . Однако это справедливо лишь при условии правильной центровки на спокойной, гладкой воде и при определенном значении величины коэффициента динамической нагрузки C_D . Чрезмерное увеличение ширины приводит к сжатию C_D и, как следствие этого, к возникновению продольно-вертикальной формы неустойчивого движения и яде раскачиванию. Сопроtaвление воды движению глиссера при этом возрастает и качество падает. Кроме того, в реальных условиях практически трудно бывает обеспечить крайнюю кормовую центровку (что необходимо для равновесия момента гидродинамической силы и момента массы судна), в результате чего судно дифферентуется на нос, угол атаки становится меньше оптимального, гидродинамическое качество падает.

При умеренной ширине глиссирующей площадки легче осуществить необходимую центровку и обеспечить устойчивое движение судна и в крайнем итоге получить гидродинамическое качество выше, чем при большой ширине корпуса.

Чрезмерное уменьшение ширины может отрицательно повлиять на начальную остойчивость и динамическую поперечную остойчивость, а также затруднить выход судна на режим глиссирования (образуется длинный «горб» сопоталенка). Однако при этом улучшается продольная остойчивость и повышается мореходность

в части снижения динамических перегрузок от соударения корпуса с волной.

С учетом всех многообразных и противоречивых обстоятельств, определяющих выбор ширины B при проектировании однокорпусного глассера, конструктор нередко вынужден принимать ширину, которая по своему значению для расчетной скорости и заданной центровки превышает наилучшую. При проекти-

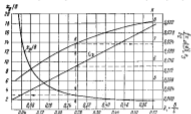


Рис. 3.2. Зависимость относительного гидродинамического качества, центровки и относительного удлинения килеватки при килеватности $\beta = 5^\circ$ и коэффициентом загрузки C_D .

ровании двухкорпусных глассеров рассматриваемая задача упрощается (нет ограничения минимальной ширины по условию обеспечения начальной поперечной устойчивости), и конструктор располагает большими возможностями выбрать такую ширину, которая будет соответствовать наилучшему качеству при заданной скорости.

Наилучшую ширину проектируемого судна можно выбрать по графику рис. 3.2 [45].

Пусть дано: $D = 1000$ кг; отстояние ЦТ от транца $x_k = 3$ м; угол килеватности $\beta = 5^\circ$; расчетная скорость $V = 12,5$ м/с.

Вычисляем коэффициент загрузки (по координате ЦТ)

$$C_D = \frac{Dg}{1,29 \rho^2 x_k^2} = \frac{1000 \cdot 9,81}{1,29 \cdot 0,81 \cdot 126^2} = 0,014.$$

Это значение C_D соответствует относительному удлинению $\lambda_1 = 0,272$. По кривой x_k/B в зависимости от λ_1 находим $x_k/B = 3$. Тогда искоемое значение наилучшей ширины будет $B =$

$= \frac{x_k}{3} = \frac{3}{3} = 1$ м, при которой обеспечивается гидродинамическое качество $K = 6,9$.

Допустим, что ширина $B = 1$ м удовлетворяет условиям размещения двигателя, люда, груза и т. п. В этом случае ее необходимо сравнить с допустимой минимальной шириной из условия поперечной устойчивости ($B \geq B_{min}$).

Минимальное значение ширины из условия устойчивости предварительно может быть определено по формуле, полученной аппроксимацией графика [45].

$$B_{min} = \left[\frac{47D}{10^6} + 0,465 \right] - 0,01\beta^2, \quad (3.6)$$

где D — полная масса катера, кг; β° — угол внешней килеватности.

Для нашего случая

$$B_{min} = \left[\frac{47 \cdot 1000}{10^6} + 0,465 \right] - 0,01 \cdot 5 = \\ = 0,47 + 0,465 - 0,01 \cdot 5 = 0,885 \text{ м.}$$

Таким образом, принятая ширина $B = 1 > B_{min}$, т. е. она удовлетворяет условию устойчивости.

Если ширина $B \sim 1$ м не удовлетворяет по практически соображенным удобствам размещения, ее можно довести до необходимой величины, а затем сделать проверку на устойчивость глассирования, произвести гидродинамический расчет и определить гидродинамическое качество.

Проверку на устойчивость режима глассирования можно провести по формуле (аппроксимация графика Штольца; [45])

$$x_k/B = 0,017P + 0,85, \quad (3.7)$$

где $P = \frac{0,628D}{8\rho V^2}$ — коэффициент Штольца.

Если фактическая относительная центровка (заданы x_k и B) больше x_k/B , полученной по формуле (3.7), судно будет устойчивым на глассировании и наоборот.

Используя коэффициент Штольца в вариантных расчетах, можно убедиться (и это подтверждается практикой), что устойчивый режим глассирования всегда обеспечивается при $x_k/B \geq 1,25$. Этот критерий обычно и используется при выборе ширины и центровки проектируемого судна.

Можно рекомендовать следующий порядок выбора оптимальной ширины проектируемого катера.

После предварительного определения главных размерений, водонемца и центровки необходимо выполнить следующее:

ного судна. Руководствоваться следует данными по лучшим построенным глиссерам, наиболее близким к проектируемому. Для построенных судов величина B/T колеблется от 4 до 10. Больше значения этого отношения свойственны речным глиссирующим судам, а меньшие — соорным и морским. Однако встречается и много отступлений от этого правила, и нередко речные суда имеют меньшие значения, чем морские. Для ориентировки приводим средние значения B/T для различных типов построенных судов.

Триамраны, морские сваевые речные и соорные	9,5—10,5
Речные и озерные бороздчатые катера и гоночные различного назначения	7,5—8,5
Гоночные речные катера	6—7
Спортивно-прогулочные мореходные катера	5—5,5
Пассажирские мореходные катера	4,5—5,0

Главные размерения и водонесущие судна на плаву связаны уравнением плавучести, из которого при заданных L , B и δ можно определить осадку T , задавшись коэффициентом общей полноты δ или же, наоборот, задавшись отношением B/T , по нему определить осадку $T = B/(B/T)$ и затем из уравнения плавучести выходя δ .

Коэффициент общей полноты для глиссирующих судов в принципе не является характерным параметром и не имеет такого важного значения, как для водоизмещающих судов, и поэтому не рассматривается в теоретических исследованиях.

Рассматривая статистические данные, можно убедиться, что значение δ колеблется в широких пределах — от 0,300 до 0,600. Для пассажирских мореходных катеров среднее значение δ находится в пределах 0,360—0,370; для спортивно-прогулочных мореходных — 0,420—0,430; для гоночных речных — 0,470—0,480.

Между величинами δ и B/T для построенных глиссирующих судов различного типа наблюдается вполне определенная зависимость, которая может быть выражена формулами

$$\delta = 0,28 \sqrt{B/T} - 0,234; \quad (3.8)$$

$$B/T = 12,6(\delta + 0,234)^2. \quad (3.9)$$

Отношение L/H , высота борта H . Отношение длины судна к высоте борта характеризует общую прочность корпуса. По сравнению с обычными водоизмещающими круглыми судами глиссирующие катера имеют малое отношение L/H , изменяющееся в пределах от 5,5 до 11. Для выбора отношения можно руководствоваться следующей зависимостью, отражающей данные по эксплуатируемым судам:

$$L/H = 2,3L + a, \quad (3.10)$$

где L — длина судна, м; a — величина, изменение которой характеризует практические пределы колебания L/H при данной длине в зависимости от типа судна.

Таблица 4	
Речные и озерные катера и моторки различного назначения длиной 3—8 м	3—6
Озерные бесколесные морские катера и гоночные глиссеры длиной 7—12 м	2—3,5
Морские пассажирские суда с надстройками длиной 11—17 м	1—0,5

Приведенные значения величины a показывают, что для существующих судов, особенно для речных и соорных, отношение L/H при постоянной длине колеблется в широком диапазоне, что одновременно и облегчает, и осложняет задачу конструктора по выбору высоты борта.

Ориентируясь на статистические показатели, необходимо учитывать следующие особенности.

Уменьшение высоты борта (увеличение L/H) снижает запас плавучести, понижает безразличность людей при ветреной погоде, уменьшает вместимость и ухудшает условия обеспечения общей прочности корпуса. Однако при этом снижается центр тяжести, уменьшается масса корпуса и его шарнирность, что положительным образом сказывается на остойчивости, маневренности и скорости.

Увеличение высоты борта (уменьшение L/H), наоборот, повышает запас плавучести, вместимость корпуса и общую прочность, но утяжеляет корпус, повышает парусность надводной части и ухудшает таким образом маневренность и ходкость.

В каждом конкретном случае проектирования выбор высоты борта должен определяться главными требованиями в зависимости от типа и назначения судна. Для туристского мореходного катера, например, предпочтительнее будет принять повышенную величину борта (высость, безопасность плавания), а для речного спортивно-гоночного глиссера целесообразнее принять минимальное значение, поскольку уменьшение массы корпуса и воздушного сопротивления здесь может иметь существенное значение для достижения максимальной скорости.

На выбор высоты борта проектируемого судна могут оказывать влияние и архитектурно-эстетические соображения.

Приближенное определение достижимой скорости глиссирующих судов и потребности мощности двигателя

§ 3.5

В задании на проектирование указывается или мощность двигателя (двигатель задан), или скорость судна. В первом случае, разработывая проект, необходимо добиться максимальной

скорости судна, а во втором — минимальной мощности, при которой будет обеспечена требуемая скорость.

В любом случае в начальной стадии проектирования, когда известны лишь ориентировочные значения главных размеров и водоизмещения, очень важно оценить наиболее вероятные пределы достижимой скорости или погонной мощности.

Для этих целей могут быть использованы различные графики, построенные по статистическим данным, или приближенные эмпирические и полуматематические формулы.

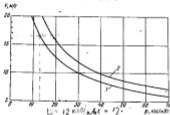


Рис. 3.4. Зависимость скорости от удельной нагрузки.

1 — средняя величина $V = f(p)$; 2 — лучшее положение.

На рис. 3.4 график зависимости скорости глиссирующих судов от удельной нагрузки $p = D/N$ кг/кВт показывает, что глиссеры весьма чувствительны к удельной нагрузке. Прямой установлено, что при $p \geq 40$ кг/кВт добиться режима глиссирования весьма трудно. Пределной удельной нагрузкой можно считать $p = 34$ кг/кВт, а для получения высоких скоростей (17 м/с и более) эта величина не должна превосходить 14—16 кг/кВт. Для рекордных гоночных глиссеров удельная нагрузка составляет меньше 1 кг/кВт.

По графику $V = f(p)$ очень легко и быстро можно оценить максимальную достижимую скорость, если известны D и N , или определить минимальную необходимую мощность, располагая заданной скоростью и водоизмещением.

Кривая 2 на рис. 3.4, соответствующая наилучшим результатам лучших глиссирующих судов, может быть использована при определении достижимой скорости для реальных катеров.

Предварительная оценка достижимой скорости (или погонной мощности) может быть также произведена по методу использо-

вая суммарного пропульсивного качества $K\eta$, основанного на теоретической зависимости N от V и статистических данных по зависимости

$$K\eta = f(Fr_0) \quad (3.11)$$

Если соотношения представить в виде $R = gD/K$ (где D — масса, кг; g — ускорение силы тяжести, м/с²; K — гидродинамиче-

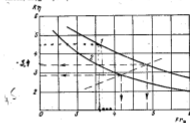


Рис. 3.5. Зависимость суммарного пропульсивного качества от числа Фруда.

1, 2 — для реальных и бортовых катеров соответственно.

ское качество голого корпуса), известное соотношение $N = RV/\eta$, выраженной мощность в киловаттах, можно записать так:

$$N = \frac{gDV}{10^3 K\eta} \quad (3.12)$$

$$K\eta = \frac{gDV}{10^3 N} \quad (3.13)$$

Произведение качества корпуса K на пропульсивный коэффициент η , учитывающий КПД двигателя, а также винные корпуса и выступающих частей, является достаточно характерной и устойчивой величиной, находящейся в определенной зависимости от числа Фруда. Зависимость $K\eta = f(Fr_0)$ представлена на рис. 3.5. Располагая этим графиком, поставленную задачу определения скорости проектируемого судна можно решить следующим образом. Приняв несколько значений скорости (не менее трех), охватывающих диапазон их возможных пределов, по формуле (3.13)

вычислить величину пропульсивного качества и числа Фруда соответственно для каждой принятой скорости; на графике рис 3.5 извлечь расчетную кривую $K_{\eta} = f(Fr_D)$. Точка пересечения статической и расчетной кривых $K_{\eta} = f(Fr_D)$ и будет соответствовать значению искомой скорости проектируемого катера.

Ориентировочная оценка скорости глиссирующих судов может быть также произведена по приближенным формулам.

При использовании протопина, огибающегося от проектируемого судна лишь мощностью мотора, достижимую скорость можно оценить с помощью формул пересчета [68]:

при $Fr_D = 2,5+3$

$$V_2 = V_1(N_2/N_1)^{1/2}, \quad (3.14)$$

при $Fr_D > 4$

$$V_2 = V_1(N_2/N_1)^{2/3}. \quad (3.15)$$

Здесь V_1 , N_1 , V_2 , N_2 — соответственно скорости и мощности протопина и проектируемого судна. Для режима при $Fr_D = 2,5+3$ формула пересчета (3.14) справедлива лишь при относительно небольшой разнице мощностей до 15–20%. При режиме чистого глиссирования ($Fr_D > 4$) формула (3.15) применима и при большой разнице мощностей.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМЫ КОРПУСА ГЛИССИРУЮЩИХ СУДОВ

Глава 4

Удачный выбор наиболее целесообразного типа корпусов определяет успех в разработке качественного проекта в целом. Однако успех во многом будет зависеть и от того, насколько правильно будут выбраны элементы обводов для принятого корпуса.

Ниже приводятся некоторые общие положения и частные рекомендации по проектированию элементов формы различных типов корпусов глиссирующих судов.

Безраздельные острокорпусные корпуса

§ 4.1

Шагнгоуты днища в средней части. Поперечная профилировка днища современных глиссирующих острокорпусных судов выполняется по типу килеватых или вогнуто-килеватых обводов. Разли-

чают следующие типы обводов (рис. 4.1 и 4.2): плоскокилеватые с углом внешней килеватости на миделе $\beta \leq 8^\circ$, умеренно-килеватые ($\beta = 9-14^\circ$), с большой килеватостью ($\beta = 15-19^\circ$), «глубокие V » ($\beta = 20-26^\circ$), вогнуто-килеватые, вогнуто-килеватые с отгибом скулы («крыло чайки»); тоннельные, выпукло-килеватые, выпукло-вогнутые (S-образные).

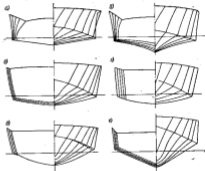


Рис. 4.1. Типы обводов глиссирующих катеров: а — плоскокилеватые; б — вогнуто-килеватые; в — с выпукло-килеватым днищем; г — разноразмерные (гироплощные) обводы; д — серповидные с большой килеватостью; е — «глубокие V ».

Обеспечение высокого гидродинамического качества и необходимой мореходности, а также технологические особенности используемого материала для обшивки корпуса определяют выбор того или иного типа обводов в конкретных условиях проектирования.

Наиболее простыми в изготовлении являются плоскокилеватые и выпукло-килеватые формы днища. Вогнуто-килеватые формы, особенно с крупным отгибом скулы, а также тоннельная и S-образная являются технологически сложными формами.

Гидродинамическое качество корпуса понижается с увеличением килеватости, поэтому целесообразно проектировать днище

возможно более плоским, насколько это допустимо по соображениям мореходности. Для речных судов килеватость донца в средней части можно принимать в пределах 6—10°, а для озерных — 12—15°. На спортивных судах, участвующих в больших океанских гонках, килеватость доходит до 20°, а иногда и больше, используя форму «глубокие V».

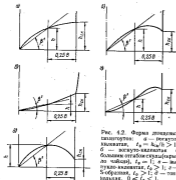


Рис. 4.2. Форма донца килеватости: а — вогнуто-килеватая, $t_0 = h_0/b > 1$; б — выпукло-килеватая с большим отгибом скулы (карго-лоузер), $t_0 = 1$; в — вогнуто-килеватая, $t_0 > 1$; г — S-образная, $t_0 > 1$; β' — тангенциальная, $0 \leq \beta' < 1$.

В целях повышения гидродинамического качества и сохранения мореходности килеватость V-образным шпангоутам придать более сложную профилировку, делая их вогнутыми, S-образными, с отгибом скулы, тоннельными и т. д.

Вогнуто-килеватые шпангоуты в таком виде, как они показаны на рис. 4.1, б, появились в конце 20-х годов и применяются еще и в настоящее время. Гидродинамическое качество судов с такими обводами по сравнению с гидродинамическим качеством для судов с плоскокилеватыми обводами увеличивается вследствие центрального эффекта от поперечного перекачки воды по вогнутой кривой, но мореходность ухудшается в связи с тем, что при подходе к бортам ветан шпангоутов становится почти горизонтальными и на волнении корпус испытывает сильные удары. Поэтому лучше будет форма килеватого шпангоута с отгибом скулы. В этом слу-

чае гидродинамическое качество также повышается, уменьшается брызгообразование и ход катера на волне становится более мягким. Полезным оказывается скругление донца в районе килля. Хорошие показатели по гидродинамическому качеству и мореходности могут дать обводы типа показанных на рис. 4.1, в. Высокие результаты по ходовым качествам показала модель корпуса с универсальными обводами (рис. 4.1, г). Известный бразильский конструктор по проектированию быстрходных катеров Х. Баалер дает также высокую оценку мореходного корпуса, изображенного на рис. 4.1, д.

Повышение гидродинамического качества судов с большой килеватостью при сохранении мореходных качеств может быть достигнуто в результате постановки продольных ребранов, о чем сказано ниже.

Вышеприведенная терминология обводов является условной и неспределенной, поскольку она не характеризует форму килемом и шпирой. Трудно определить, например, где кончается абсолютный отгиб у скулы и начинается абсолютное образование, или установить разницу между S-образными обводами и килеватым шпангоутом с отгибом скулы и скругленным донцем. Очевидно, наряду с термином, обозначающим тип обвода, нужно давать какую-то численную характеристику. Такими характеристиками можно принять отношение $t_0 = h_0/b$ и угол килеватости β' обвода в точке, расположенной на 0,25B от скулы (рис. 4.2).

Действительно, термин типа обвода с дополнением значений t_0 и β' достаточно конкретно определит форму шпангоута. Критерии по t_0 и β' могут быть положены в основу ГОСТа на единую терминологию в малоотоннажных судостроении, необходимость в котором давно назрела.

Трудность выбора поперечной профилировки для проектируемого судна состоит в том, что в общедоступной литературе практически нет систематизированных данных по гидродинамическим характеристикам различных по форме гласноружащих поверхностей, применяемых в современном кораблестроении. Большую помощь конструктору в этом вопросе могут оказать материалы приложения книги А. И. Мартынова [53], где приведены сравнительные характеристики 26 профилей гласноружащих пластин.

Корытовые шпангоуты донца. Если принять во внимание историю донца по донце гласноружащей пластины (см. рис. 2.1), можно легко прийти к выводу, что корытовая часть в создании подъемной силы играет второстепенную роль. Тем не менее форма корытовых шпангоутов и транца оказывает существенное влияние на ходовые качества судна в целом.

Придание некоторой килеватости или округлости (плоско-килеватая или выпукло-килеватая форма) корытовым шпангоутам и транцу обеспечит устойчивость на курсе и подкальзывание

корпус при повороте судна, которое способствует уменьшению радиуса циркуляции. Килеватость транца при этом не должна резко отличаться от килеватости мидельового шпангоута, так как это приведет к закручиванию обтекающего диска потока и, как следствие, к снижению гидродинамического качества. Сохранение постоянной килеватости на всех шпангоутах кормовой части днища судна (обоюды типа «снегоголова»), как показывает опыт эксплуатации, улучшает гидродинамические и мореходные качества судна. Поэтому можно рекомендовать именно этот тип



Рис. 4.3. Корпус монодвухпалубной с двойной скулой.

шпангоутов днища в средней части, отличающийся от последних заметной большей килеватостью. Пособые обоюды днища в первую очередь влияют на мореходность судна. Очевидно, чем острее пособые днищевые шпангоуты, тем больше соударение корпуса с волной. Однако острые пособые шпангоуты с экзостатическим развалом у скулы и при полной килеве могут обусловить замедление бортов в носовой части, «вразнашивание» носа в волну и неустойчивость движения судна на курсе, особенно на попутном волнении, когда корма поднимается и забрасывается вправо или влево. Из опыта эксплуатации известно, что остроскуловые катера с относительно пологими образцовыми носом и узкой кормой оказываются более мореходными, чем катера круглоскульные.

Установлено, что для достижения наилучших мореходных качеств пособые шпангоуты следует проектировать по типу ледяных S-образных (см. рис. 4.1, е), обеспечивающих наиболее соударение днища с волной.

Шпангоуты борта. Форма бортовых шпангоутов играет немаловажную роль в обеспечении ходовых качеств судна. В носовой части они должны иметь достаточный развал, увеличивающий ее плавучесть, что препятствует заливанию и забрызгиванию палубы. Лучше всего при этом придать им согнутую форму. В средней части бортовые шпангоуты выполняются, как правило, прямыми, отвесными. Некоторый развал бортов здесь может быть полезен с точки зрения выслезности кокпита и для сохранения цилиндричности бортовой поверхности при условии соблюдения этого развала бортов и на транце. Завал бортов в кормовой части (рис. 4.1, д)

нецелесообразен по технологическим соображениям, а также и потому, что способствует сглаживанию бортов бортовой струей, вызывающей на под днища в районе начала его смоченной поверхности. Развал бортов в корме, хотя бы на незначительной высоте от скулы, будет «придавливать» попутный бортовой поток и тем самым уменьшать и волновое сопротивление, и сопротивление трения.

Линия киле, форштевень, скула, борт. При разработке теоретического чертежа конструктор в первую очередь должен принять и нанести на проекции борта и полуторпика килевую линию с форштевнем, скулу и оверштаге борта. От выбора этих линий, которые вместе с поперечным сечением по миделю определяют основное очертание формы корпуса, зависит конечный успех в разработке обводов проектируемого судна.

На проекции борта килевая линия в кормовой половине длины судна выполняется обычно в виде прямой, которая затем плавно переходит в линию форштевня. У мореходных судов форштевень делается более крутым для обеспечения необходимой килеватости носовых шпангоутов, а у речных — пологим, иногда настолько, что форштевень и килевая линия вместе представляют плавную ледяную кривую с небольшим взрывоопасным участком киле в корме (рис. 4.4). Иногда делают некоторый плавный отгиб килевой линии у транца, что бывает полезно с точки зрения уменьшения носового дифферента на корму, особенно при заметной «вразнаживании» кормовой центровке судна. Отгиб днища у транца дополнительно обтекающий поток, что увеличивает подъемную силу и улучшает условия работы гребного винта. При удачном выборе отгиба можно добиться заметного увеличения скорости судна (по литературным данным — до 15%). Из-за отсутствия достоверных данных форма и размеры отгиба выбираются конструктором интуитивно или на основании модельных испытаний.

Скуловая линия на проекции борта проводится в виде плавной кривой, которая в кормовой части (примерно на $\frac{1}{3}$ L от транца) должна быть почти параллельна килевой линии. Килеватость транца в этом случае не будет заметно отличаться от килеватости на миделе, что позволит избежать нежелательного закручивания обтекающего диска потока.

Перегибание скуловой линии со статической палердиной на плыву должно находиться примерно на $0,75-0,8L$ от транца. Соединение этой точки ближе к форштевню затруднит плавный подъем скулы и прихватит ее к форштевню на необходимой высоте над ватерлинией. Поэтому пособые обоюды будут излишне пологими или «крутыми», что приведет к образованию подпорной носовой волны и заливанию бортов и палубы на малых и средних злидах. Точка прихватывания скулы у форштевня должна быть расположена тем выше, чем больше требований предъявляется к мореходности.

Иногда ее поднимают до самой палубы. В этом случае круто опускающаяся скула определяет резкое изменение жесткости носовых обводов на относительно короткой длине (резкий клиновид «вверх» диндальных шпангоутов). Поэтому при высоко обдающей скуле целесообразно точку пересечения скулы с ватерлинией несколько сме-

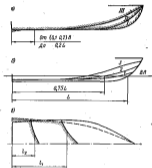


Рис. 4.4. Форма скуловой линии, форштевень и киль: а — киль форштевень и кормовой линии; б — скуловая линия на проекции борта; в — скуловая линия в плане.

щать в корму, а скуле придавать выпукло-вогнутое очертание (рис. 4.4).

В плане (проекция полушироты) скуловая линия должна иметь выпукло-вогнутое очертание умеренной остроты в носовой половине, небольшую цилиндрическую часть в середине длины и плавное сужение к транцу для обеспечения срыва попутного потока. Ширина скулы на транце обычно составляет 0,8—0,9 от ее максимальной ширины. Для мореходных катеров ширину скулы на транце можно еще сдвинуть, так как приподнятая норма отрицательно скажется на устойчивости судна в условиях попутной волны. Для скоростных ременьных моторолов с кормовой ватерлинией, гласисирование которых проходит на широкой и короткой площадке, сужение ширины транца не имеет особого смысла, так как

попутный поток при малой длине смоченной части бортов не имеет условий для развития. Качество гласисированной площадки здесь высокое, и можно только опасаться появления риколетирования.

Палубная линия в плане должна быть достаточно крутой, чтобы обеспечивать необходимый развал носовых шпангоутов для предотвращения забрызгивания и заливания палубы водой. Подъем палубной линии к носу (на проекции борта) должен быть умеренным (или подъема можно вообще не делать), чтобы не затруднять видимость в условиях холавого дифферента.

Реданки катера

§ 4.2

Основными проектными параметрами формы корпуса реданных катеров (рис. 4.5), которые конструктор должен установить в верную очередь, являются положение носового редана по длине (l_p), углубление кромок носового и кормового реданов (T_n, T_k), форма и положение носовой и кормовой скулы, угла атаки носового и кормового реданов (α_n, α_k), форма носового редана (в плане и поперечном сечении).

Возможность аналитического метода выбора основных параметров формы по каким-либо математическим зависимостям здесь практически исключена ввиду чрезвычайной сложности взаимосвязи параметров. Поэтому в начальной стадии проектирования необходимо использовать материалы обработки статистических данных, а окончательный выбор обводов должен быть проведен по результатам модельных испытаний.

Важную роль при выборе проектных параметров формы играет центровка судна и распределение нагрузки по реданам (рис. 4.6). Очевидно, что при установившемся гласисировании должны сохраняться основные условия равновесия

$$gD = P_{n,p} + P_{k,p}; \quad (4.1)$$

$$\sum M_0 = 0, \quad (4.2)$$

где $P_{n,p}, P_{k,p}$ — подъемная гидродинамическая сила носового и кормового реданов; $\sum M_0$ — сумма моментов гидродинамических сил и массы судна относительно транца.

В зависимости от соотношения $P_{n,p}$ и $P_{k,p}$ можно различить три основных типа реданных глиссеров (по [64]):

1) с главным носовым несущим реданом, когда $P_{n,p} > 0,75Dg$,

$$T_n > T_k, \alpha_n > \alpha_k, B_n \approx B_k;$$

2) с главным кормовым несущим реданом, когда $P_{k,p} \approx 0,65Dg$,

$$T_n < T_k, \alpha_n < \alpha_k, B_n < B_k;$$

При этом положение ЦТ в децентра величин у этих же типов глиссеров должно находиться от транца в следующих пределах:

1-й тип	0,35—0,47L
2-й »	0,25—0,35L
3-й »	0,30—0,41L

Углубление кромок реданов T_1 и T_2 . Величину углубления кромок носового редана принято называть в долях от ширины редана. Для всех типов глиссеров в первом приближении можно

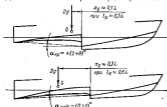


Рис. 4.7. Угол кромок редана.

принимать $T_2 = 0,08 + 0,1B_0$. Нижний предел значения T_2 рекомендуется для легких глиссирующих глиссеров, а верхний — для больших разрезных мореходных катеров. Большие значения углублений принимать нецелесообразно, так как это ухудшит условия выхода судна на режим глиссирования. Для глиссеров типа «стандарт» допускается $T_2 = 0,13B_0$.

Величина углубления кромок кормового редана T_1 определяется так называемым углом кромок реданов $\alpha_{кр}$ (рис. 4.7). Для глиссеров с главным кормовым несущим реданом этот угол рекомендуется брать в пределах $-(0-1)^\circ$, а для глиссеров типа «стандарт» — $+(0-1)^\circ$. Для глиссера 1-го типа угол кромок реданов колеблется в значительных пределах (от 2 до 8°) в зависимости от ширины кормового редана. Можно указать лишь качественную сторону этой зависимости: угол $\alpha_{кр}$ тем больше, чем шире кормовой редан B_0 .

Положение линии скулы на проекции борта. В отношении носовой скулы справедливыми остаются те же соображения, которые были высказаны для безреданных катеров. Точку пересечения носовой скулы с ватерлинией на плаву для глиссеров 1-го типа рекомендуется располагать от транца не более чем на 0,75L.

для глиссеров 2-го типа — не более 0,83L, а для глиссеров 3-го типа — не более 0,78 L.

Кормовая скула в зависимости от характера килевой линии за носовым реданом проводится в виде плавной изогнутой или выпуклой кривой, нередко в виде прямой, с таким расчетом, чтобы ее прилегание к носовому редану располагалось над проекцией ватерлинией ВЛ на плаву, обеспечивая тем самым аэродинамическое пространство. Для мореходных глиссеров во избежание «закапывания» (закрывки) бортовой волной продувочного окна прилегание кормовой скулы к носовому редану целесообразно делать выше. В противном случае в условиях даже небольших волн вдоль борта глиссера за носовым реданом под днищем будет создаваться вакуум, судно будет «присасываться» к волне, что увеличит сопротивление и сбавит ход.

Угол атаки реданов. Угол атаки реданов зависит от нагрузки, приходящейся на них, и относительной длины глиссирующей площадки. Чем больше нагрузка и меньше длина глиссирующей площадки (при заданной ширине), тем больше угол атаки и наоборот. Следовательно, для разных типов глиссеров при всех прочих равных условиях (одинаковом водозаменении, скорости и т. п.) углы атаки реданов будут различны. Правильный выбор углов атаки является ответственной и сложной задачей проектирования. В первом приближении средний угол атаки носового редана может быть определен по формуле (аппроксимация графика на [64])

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \beta, \quad (4.3)$$

где L_0 — отстояние носового редана от транца, выраженное в долях от L.

Коэффициенты в уравнении (4.3) следует принимать следующие:

Для глиссера с главным носовым несущим реданом	11,5	-1,95
Для глиссера с главным кормовым несущим реданом	7,8	-0,45
Для глиссера «стандарт»	3,7	+0,73

Кормовой редан обычно скользят на обратном склоне полуволны, образуемой за носовым реданом, в связи с чем действительный угол атаки α_2 оказывается более принятого, и его назначают поэтому на 30—45° меньше носового.

Высота редана. Высота редана должна обеспечивать срыв потока без «закапывания» возможно большей части днища за реданом. В районе борта высота уступа должна быть такой, чтобы обеспечить доступ воздуха в заданную часть.

Практически высоту редана не делают меньше 30 мм.

В зависимости от ширины редана рекомендуются $H_p = 0,05B_p$.
В зависимости от длины судна можно принимать также значения H_p :

Для больших глиссеров	0,008—0,012
Для малых глиссеров:	
в диаметральной плоскости	0,011—0,172
у скулы	0,010—0,202

Форма редана. Форма поперечного сечения носового редана может быть самой разнообразной: плоскоклеваной, изогнуто-клеваной и т. д. Общие соображения по выбору этой формы те же, что и по выбору малых шпангоутов безреданных катеров.

Для гоночных маломореходных судов характерна плоскоклеваная форма с углом килеватости 4—5°.

Для больших мореходных глиссеров целесообразно принимать выпукло-изогнутую форму со средним углом килеватости до 15°. Форма поперечного сечения днища непосредственно за уступом носового редана делается обычно такой же формы, но часто с большей килеватостью для обеспечения лучшего подтока воздуха под днище за реданом. Для этой же цели зарывание сечения иногда выполняется со скругленной скулой (рис. 4.5, в).

Форма носового редана в плане может быть прямой, клиновидной, с обратной клиновидностью и т. д. (см. рис. 2.10).

Прямой редан наиболее прост в технологическом отношении. Клинковидность редана улучшает мореходность, но уменьшает поперечную динамическую остойчивость. Редан с обратной клиновидностью улучшает поперечную динамическую остойчивость, но ухудшает условие срыва с редана струй обтекающего потока (струя срывается по направлению, не перпендикулярному кромке срыва). Таким образом, и здесь конструктор должен принять наиболее целесообразное решение исходя из конкретных условий проектирования.

Форма «глубокого V», продольные реданы

§ 4.3

В настоящее время корпуса формы «глубокого V» с продольными реданами широко используются при постройке мореходных спортивно-гоночных катеров и мотолодок. Для других видов катера с подобными обводами проектировать нецелесообразно, поскольку они имеют недостаточную начальную остойчивость на плаву, обладают малостью на малых и средних ходах, имеют меньшую скорость на тихой воде.

Сами по себе обводы «глубокого V» несложны, и проектирование их не представляет каких-либо трудностей. Их проектируют или по типу «монокорпуса», приняв килеватость на транце такой же,

как и на меделе, или же транец делают несколько более плоским (угол килеватости не более чем 4—5°). В последнем случае действующая ватерлиния в кормовой части и на плаву, и при глиссировании будет иметь большую ширину, что положительно скажется на остойчивости судна. Шпангоуты принимают V-образной формы с примыкающим очертанием. Представляется целесообразным придавать шпангоутным ватнам несколько выпуклую форму, что смягчит характер плоского удара днища о воду в случае, когда судно соударяется с волной, имея крен на борт.

Проблемно трудность составляет задача выбора полноты носовой оконечности. Острые носовые образования снижают ударные нагрузки, но обуславливают зарывание носа в волну и, наоборот, полные обводы, обладая большей плавучестью, меньше зарываются в волну, но более жестко соударяются с ней. Угол прилегания скулы у форштевня на существующих судах составляет 35—45°. Более конкретные указания по выбору этого угла даны пока не представляется возможным из-за отсутствия каких-либо натурно-опытных данных.

Известный итальянский конструктор Ренато Леви на гоночном катере «Дельта-28», имеяем острей носовые обводы, для улучшения всхожести судна за волну установил для носовых поперечных редана-срывника. Подобное решение задачи обеспечения плавучести острых носовых обводов является практически доступным и достаточно эффективным.

При проектировании продольных реданов необходимо решить следующие важные вопросы:

установить место расположения, протяженность и число реданов;

выбрать форму и размеры поперечного сечения реданов.

Действие продольных реданов состоит в том, что они подотрывают поперечное перетекание под днищем, в результате чего в районе редана возникает дополнительное давление (рис. 4.8). Дополнительное давление возрастает также за счет центробежного эффекта криволинейного перетекания потока через редан. За реданом появляется несмачиваемый участок днища, что уменьшает смоченную поверхность и, следовательно, сопротивление трения. В результате подъемная сила глиссирующего днища увеличивается, и гидродинамическое качество заметно возрастает. Относительное повышение качества тем больше, чем больше килеватость и выше скорость судна. По данным Норвежского бассейна, для модели с углом килеватости $\beta = 25^\circ$ при числе Фруда $Fr_D = 3,57$ установка продольных реданов обеспечивала повышение качества на 17%.

Наиболее эффективными оказываются короткие реданы, установленные в районе брызговой пелены, т. е. у носовой границы ходовой ватерлинии (рис. 4.9, б). В кормовой части действе

реданов становится малоэффективным, потому что скорость поперечного перетекания здесь уменьшается из-за повышения давления на днище (см. рис. 2.1), и, кроме того, затруднение в продувке реданов создает эффект «сприсоса» днища, что увеличивает сопротивление. Доводить почти до транца, может быть, целесообразно лишь крайние к борту реданы, что увеличит ширину смоченной поверхности (рис. 4.9, д) и улучшит таким образом поперечную

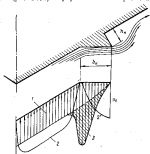


Рис. 4.8. Схема поперечного обтекания выкатного днища с продольными реданами.

1 — серия реданов на днище; 2 — зона скоростей внешнего течения; 3 — диаметральный диаметр, создаваемый продольными реданами.

стойчивость. В носовой части реданы полезно доводить почти до скулы, так как они будут играть роль брызготбойников.

В литературе можно встретить рекомендацию обязательного расположения реданов параллельно диаметральной плоскости, чтобы получить минимальное их лобовое сопротивление. Между тем встречаются проекты, в которых направление реданов принято по рыбным. Видимо, основная рабочая часть реданов должна быть строго параллельной явлю, а в носовой части, хотя бы по технологическим соображениям, когда реданы выполняются в виде накладных реек, их целесообразно направлять по рыбным.

Форма поперечного сечения реданов принимается обычно в виде прямоугольного треугольника, гипотенуза которого располагается горизонтально, а малый катет — перпендикулярно к обшивке.

Чтобы обеспечить неизменяемость выходящей из воды поверхности днища на расчетной скорости (рис. 4.10), необходимо принимать соответствующую высоту реданов $A_{\text{р}}$. Палубная высота увеличивает смоченную поверхность днища на малой скоро-

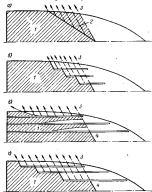


Рис. 4.9. Расположение продольных реданов: а — днище без реданов; б — короткая редана в районе брызговой пелены; в — длинная редана; г — длинная редана, не доходящая до транца до ступенчатого разложения кильного вала.

1 — основная поверхность днища; 2 — зона брызговой пелены; 3 — брызготбойная струя; 4 — впадины транца кильной впадины.

сти и отрицательно сказывается на положении судна при циркуляции: на боковых транях реданов при дрейфе судна возникают значительные силы бокового сопротивления, которые вместе с центробежной силой создают большой момент, крепящий судно во внешнюю сторону. Минимальная высота реданов составляет 10—12 мм. Чем больше ширина днища по скуле, тем больше может быть высота редана. Для катеров водоизмещением 800—1200 кг при ширине до 2 м не рекомендуется принимать высоту более 30 мм.

Ширина реданной накладки b_1 при выбранной высоте и заданной килеватости судна определяется из геометрического построения. При угле килеватости $23-25^\circ$ отношение b_1/h_1 составляет примерно 2,5.

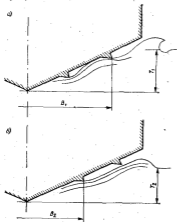


Рис. 4.10. Схемы поперечной судна, гансерируемого при двух (а) парах рабочих реданов и при одной паре (б).

b_1, b_2 — ширина ходовой поверхности; T_1, T_2 — высота осадки (по заданной килеватости).

Количество реданов, устанавливаемых на длине катера, зависит от ширины корпуса и расчетной скорости. На существующих малых и средних катерах бывает по две—четыре пары реданов (по две—четыре редана на каждой половине ширины судна). Каждая пара реданов должна определять оптимальную ширину свесной части днища при соответствующих скоростях судна.

Следовательно, расстояние между ближними, симметрично расположенными относительно ДП реданами должно быть равно оптимальной ширине ходовой поверхности на расчетной скорости, что и должно быть положено в основу определения расстояния от кила до ближнего редана. На ряде катеров зарубежной постройки первые реданы (ближние к килу) установлены примерно на половине полушироты или даже несколько ближе к борту. Это, должно быть, и соответствует ширине ходовой поверхности. Следующие реданы, ближе к скуле, ставятся чаще. Расстояние между соседними реданами в зависимости от их высоты принимается 300—350 мм при $h_1 = 25-30$ мм и 100—150 мм при $h_1 = 10-12$ мм.

Если судно имеет несколько пар реданов, то при различных случаях загрузки, т. е. при различных скоростях, катер может глиссировать на одной паре реданов (все остальные реданы «сухие», т. е. не работают), на всех реданах или на нескольких реданах при одной бортовой паре «сухих».

В последних двух случаях реданы, которые полностью находятся под водой, если они протолкнуты далеко в корму, будут работать неэффективно по указанной выше причине.

Тенденция современного развития глиссирующих судов

§ 4.4

В поисках наиболее совершенных форм глиссирующих судов, обладающих высоким гидродинамическим качеством и мореходностью, в последние примерно 10 лет любителями и профессионалами создано много различных типов новых обводов. В § 1.2 названы и приведены схемы таких новых типов глиссирующих корпусов, как «тримаран», «кафедрал», «стриклин», «слан Фокса». Можно добавить еще корпуса типа «эйрслот», «фрейдслот», «полигедрал», «стридин» и др.

Во всех этих новых, порой экстравагантных формах корпусов конструкторы пытаются наилучшим образом сочетать различные типы обводов так, чтобы прояснились все их достоинства и исключились недостатки. Так, обводы типа «стридин» (рис. 4.11), запатентованные в 1971 г. Р. Хантом и Р. Хоббсом, представляют собой сочетание трех (включая транец) поперечных реданов с остроконечной носовой частью, имеющей продольный редан. Удачно подобранные углы атаки и смещающиеся днища поперечных реданов исключили скачки судна на волне. В результате получили катер с мягким ходом на волне и высоким гидродинамическим качеством.

На рис. 4.12 представлены обводы типа «эйрслот», разработанные Р. Коулзом в 1971 г. В основе формы корпуса этого катера лежат обводы «кафедрала» (глубокие V) в сочетании со спонсоном, не смещающимися на ходу. Особенностью этих обводов являются поперечные реданы и горизонтальные продольные участки у

бортов днища в кормовой части. Поперечный redan, названный Коулом воздушной щелью (отчего обводы и получили название), скрывает избыточную подъемную силу от волны после того, как

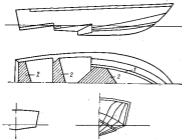


Рис. 4.11. Схема обводов типа «редан».

1 — носовой продольный redan; 2 — гетерогенная поверхность поперечных реданов.

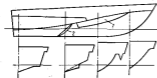


Рис. 4.12. Схема обводов типа «плоское».

1 — сносков; 2 — поперечный redan.

она пройдет redan. Волна накатывается на заданную днищевую поверхность, угол атаки которой будет меньше, чем для днища в дореданной (носовой) части. Поэтому килер значительно реже отрывается от воды (с высоко заданным носом), что часто происходит с обычными килерами. Горизонтальные участки днища «за-

глазняют» продольные валы волновой кимы, образующиеся при движении судов с большой килеватостью, а также заметно повышают поперечную динамическую остойчивость.

Характерным элементом многих современных глиссирующих обводов являются продольные реданы, которые применяют не только для формы «глубокие V», но и для менее килеватых судов.

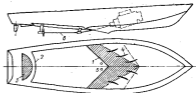


Рис. 4.13. Схема экспериментального килера «Луизиана».

1 — носовой (длинный) redan; 2 — кормовой redan; 3 — стабилизатор (регулируемый пластинчатый); 4 — короткий носовой продольный redan; 5 — стабилизатор в районе носовой транца (пластинчатый); 6 — поперечный стабилизатор от двигателя; 7 — «обойма» вал.

Корпуса современных прогулочных килеров, выполненных из стеклопластика, часто имеют многие дополнения к основной форме в виде различных уступов, скосов, оттягов, булей, гофров и других водобойных элементов, которые улучшают ходовые качества судна, увеличивают прочность и жесткость корпуса и придают ему современный изящный вид. Нередко, к сожалению, эти дополнения ничего, кроме технологических усложнений, не дают, являются неоправданными архитектурными извращениями.

Безусловно, современным и перспективным типом судов являются двухкорпусные глиссеры с аэродинамической разгрузкой.

В последнее время повышен интерес к глиссирующим реданным судам с бортовыми снегами и водочерпателями в заданную часть.

Проектирование и распроектирование глиссеров с новыми формами затруднено из-за отсутствия необходимых серийных экспериментально-теоретических материалов по модельным и натурным испытаниям, на основе которых можно было бы получить конкретные рекомендации по проектированию той или иной формы в целом и отдельных ее элементов.

Среди новых типов глиссирующих килеров заслуживает внимания экспериментальный килер-модель, построенный по проекту американских конструкторов Клемента и Плуима в 1965 г. (рис. 4.13). Это реданный килер с основной несущим носовым

реданом. Классическая форма реданных обводов была тщательно отработана на большой серии модельных испытаний. Кильватность носового редана составляет 12,5°. Форма носовых шпангоутов V-образная с небольшой выкруткой. Димше у редана имеет заметный продольный отгиб. В районе брызговой полеты в носовой части установлены короткие продольные реданы. Поперечный редан в плане имеет обратную кильватность «ласточка хвост». Высота редана незначительная — 40 мм. Выхлоп газа двигателя, установленного впереди носового редана, выведен в заданное пространство. На днище в корме размещена регуляционная планка, что позволяет легко устанавливать оптимальный ходовой дифферент судна в зависимости от центровки и состояния волнения моря. Гребной вал гибкий, что позволяет обеспечить работу винта в прямом потоке. На испытаниях катер показал хорошие результаты: при достаточно высоком гидродинамическом качестве ($K > 7$) он обладает хорошей маневренностью.

Раздел II

СУДА
НА ПОДВОДНЫХ
КРЫЛЬЯХ

ПОДВОДНЫЕ КРЫЛЬЯ
И КРЫЛЬЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Глава 5

Подводные крылья представляют собой несущие поверхности, на которых при их движении в воде вместе с судном создается гидродинамическая подъемная сила, способная поднять и стабильно удерживать идущее судно в подводном положении.

Возникновение подъемной силы на крыле связано с характером его обтекания, с распределением скоростей в обтекающем потоке около крыла. Физические процессы, происходящие в пограничном слое движущегося крыла, особенно малопрогрессивного, весьма сложны и трудно поддаются строгому теоретическому анализу. Несмотря на это обстоятельство, современная гидродинамика располагает большим количеством фундаментальных теоретических и экспериментально-теоретических работ, в которых глубоко исследованы общие и частные вопросы, связанные с движением изолированных крыльев и крыльевых систем. Многие из этих работ используются или могут быть использованы в качестве основы для получения прак-

тических результатов по определению гидродинамических характеристик подводных крыльев некоторых профилей и проектных параметров крыльевых систем.

В создании основополагающей теории движения подводного крыла огромная заслуга принадлежит отечественным ученым, среди которых прежде всего следует назвать имена Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина, Н. Е. Кочина, М. В. Келдыша и М. А. Лаврентьева, Л. Н. Седова, Л. Н. Срезневского, А. Н. Владимирова, Л. А. Эпштейна, а также И. Т. Егорова, С. Д. Чудинова, А. Н. Панченко и др. Большое практическое значение имеют работы В. А. Абрамовского, Э. А. Абрамова, В. И. Блюмина и М. Б. Массева, Е. Г. Извольского, А. Д. Красавицкого, М. М. Короткова, М. Г. Кулиева, А. В. Лукашевича, Г. В. Соболева, В. Г. Соколова и др.

Исключительно большая заслуга в области экспериментального исследования и практического внедрения плоских малопогруженных крыльев принадлежит Р. Е. Алексею.

Геометрические характеристики крыльев

§ 5.1

В простейшем случае полностью погруженное подводное крыло представляет собой тонкую прямоугольную удлиненную пластинку, расположенную под корпусом судна в поперечном направлении

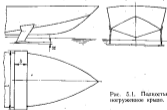


Рис. 5.1. Плоскостно построенное крыло.

и жестко закрепленную с ним стойками. При этом плоскость крыла с направлением движения судна составляет некоторый угол атаки α (рис. 5.1).

На современных судах для обеспечения возможно более высоких гидродинамических и мореходных качеств подводных крыльям нередко придан более сложную форму: делают их криво-

ватыми по виду спереди, стреловидными в проекции в план, с разными углами атаки то разному и т. д.

Форму подводного крыла (ПК) определяют следующие геометрические характеристики (рис. 5.2): размах крыла l , шарнира крыла b , угол калености β , угол стреловидности χ и аэрофиль крыла, т. е. форма и размеры сечения крыла плоскостью, перпен-

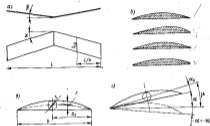


Рис. 5.2. Геометрические характеристики крыла: а — варианты формы крыла; б — типы профилей; в — варианты профилей; г — углы атаки.

дукулярной к размаху (параллельной ДП). Крыло в целом удобно, и существенно важно его характеризовать относительным удлинением, которое для прямого крыла определяется как отношение размаха к хорде ($\lambda = l/b$), а в других случаях — по выражению $\lambda = l^2/S$, где S — площадь крыла ($S \sim lb$).

Г важнейшее значение для характеристики крыла имеет его профиль. Широкое распространение, как наиболее простое в технологическом отношении, получили сегментные или плоско-выпуклые профили. Применяют также выпукло-вогнутые профили, профиль Вальзера и др. (рис. 5.2, в).

Основными геометрическими элементами профиля крыла, влияющими на его работу, являются следующие:

- с — максимальная толщина, определяемая как диаметр наибольшей окружности, вписанной в профиль;
- средняя линия — кривая, проведенная через центры окружностей, вписанных в профиль;
- b — геометрическая хорда — прямая, соединяющая концы средней линии профиля. По хорде измеряют ширину крыла в данной

сечения, определяют углы атаки. Она принимается за базовую линию, от которой задаются ординаты профиля;

хорда гидродинамическая (линия нулевой подъемной силы) — прямая на профиле, совпадающая с направлением движения крыла, когда его подъемная сила равна нулю. Для идеальной жидкости при большом погружении крыла гидродинамическая хорда проходит через хвостовик профиля и точку, расположенную на середине средней линии профиля;

α_0 — угол нулевой подъемной силы — угол, заключенный между геометрической и гидродинамической хордами (рис. 5.2, д);

$\mu = (\alpha + \alpha_0)$ — действительный угол атаки;

f — максимальная стрелка кривизны профиля, измеряемая по перпендикуляру между геометрической хордой и параллельной ей прямой, касательной к средней линии;

x_c — расстояние максимальной толщины профиля от его носовой кромки, измеренное по хорде;

x_k — расстояние максимальной кривизны профиля f от «носика».

В теоретических расчетах и при обработке экспериментальных данных для сравнительной оценки крыльев различных размеров пользуются относительными геометрическими параметрами профиля. К ним относятся следующие:

$c = c/b$ — относительная толщина;

$f = f/b$ — относительная кривизна (вогнутость);

$x_c = x_c/b$ — относительное положение максимальной толщины профиля;

$x_k = x_k/b$ — относительное положение максимальной кривизны профиля.

Гидродинамические характеристики подводного крыла

§ 5.2

Схематизируя обтекание крыла забегающим параллельно-струйным потоком, ограниченным недеформируемыми плоскостями A и B (рис. 5.3, а), трудно сделать вывод о том, что в районе крыла скорости струйных линий тока, вследствие их искривления и отклонения, неравномерны и отличаются от скорости набегающего потока в сечении далеко перед крылом. Линии тока, набегающие на крыло со скоростью V , под некоторым положительным углом атаки, на нижней стороне подтормаживаются, а на верхней — ускоряются. Вследствие разности скоростей, согласно закону Бернулли, различно и давление потока на верхнюю и нижнюю поверхности крыла. Экспериментально установлено, что на нижней стороне давление увеличивается, а на верхней, наоборот, уменьшается по сравнению с давлением p_0 в потоке далеко перед крылом на уровне его погружения. Распределение давления по профилю

крыла в виде безразмерного коэффициента давления $\bar{p} = 2\Delta p/\rho V^2$ показано на рис. 5.3, б. Здесь $\Delta p = p - p_0$, где p — давление в рассматриваемой точке профиля, а p_0 — давление в невозмущенном потоке. Для верхней стороны профиля коэффициент \bar{p} имеет отрицательное значение и свидетельствует о разрежении ($p < p_0$), а положительное значение \bar{p} для нижней стороны указывает на

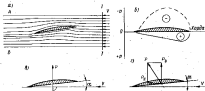


Рис. 5.3. Схема обтекания крыла забегающим потоком: а — линии струйного обтекания; б — закон давления; в — главный гидродинамический вектор; г — подъемная сила и сопротивление крыла.

высотное давление ($p > p_0$). Разность давлений на верхней и нижней сторонах профиля обуславливает подъемную силу крыла. При этом следует отметить, что около $3/4$ подъемной силы создается на верхней стороне профиля вследствие разрежения и только $1/4$ — на нижней, благодаря повышению давления. Для тонких пластин при малом угле атаки распределение несущей способности между засасывающей и нагнетающей сторонами при погружении больше трех хорд примерно одинаково, т. е. по 50%. Это позволило Г. Вагнеру обобщить аналогию между крылом и глассирующей пластиной.

Сила гидродинамического давления $p dS$ действует нормально к поверхности крыла, а общий результирующий их, как интегральный вектор $\bar{P} = \int p dS$, в условиях идеальной жидкости направлен нормально к скорости набегающего потока (рис. 5.3, в). В реальных условиях, вследствие вязкостных свойств воды, на крыло действуют также силы трения, направленные по касательной к его поверхности. В результате действия сил трения главный вектор гидродинамических сил при установившемся движении отклоняется в сторону, противоположную движению крыла (рис. 5.3, г). Проекции главного вектора на вертикальную и

горизонтальную ось y и x определяют подъемную силу крыла P_y и его сопротивление P_x

$$\left. \begin{aligned} P_y &= P \cos(\rho, y); \\ P_x &= P \cos(\rho, x). \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

Гидродинамические силы создают относительно передней кромки крыла реактивный момент M , который стремится повернуть профиль крыла и изменить нулевой ходовой силы. Величина этого момента характеризует удаление от передней кромки крыла точки приложения главного гидродинамического вектора.

Экспериментально-теоретическим путем установлено, что P_y , P_x и M могут быть определены по формулам

$$\left. \begin{aligned} P_y &= C_y \frac{1}{2} \rho V^2 S; \\ P_x &= C_x \frac{1}{2} \rho V^2 S; \\ M &= C_m \frac{1}{2} \rho V^2 S b, \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

где C_y , C_x и C_m — безразмерные коэффициенты соответственно подъемной силы, сопротивления и момента.

Безразмерные коэффициенты C_y , C_x и C_m являются основными гидродинамическими характеристиками крыла. Они не зависят от среды, в которой движется крыло (воздух или вода) и соответственно равны для всех геометрически и гидродинамически подобных крыльев.

Гидродинамические коэффициенты C_y , C_x и C_m зависят от формы крыла, угла атаки (α), относительного размаха крыла (λ), относительной глубины погружения (\bar{h}) и безразмерных критериев режима движения крыла Re и Fr . Кратко рассмотрим влияние основных геометрических и эксплуатационных параметров крыла на изменение его гидродинамических характеристик.

Влияние угла атаки на C_y , C_x и K . На рис. 5.4 приведены кривые качественного изменения C_y , C_x и K в зависимости от угла атаки α . Из этого графика видно, что C_y с возрастанием α сначала увеличивается практически по линейной зависимости, но затем, достигнув своего максимума, начинает падать. Это объясняется тем, что при достаточно больших углах атаки нарушается плавность обтекания крыла: на верхней стороне его сначала возникает местные срывы потока, а затем, по мере увеличения α , область срыва струй все расширяется, давление в зоне возмущенного потока над крылом понижается, подъемная сила крыла падает, а сопротивление его резко возрастает.

Как видно на графике $C_y = f(\alpha)$, нулевое значение C_y располагается в зоне отрицательных углов атаки α_0 . Это объясняется

тем, что истинный угол атаки $\mu = \alpha_0 + \alpha$ больше геометрического на угол нулевой ходовой силы. Максимальное значение C_y для крыльев, используемых на современных СПК, соответствует углам атаки $\alpha \approx 10-12^\circ$, которые, однако, не являются оптимальными. На этом же рисунке приведена кривая, представляющая гидродинамическое качество крыла $K = f(\alpha)$. Эта величина

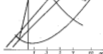


Рис. 5.4. Влияние угла атаки на гидродинамические коэффициенты.

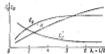


Рис. 5.5. Качественная зависимость C_y , C_x и K от λ .

характеризуется отношением подъемной силы крыла к силе сопротивления

$$K = \frac{P_y}{P_x} = \frac{C_y}{C_x}. \quad (5.3)$$

Коэффициент гидродинамического качества является главным критерием общей характеристики крыла, по которому оценивается целесообразность его практического использования. Как видно из графика, максимальное значение K располагается в зоне малых углов атаки (в пределах $\alpha = -1+3^\circ$), которые, очевидно, и должны считаться оптимальными углами. Однако на СПК с малопогруженными крыльями установочные углы атаки принимаются часто не больше 1° или даже отрицательными, что необходимо для обеспечения стабилизации движения крыла вблизи поверхности, т. е. для предотвращения возможного «срыва» или, наоборот, «выскакивания» крыла из поверхности. При этом гидродинамическое качество снижается, но остается достаточно высоким.

Влияние удлинения λ на C_y , C_x и K . Влияние удлинения, или относительного размаха, крыла на величины C_y , C_x и K показано на рис. 5.5. С увеличением размаха крыла коэффициент подъемной силы возрастает, а коэффициент сопротивления, наоборот, падает. В результате гидродинамическое качество увеличивается. При значениях $\lambda > 10$ все три коэффициента практически остаются неизменными. Эта зависимость C_y и C_x от λ объясняется наличием так называемого схода потока. По кромкам движущегося крыла возникает система вихревых вкраев, обусловленных перетека-

внен воды на зоны повышенного давления в зону пониженного давления. Вертикальные составляющие вихревого движения воды, направленные вниз, индуцируются по направлению движения крыла и отклоняют набегающий поток на величину $\Delta\alpha$ так, что фактический угол атаки крыла уменьшается, вызывая уменьшение подъемной силы. Главный вектор гидродинамических сил отклоняется в противоположную движению крыла сторону, образуя составляющую x , дробную часть, так называемого индуктивного сопротивления (рис. 5.6).

Отсюда, что относительное влияние падения подъемной силы на концах крыла на величину C_y будет тем больше, чем шире и выше крыло. Заметное снижение C_y наблю-

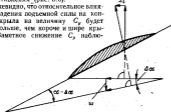


Рис. 5.6. Схема образования индуктивного сопротивления.

дается для крыльев с размахом $\lambda < 5$, а особенно резко — с размахом $\lambda < 2$. По относительному размаху различают крылья бесконечного размаха ($\lambda \rightarrow \infty$), крылья конечного размаха ($\infty > \lambda > 2$) и крылья малого удлинения ($\lambda < 2$). Для СПК применяют крылья конечного размаха при $\lambda = 5 + 10$.

Влияние глубины погружения на C_y и C_x (рис. 5.7). Изменение подъемной силы и сопротивления крыла в зоне малых относительных погружений объясняется влиянием свободной поверхности воды. Сущность явления свободной поверхности воды на подъемную силу крыла состоит в подпоривании обтекающего потока крыла потоком. Когда крыло движется на малой глубине, свободная поверхность под воздействием атмосферного давления образует над ним впадинку, стремясь «заполнить» разреженную зону. Толщина слоя воды (гидравлическое сечение) над крылом при этом уменьшается, что вызывает торможение обтекающего потока и образование буры (подъем уровня воды) над крылом а передней его части, который затем распространяется на всю ширину и, сдвигаясь, образует за крылом волну (рис. 5.8). В результате степень разрежения над крылом уменьшается, следовательно, умень-

шается и подъемная сила крыла, а образующаяся волна вызывает увеличение сопротивления. Однако общее сопротивление при приближении крыла к поверхности не увеличивается, а уменьшается вследствие снижения сопротивления трения (господству

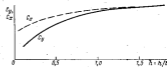


Рис. 5.7. Количественная зависимость C_y и C_x от глубины погружения крыла.

обтекание профилей вблизи поверхности идет с меньшими скоростями), а также благодаря снижению индуктивного сопротивления, пропорционального водной силе (с уменьшением \bar{P} уменьшается и x).



Рис. 5.8. Влияние свободной поверхности воды на подъемную силу крыла.

Количественное изменение гидродинамических коэффициентов, когда крыло приближается к свободной поверхности, зависит, как показывают эксперименты, от формы профиля, его относительной толщины и угла атаки. Для плоского соеменного крыла ($\lambda = 5$; $\bar{C} = 0,06$) при наименьшей глубине его погружения от $\bar{h} = 1,0$ до $\bar{h} = 0,1$ и углах атаки в пределах $\alpha = 0 + 3^\circ$ коэффициент подъемной силы C_y уменьшается на 40—50%, коэффициент сопротивления C_x — на 35—37%, коэффициент гидродинамического качества K — на 10—20%.

Влияние формы крыла на C_y и K . Как видно из кривых $C_y = f(\alpha)$ и $K = f(\alpha)$ на рис. 5.9, построенных по экспериментальным данным, наиболее высокие значения коэффициентов подъемной силы и гидродинамического качества обеспечивает вогнуто-выпуклый профиль («луковка») крыла. Наименьшие значения C_y и K (в пределах $\alpha = 0 + 2^\circ$ и в зоне отрицательных углов атаки) дает несимметричный двояковыпуклый профиль.

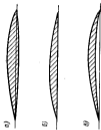
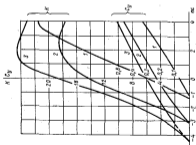


Рис. 5.9. Изменяя гидродинамическую форму носителя угла атаки для различных профилей крыла: а) $U - C = 0,08$; $T = 0,04$; $\lambda = 4$; б) $U - C = 0,06$; $T = 0,08$; $\lambda = 5,1$; в) $U - C = 0,06$; $T = 0,06$; $\lambda = 5,1$; д) $U - C = 0,06$; $T = 0,06$; $\lambda = 5,1$.



Эта особенность профилей может быть объяснена следующим образом. На теория известно, что линией нулевой подъемной силы, т. е. гидродинамической хорды, является (в условиях идеальной жидкости) прямая, проходящая через заднюю кромку профиля к точке, расположенную на середине длины его кривизны*.

Следовательно, чем больше кривизна профиля f , тем больше угол нулевой подъемной силы α_0 , и действительный угол атаки $\mu = \alpha + \alpha_0$. Таким образом, при одинаковых геометрических углах атаки различных по форме профилей большей подъемной силой будет обладать тот профиль, у которого больше угол нулевой подъемной силы. На рис. 5.10 видно, что именно таким и является вогнуто-выпуклый профиль.

Экспериментами установлено, что при малых углах атаки, применяемых на крыльях СПК, форма нижней стороны профиля не влияет на величину и характер распределения разрежения на верхней стороне крыла. Это определяется лишь формой самой верхней стороны. Таким образом, у различных профилей, имеющих одинаковую форму верхней стороны, разница в подъемной силе будет возрастать при переходе от выпуклой формы нижней стороны профиля к плоской и вогнутой.

Важные формы крыла в плане на гидродинамические характеристики проявятся через изменение угла сноса потока, и лучшей будет эллиптическая форма (рис. 5.11). Однако эллиптические крылья не получили распространения в связи со сложностью их изготовления, а также потому, что они хуже обеспечивают поперечную устойчивость судна, чем крылья прямоугольные в плане.

Влияние кавитации на работу крыла. Возникновение кавитации в разреженной зоне над верхней стороной крыла оказывает существенное влияние на его работу. Кавитация возникает тогда, когда минимальное давление на поверхности крыла становится равным или меньше давления насыщенных паров ($p \leq p_s$). Кавитация в различных ее стадиях вызывает шум, эрозийный износ поверхности крыла и падение подъемной силы. Последнее может обусловить горизонтальную неустойчивость движения крыла.

Чтобы избежать кавитационный режим обтекания крыла, необходимо его расчетная проверка на кавитацию. Как известно, критерием кавитации служит безразмерный коэффициент, называемый числом кавитации

$$k = \frac{2(p_0 - p_s)}{\rho v^2}, \quad (5.4)$$

где $p_0 = p_{ст} + \gamma b$ — статическое давление в жидкости далеко перед крылом, Па; ρ — плотность воды, кг/м³; $p_{ст} = 101\,000$ —

* Реальные профили имеют несколько иной угол нулевой подъемной силы. Для сегментных в базисах к ним применим поправочный коэффициент равен 0,87.

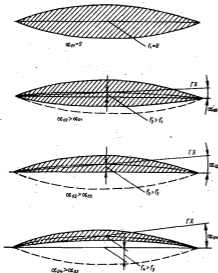


Рис. 5.10. Выделение угла кривой подводной крыльи в зависимости от формы нижней стороны профиля.

GX — гидродинамический угол.

атмосферное давление, Па; γ — удельный вес воды, $\text{кг/м}^3 \cdot \text{с}^2$ (для пресной — 9810, для морской — 10 060); h — глубина погружения, м; p_s — давление насыщенных паров, Па (при температуре $t = 15^\circ\text{C}$ $p_s = 1700$ Па).

Сравнивая число кавитации с коэффициентом наибольшего разрежения (в точке минимального давления в потоке над поверхностью крыла) $\bar{p}_{\text{min}} = \frac{2(p_{\text{max}} - p_s)}{\rho v^2}$ и помня о том, что кавитация наступает при $p_{\text{min}} \leq p_s$, ветрудо установил зависимость $k = -\bar{p}_{\text{min}}$.

Составление k и \bar{p}_{min} позволяет оценивать режим обтекания: $k > -\bar{p}_{\text{min}}$ — бескавитационное обтекание; $k \approx -\bar{p}_{\text{min}}$ — начало кавитации, охватывающей небольшую область поверхности в районе наибольшего разрежения (пузырчатая кавитация); $k < -\bar{p}_{\text{min}}$ — кавитационное обтекание, при котором область кавитации распространяется почти по всей верхней стороне крыла (II и III стадии кавитации).

При некотором критическом значении $k_{\text{кр}}$ кавитация охватывает всю поверхность крыла и наступает суперкавитация. Более подробно это явление описано в работах В. Л. Поддубника. Перечень этих работ приведен в монографии [31].

Значения k и \bar{p}_{min} зависят от глубины погружения крыла, скорости его движения, относительной толщины профиля и формы крыла в целом. Расположен значении глубины погружения крыла и его скоростью, число кавитации легко определить по формуле (5.4). Определение \bar{p} является уже более сложной задачей, поскольку здесь существенное значение играет форма профиля. В литературе приводятся графики Гутне (например, [16, 33]), по которым в зависимости от s и \bar{C}_p можно определить коэффициент разрежения \bar{p}_{min} для глубокопогруженных крыльев с сегментными профилями. Для сегментных профилей В. М. Лаврентьев вывел формулу

$$\bar{p}_{\text{min}} = 4,8\bar{C}_p + 0,4C_p \quad (5.5)$$

которой и можно воспользоваться в предварительных расчетах. Эта формула пригодна лишь для глубокопогруженного крыла. Для малопогруженных крыльев, вследствие близости свободной поверхности, разрежение уменьшается, что можно учесть коэффициентом

$$q = \frac{\bar{p}_{\text{min}}}{(\bar{p}_{\text{min}})_{\text{глуб}}}. \quad (5.6)$$



Рис. 5.11. Формы плоских крыльев в плане: а — с закругленными концами; б — с круглыми концами; в — заостренная.

Здесь \bar{p}_{max} — коэффициент разрежения (давления) у поверхности крыла вблизи свободной поверхности; $(\bar{p}_{max})_{lim}$ — коэффициент давления у поверхности глубоководного крыла.

Коэффициент q может быть определен по предлагаемому здесь выражению, полученному аппроксимацией экспериментальной зависимости $q = \bar{f}(h)$ для сегментных профилей с нагруженностью крыла в пределах $C_p = -0,1 \div 0,3$



$$q = 0,856h^{1/3} - 0,076 \frac{1}{h} \quad (5.7)$$

Максимальная скорость бескавитационного обтекания может быть определена по формуле, полученной из формулы (5.7).



$$V = \sqrt{\frac{2(\rho_{max} + \rho) - \rho g h}{\rho (\rho_{max})}} \quad (5.8)$$

Рис. 5.12. Профили суперкавитирующих крыльев.

Для отдаления кавитации крыльев необходимо применять наиболее тонкие профили с малыми углами атаки, что обеспечивает равномерность распределения давления (без являя ρ_{max}) и невысокую нагруженность крыла, т. е. небольшие значения C_p . Однако уменьшение толщины профиля ограничивается условием обеспечения прочности крыльев. Поэтому при высоких скоростях движения на плавно обтекаемых крыльях избегать кавитации невозможно. В реальных условиях максимальная скорость бескавитационного обтекания для малопосруженных крыльев составляет не более 65—70 уз, а для глубоководных — не более 54 уз. Для достижения больших скоростей необходимо применение суперкавитирующих крыльев (рис. 5.12), которые устойчивы против начальных стадий кавитации (благодаря острому толкаю носу профиля), а при дальнейшем ее развитии обеспечивают быстрое образование паровоздушной устойчивой кавитации. Дальнейший рост подъемной силы с увеличением скорости обеспечивается одной нижней нагнетательной стороной, поскольку давление на засасывающей (верхней) стороне не повышается, а остается постоянным, равным давлению насыщенного пара.

Принципиально применение крыльев с суперкавитирующими профилями позволит получить любые большие значения скоростей СПК, какие только может обеспечить энергетическая установка. Однако практическое внедрение суперкавитирующих профилей обусловлено рядом трудностей, и в настоящее время созда-

ние СПК со скоростями $V > 100$ уз представляется весьма сложной задачей. Во-первых, трудно создать профиль, обеспечивающий устойчивую кавитацию в широком диапазоне скоростей. На малых скоростях такие профили неэффективны, и требуются дополнители крыла больших площадей для выхода судна на крыльевой режим движения. Во-вторых, при высоких скоростях малые размеры крыльев, достаточные для создания необходимой подъемной силы, не обеспечивают нужную прочность крыльев.

Конструктивные типы подводных крыльев и их мореходные особенности

§ 5.3

Из целого ряда требований, которым должны удовлетворять подводные крылья, безусловно важнейшим является требование обеспечения стабилизации движения судна. При движении судно должно сохранять предусмотренное в проекте положение по высоте над уровнем воды, по углу ходового дифферента и латит без крена в условиях как спокойной, так и возмущающей водной поверхности. Для этого необходимо, чтобы устанавливаемые на судне крылья, каждое в отдельности и крыльевая система в целом, обладали способностью регулировать подъемную силу при изменении глубины погружения крыльев, вызванной изменением скорости, нагрузки судна, волновой поверхностью воды и другими возможными причинами. При неизменных параметрах движения судна существование регулированной подъемной силы состоит в сохранении ее постоянства, которое может нарушаться или по случайным причинам, или в результате непрерывного колеблени волновой поверхности. Регулирование подъемной силы может быть достигнуто на основе использования аэлинии свободной поверхности воды, изменения смоченной (рабочей) поверхности крыльев, принудительного изменения углов атаки, искусственного изменения давления на рабочих поверхностях крыла путем подвода к ним воздуха.

По этим признакам различают следующие конструктивные типы крыльев:

- малопосруженные, работающие вблизи свободной поверхности;
 - малопосруженные, пересекающие свободную поверхность; десничные (плажеронные);
 - мезантроскопичные управляемые;
 - вентиларуемые управляемые;
 - глиссирующие поверхности.
- Рассмотрим особенности перечисленных типов крыльев.

Малопогруженные крылья

5.3.1

У плоских (или слабоизогнутых) полностью погруженных крыльев, работающих при малых относительных погружениях ($0,1 < \beta < 0,5$), достоянием подъемной силы поддерживается благодаря вливаю свободной поверхности. При увеличении скорости движения судна рост подъемной силы сдерживается в результате уменьшения ее при приближении к свободной уровню воды, а падение подъемной силы с уменьшением скорости восстанавливается впадине погруженности крыла. Таким образом, у малопогруженных крыльев происходит саморегулирование подъемной силы без каких-либо дополнительных средств.

Малопогруженные крылья впервые были применены на отечественных судах типов «Ракета» и «Метеор», спроектированных под руководством Р. Е. Алексеева. Они обеспечивают высокое гидродинамическое качество, малую заднюю осадку, легкость и простоту крыльцевого устройства и являются лучшим типом крыльев для речных СПК. Основным недостатком этих крыльев является то, что они обеспечивают судам низкую мореходность.

Крылья близко расположенны к свободной поверхности и при движении в условиях даже небольшого волнения ($\beta_0 \approx 0,5 \delta$) из-за постоянной и резкой перемены погружения крыла (то под вершиной, то под впадиной волны) возникают значительные колебания подъемной силы. При короткой крутой волне в положении крыла во впадине всегда к крылу врывается атмосферный воздух и «оглуляет» его, что обуславливает резкий срыв подъемной силы (до 70%). Колебание подъемной силы вызывает качку судна с ощутимыми перегрузками, что отрицательно сказывается на обитаемости.

На многих отечественных СПК для улучшения их мореходных качеств поставлены малопогруженные стреловидные крылья с углом стреловидности $\chi = 30 + 40^\circ$. Площадь таких крыльев оказывается существенно разнесенной по длине судна, так что отдельные ее участки работают в различных фазах волновой поверхности (рис. 5.13). Это увеличивает диапазон колебания подъемной

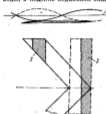


Рис. 5.13. Стреловидное и прямое крыльце в условиях волнения.

1 — граница свободной воды; 2 — горизонтальная плоскость стреловидного крыла; 3 — плоскость впадины прямого крыла.

силы, поскольку, например, уменьшение ее в одной части площади крыла, находящейся под впадиной волны, компенсируется возрастанием в другой части, находящейся под вершиной волны. Опыт эксплуатации показал, что стреловидные крылья эффективны только на коротких встречных ветровых волнах, длина которых сопоставима с протяженностью крыла по длине судна.

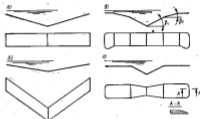


Рис. 5.14. Формы малопогруженных крыльев повышенной мореходности: а — простое крыльце; б — калкатое со стреловидностью; в — сложенно-калкатое (с переменной калкатностью); г — прямое с увеличенными калкатом; с — плоское с заглубленной средней частью (крыло чайки).

Килеватость малопогруженного крыла (рис. 5.14, а) также увеличивает его мореходные качества. Средняя часть крыла оказывается более заглубленной и в меньшей степени подвергается воздействию свободной волновой поверхности. Сочетание килеватости и стреловидности (рис. 5.14, б) позволяет подучить крыльям повышенной мореходности при встречном волнении. Но такие крылья, как показал опыт, в условиях движения на попутном волнении уступают килеватым прямым крыльям, выполненным по схеме рис. 5.14, в.

Здесь следует иметь в виду, что на поведение крыла при волнении влияет не только волновая форма свободной поверхности, но и орбитальные скорости движения частиц воды, которые изменяют направление набегающего на крыло потока, т. е. угол атаки, что приводит к увеличению или уменьшению подъемной силы в зависимости от места положения крыла по фазе волны и направления движения судна относительно волн. В отдельных случаях вливание орбитальных скоростей может привести к срыву крыльцевого режима (выскакивание крыла из воды или его провал).

Мореходность СПК на малопогруженных крыльях возрастает с увеличением абсолютных размеров судна, но в принципе повышение этих крыльев в морских условиях возможно лишь для судов прибрежного плавания.

Подпогруженные крылья

5.3.2

Эти крылья, как и малопогруженные, являются саморегулируемыми. У подпогруженных, пересекающих свободную поверхность крыльев регулирование подъемной силы в зависимости от скорости судна обеспечивается изменением площади соприкасаемой поверхности. Конструктивно они выполняются в виде V-образных, трапециевидных или дугообразных крыльев (рис. 5.15). В результате эксплуатации V-образных крыльев с постоянными углами килеватости и одинаковой хордой по всему размаху, широко применявшихся в начальный период развития СПК, наряду с положительными качествами в отношении мореходности выявлен их существенный недостаток по устойчивости: с увеличением скорости движения судна погружение и размах V-образного крыла увеличиваются, что приводит к потере поперечной устойчивости на ходу. Этот недостаток заметно снижается при выполнении крыла с переменной хордой. Эффективность такого мероприятия повышается, если одновременно крыло выполнить с плавно меняющимися по размаху толщиной профиля и установочными углами атаки; в нижней части крыла профиль делать более тонким (для уменьшения коэффициента подъемной силы), а углы атаки меньшими, чем в верхней части. На рис. 5.16 показаны V-образные крылья, пересекающие свободную поверхность, которые используются на современных мореходных судах, проектируемых фирмой «Супрамар». Носовое крыло, например, одного из лучших зарубежных морских СПК РТ-50 представляет собой V-образное прямое крыло с переменными, прогрессивными от ДП к борту килеватостью и установочными углами атаки. Средняя (нижняя) часть крыла с внешней килеватостью 19° на протяжении примерно 0,5В имеет профиль Вальзера, далее в районе хордовой ВЛ — сегментный профиль, а бортовые части, как дополнительные площади для выхода на крыльевой режим и стабилизаторы поперечной устойчивости, выполнены значительно более широкими с выгнудо-вогнутым профилем. Подобные крылья обладают достаточно высокими гидродинамическими и мореходными качествами, но сложны в изготовлении.

Трапециевидное крыло (рис. 5.15, б) представляет сочетание плоского полностью погружаемого крыла с наклонными бортовыми участками, пересекающими свободную поверхность аналогично V-образному крылу. По своим гидродинамическим качествам трапециевидные крылья близки к плоским малопогруженным

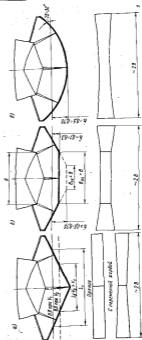


Рис. 5.15. Конструктивные типы погружаемых крыльев, пересекающих свободную поверхность: а — V-образные; б — трапециевидные; в — дугообразные.

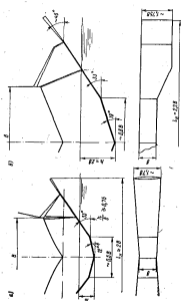


Рис. 5.16. Подобранные V-образные крылья различной килеватости, примененные на судах фирмы «Сутравер» (крылья Г. Шертеля); а — абсолютные корабельные килера; б — СПК РТ-50 и другие крутые суда.

крыльям, но превосходят их по мореходности, вертикальной и поперечной устойчивости. Как и у V-образных крыльев, для обеспечения поперечной устойчивости наклонные части трапеzieвидных крыльев должны выполняться с уширением вверху и с увеличенными на $(1-2)^\circ$ установочными углами атаки с применением выпукло-вогнутой поперечной профилировки. Для речных усло-

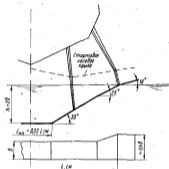


Рис. 5.17. Носовое крыло мореходного СПК «Комета-М».

вий плоскую часть целесообразно делать значительной по размаху (не меньше ширины корпуса) с расчетом на относительное углубление в пределах $\lambda = 0,1+0,3$. Для морских судов, наоборот, плоскую часть следует принимать меньше ширины корпуса с рабочим углублением не менее $0,5-0,75$ хорды.

На отечественных судах типа «Комета-М» применены V-образные крылья с плоской вставкой в середине (рис. 5.17). Их можно отнести к трапеzieвидным крыльям с короткой глубоководной ($\beta = 2$) плоской частью, однако по мореходным качествам они практически одинаковы с V-образными при условии, если длина вставки не превышает 20—25% длины (размаха) смоченной поверхности. В отличие от V-образных крыльев Шертеля килеватость на крыльях теплохода «Комета-М» к бортам не увеличивается,

а, наоборот, уменьшается, но «закрытка» (увеличение установившихся углов атаки) сохраняется. Уширенные концы крыльев здесь превращаются, по существу, в малопогруженные элементы и хорошо обеспечивают поперечную стабилизацию, эффективно снижая амплитуду бортовой качки при волнении.

Полуогруженными являются и дугообразные крылья (рис. 5.15, в), применявшиеся на некоторых зарубежных СПК. По своим мореходным качествам они близки к трапециевидным, но сложнее их в изготовлении и в настоящее время применяются редко.

Этажерные крылья

5.13

Различные схемы этих крыльев показаны на рис. 5.18. Обычно они выполняются как разделенные крылья; одно крыло состоит из двух крыльев, разделенных корпусом в виде рам, состоящих

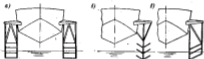


Рис. 5.18. Этажерные (лестничные) крылья: а — с горизонтальными плоскостями крыльев; б — конусовые с V-образными плоскостями; в — с вертикальными плоскостями.

из двух боковых стоек, между которыми установлены несущие плоскости-крылья. Иногда крылья крепятся конусом к одной центральной стойке (рис. 5.18, б). Для плавного регулирования подъемной силы плоскости крыльев должны ставиться наклонно, так как при горизонтальном расположении (рис. 5.18, а) изменение суммарной погруженной площади крыльев происходит скачкообразно, что может быть причиной возникновения вертикальных автоколебаний, недопустимых по условиям обитаемости. Верхние плоскости лестничных (этажерных) крыльев для увеличения подъемной силы при выходе судна из крыльевой режии делают шире и с большим установившимся углом атаки по сравнению с нижними плоскостями. Нижние пластины целесообразно делать более узкими (по хорде) и с меньшими установившимся углами для уменьшения вероятности «выскакивания» всего крыла из воды при движении судна в условиях волнения на предельных скоростях, когда необходимая подъемная сила создается лишь одними нижними пластинами.

Управляемые крылья

5.14

Наиболее подверженными влиянию изломанной поверхности, а следовательно, и наиболее мореходными, являются слабопогруженные крылья (ГПК). Однако они не обладают самостабилизацией, и использование их возможно лишь при дополнительных устройствах и оборудовании, обеспечивающих искусственные способы регулирования подъемной силы.

Существует несколько типов управляемых крыльев, отличающихся как принципом регулирования подъемной силы, так и способом управления процессом ее изменения. Отметим некоторые из них.

Гидроупруженимые механизированные крылья, упрямые электромеханические системами автоматической стабилизации. Заметим, что механизированными называются крылья, подъемная сила которых регулируется изменением угла атаки всего крыла или отдельных его частей (закрылков). Применяются как полноповоротные крылья, так и крылья с закрылками. Первые обладают более высоким гидродинамическим качеством, но возникают трудности при их конструктивном оформлении. Использование закрылков позволяет применять более легкие приводы, но осложняется возникновением кавитации в районе щелей и пелел, что приводит к эрозийному износу и снижению гидродинамического качества.

В состав электронной системы автоматического управления подводными крыльями (электронная САУПК) входят следующие элементы и приборы:

- органы управления подъемной силой — закрылки, полноповоротные крылья;
- органы управления курсом — рули, поворотные стойки, крылья, закрылки;
- исполнительный привод, состоящий обычно из электрогидравлического преобразователя и силового гидродвигателя;

датчики — элементы или приборы, регистрирующие отклонение судна от заданного (расчетного) положения по высоте, курсу и дифференту с учетом динамики (ускорений) этих процессов. От датчиков сигналы поступают в блок предварительных усилителей и преобразователей, откуда — к сервоусилителям, затем — к преобразователям электрических сигналов в механическое переключение распределительных клапанов, которые и включают (или выключают) в действие исполнительные приводы САУПК. В электронных САУПК на СПК используются: в качестве датчиков курса (и дифферента) — авиационные гиросервоаппараты, в качестве датчиков ускорения — акселерометры авиационного типа, в качестве датчиков высоты — ультразвуковые датчики, которые

состоит из излучателя и приемника, размещенных снаружи (в углублениях) в носовой части и электронного вычислительного блока. Последний определяет горизонтальный уровень движения судна по временному интервалу между посланными и отраженными сигналами. В связи с высокой стоимостью ультразвуковых датчиков используются также датчики контактного типа, которые, однако, уступают ультразвуковым по обеспечению режима подслеживания, поскольку контактный принцип исключает возможность прогнозирования размеров набегающих волн.

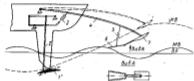


Рис. 5.19. Привычная схема крыльчатого устройства Х. Гука.

1 — носовое крыло; 2 — основной тавр; 3 — диаметр; 4 — высота крыльчатого устройства; 5 — пружина; 6 — гидродинамическая балка; 7 — вспомогательное крыло; 8 — система управления из воды; 9 — волновой фронт; 10 — носовая волна; 11 — носовая волна; 12 — волновой фронт; 13 — волновой фронт; 14 — волновой фронт; 15 — волновой фронт; 16 — волновой фронт; 17 — волновой фронт; 18 — волновой фронт; 19 — волновой фронт; 20 — волновой фронт; 21 — волновой фронт; 22 — волновой фронт; 23 — волновой фронт; 24 — волновой фронт; 25 — волновой фронт; 26 — волновой фронт; 27 — волновой фронт; 28 — волновой фронт; 29 — волновой фронт; 30 — волновой фронт; 31 — волновой фронт; 32 — волновой фронт; 33 — волновой фронт; 34 — волновой фронт; 35 — волновой фронт; 36 — волновой фронт; 37 — волновой фронт; 38 — волновой фронт; 39 — волновой фронт; 40 — волновой фронт; 41 — волновой фронт; 42 — волновой фронт; 43 — волновой фронт; 44 — волновой фронт; 45 — волновой фронт; 46 — волновой фронт; 47 — волновой фронт; 48 — волновой фронт; 49 — волновой фронт; 50 — волновой фронт; 51 — волновой фронт; 52 — волновой фронт; 53 — волновой фронт; 54 — волновой фронт; 55 — волновой фронт; 56 — волновой фронт; 57 — волновой фронт; 58 — волновой фронт; 59 — волновой фронт; 60 — волновой фронт; 61 — волновой фронт; 62 — волновой фронт; 63 — волновой фронт; 64 — волновой фронт; 65 — волновой фронт; 66 — волновой фронт; 67 — волновой фронт; 68 — волновой фронт; 69 — волновой фронт; 70 — волновой фронт; 71 — волновой фронт; 72 — волновой фронт; 73 — волновой фронт; 74 — волновой фронт; 75 — волновой фронт; 76 — волновой фронт; 77 — волновой фронт; 78 — волновой фронт; 79 — волновой фронт; 80 — волновой фронт; 81 — волновой фронт; 82 — волновой фронт; 83 — волновой фронт; 84 — волновой фронт; 85 — волновой фронт; 86 — волновой фронт; 87 — волновой фронт; 88 — волновой фронт; 89 — волновой фронт; 90 — волновой фронт; 91 — волновой фронт; 92 — волновой фронт; 93 — волновой фронт; 94 — волновой фронт; 95 — волновой фронт; 96 — волновой фронт; 97 — волновой фронт; 98 — волновой фронт; 99 — волновой фронт; 100 — волновой фронт.

Глубокопогруженные крылья, управляемые электронными автоматическими системами, обеспечивают высокую стабилизацию движения СПК и дают возможность получить приемлемую для пассажиров степень комфортабельности с вертикальными перегрузками, не превышающими 0,25g. Однако широкое внедрение таких управляемых ГПК на пассажирских судах сдерживается сложностью и высокой стоимостью электронных автоматических систем, к которым предъявляются исключительно жесткие требования в отношении надежности, поскольку выход САУПК из строя лишает судно возможности двигаться в крыльчатом режиме.

Глубокопогруженные крылья с механической системой автоматического управления. Идея использование простых механических систем для управления глубокопогруженными крыльями относится к самому началу периода создания СПК. Определенных практических успехов в области создания механизированных автоматических управляемых ГПК добился американский инженер Х. Гук, который в период 1942—1961 гг. провел серию экспериментов на самоходных моделях и создал достаточно совершенную крыльчатую систему с управляемыми крыльями (рис. 5.19). По-

казанные на схеме устройства являются самостоятельными для левого и правого бортов для двух отдельных крыльев, благодаря чему обеспечивается поперечная устойчивость при движении судна.

Элементы следующей системы (крыло 7 и пластина 6), нанесенные перед судном, обеспечивают наименьшие углы атаки носового крыла с некоторым упреждением, в результате чего нос судна успевает подняться над волной, которая и проходит под корпусом без соударения с ним; при прохождении впадины нос судна плавно опускается. Подъем и опускание носа, обуславливая дифферент судна, вызывают изменение угла атаки жестко закрепленного кормового крыла, в результате чего одновременно с носом (с некоторым сдвигом по фазе) и корма всплывает или опускается. Таким образом, нос судна целиком всплывает или опускается, следуя при своем движении за профилем волны, но с меньшей амплитудой вертикального перемещения центра тяжести.

Система Х. Гука получила в США некоторое распространение на морских СПК типа раздельных, прогулочных, спортивных и других небольших катеров. Недостатком этой системы является малая механическая прочность и большая вероятность повреждения следящего устройства.

С развитием электронных САУПК интерес к механическим системам снизился, и в течение относительно длительного периода (около 10 лет) совершенствованию их занимались мало. Но когда в результате анализа технико-экономической эффективности стало ясно, что применение сложных и дорогостоящих электронных САУПК во многих случаях не может быть оправдано, проектировщики СПК снова обратились к механическим системам. Так, в 1964 г. в Италии фирма «Редригес (г. Мессина)» начала серийную постройку небольших пассажирских морских СПК типа «Сифлайт», оборудованных механизированными управляемыми крыльями системы Пьеза.

Принцип действия управляемых крыльев по схеме Пьеза показан на рис. 5.20. Два раздельных носовых крыла, пересекающих свободную поверхность, укреплены на горизонтальных осях 2 и вместе с ними могут поворачиваться, изменяя тем самым угол атаки. В плоскостях стоек 3 к осям 2 прикреплены рычаги 4, свободные концы которых упираются в пружины 5. Натяжение пружины может регулироваться штурвалом 6. Под воздействием гидродинамических сил P (главный гидродинамический вектор) крыло стремится повернуться относительно оси 2, чему препятствует момент T пружины 5. Очевидно, что система будет находиться в равновесии при условии $P_1 = T_1$. Если это условие при движении нарушается, то система вступает в действие. Например, уменьшилась скорость движения. Следовательно, уменьшилась P , и условие равновесия превратилось в неравенство $P_1 < T_1$.

Поскольку T_0 больше P_1 , крыло начинает поворачиваться так, что угол атаки увеличивается. Это будет происходить до тех пор, пока подъемная сила на крыле не достигнет своего расчетного значения, т. е. когда наступит равенство $P_1 = T_0$. Таким образом, в системе Пьеза регулирование подъемной силы непосредственно связано с самым наименьшим ее значением. Процесс регулирования проходит в последовательности: изменение подъемной силы — изменение угла атаки, а не наоборот, как в системе Гука. Поэтому крылья Пьеза не всплывают при заминании их бортовой волки

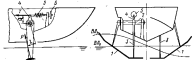


Рис. 5.20. Крыльцовое устройство Пьеза.

1 — подъемная крышка; 2 — ось наклона крыла; 3 — стойки крыла, шарнирные на ось 2; 4 — датчик поворота стоек крыла; 5 — рычажки; 6 — шарниры вертикальной оси.

и не погружаются при прохождении впадины волн, так как колебания подъемной силы (возрастание под вершиной волны и уменьшение под впадиной) снимаются соответствующим изменением угла атаки крыла. Крыло не следует за профилем волны, и тем самым исключает зарывание носа судна в волну, обеспечивает хорошую вертикальную стабилизацию с малой амплитудой вертикальной качки. Другим положительным свойством стабилизации по системе Пьеза с раздельными крыльями является поперечная устойчивость судна при движении лагом к волне (рис. 5.20, ВЛ₁). Это объясняется просто: одно крыло, находящееся под вершиной волны, отклоняется в корму с уменьшением угла атаки (подъемная сила будет уменьшаться), а другое — в нос с увеличением угла атаки (подъемная сила будет увеличиваться), и в результате судно стремится сохранить свое вертикальное положение. К преимуществам системы Пьеза следует также отнести следующие свойства:

легкий выход судна на крыльцовый режим без высокого «горба» сопротивления за счет больших углов атаки крыльев на малых скоростях;

подходящую остойчивость на полутон волнении, которую трудно обеспечить на судах со стационарными неуправляемыми крыльями;

надежность при достаточно простой конструкции.

В целом простая и надежная система управляемых крыльев Пьеза представляет практический интерес.

В 1966 г. в США было построено пассажирское СПК «Фланит Клеуд» (см. табл. 5.2) с механически управляемыми крыльями Роупера. Схема общего устройства этих крыльев приведена на рис. 5.21. Полностью погруженное крыло 2 снабжено поворачивающимся закрылком 4. На задней кромке крыльцовой стойки 1

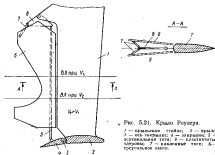


Рис. 5.21. Крыло Роупера.

1 — крыльцовая стойка; 2 — крыло; 3 — ось наклона; 4 — закрылок; 5 — вертикальная тяга; 6 — элеронный механизм; 7 — выжимная тяга; 8 — треугольное звено; 9 — выжимная тяга.

навешены пластинчатые элероны 6. Закрылок 4 и элероны 6 механически соединены между собой так, что поворот закрылка вызывает разрыв элеронов (в противоположные друг другу стороны) и наоборот. В состав элементов механической связи элеронов с закрылком входят вертикальная тяга 5, треугольное звено 8 и выжимные тяги 7.

При движении судна за закрылок и элероны действуют гидродинамические силы P_2 и P_3 , которые создают моменты, стремящиеся повернуть закрылок и элероны относительно своих осей: момент на закрылке, направленный на уменьшение угла атаки, $M_1 = P_2x$; суммарный момент на элеронах, стремящийся их сомкнуть, $M_2 = 2P_3a$.

По своему действию моменты противоположны, и система будет в равновесии при условии $M_1 = M_2$, которое определяет расчетное положение крыла по его углублению. Если по какой-то

причине подъемная сила крыла, например, уменьшилась и оно начнет погружаться, то сразу же, вследствие увеличения погруженной площади элеронов, возрастает момент M_2 , и элероны будут смываться. Смывание элеронов через элементы механической связи обусловит увеличение угла атаки закрылка и, следовательно, подъемная сила до тех пор, пока снова не наступит равновесие $M_1 = M_2$.

При замыкании элеронов гребнем волны они вследствие увеличения сил P_0 будут обливаться друг с другом, что вызовет перекладку закрылка на увеличение его угла атаки и, следовательно, подъемной силы крыла. Судно будет качаться. При проходе крыла через водную волну, наоборот, смоченная площадь элеронов уменьшится, уменьшится и сила P_0 , элероны будут расколоться, и последующее за этим увеличение угла атаки закрылка обусловит погружение крыла. Таким образом, крыло Рупера при движении в условиях волнения стремится следовать за профилем волны. Сложение крыла за профилем волны вследствие неидеальности системы и в зависимости от ее чувствительности идет со сдвигом по фазе волны и с другой амплитудой. Чувствительность системы и ее реакция на внешние возмущения зависят от формы элеронов, определяющих интенсивность и характер изменений их смоченной площади при испытании или погружении крыла, а также от кинематики механического привода, определяющей характер изменения соотношения значений углов отклонения элеронов и закрылка. При выбранных параметрах системы чувствительность ее будет зависеть от скорости движения.

С увеличением скорости гидродинамическая сила на закрылке растет быстрее, чем сила P_0 , вследствие большей эффективности подъемной силы C_p от угла атаки для подводного закрылка более крутой, т. е. она имеет больший угол наклона, чем угол наклона для вертикальных элеронов и вследствие того, что при испытании крыла смоченная площадь элеронов уменьшается. При уменьшении скорости, наоборот, подъемная сила закрылка падает быстрее, чем боковые силы P_0 , так как рабочая (смоченная площадь) элеронов увеличивается в результате погружения крыла. Таким образом, равновесие системы, выраженное условием $M_1 = M_2$, должно обеспечиваться при малых отклонениях закрылка на больших скоростях судна и при больших его отклонениях — на малых скоростях.

Форма элеронов, показанная на рис. 5.21, наилучшим образом отвечает выше отмеченным особенностям работы системы. Целесообразна она и для работы крыльями в условиях волнения. При расчетных значениях скорости и углубления крыла система будет обладать минимальной реакцией на волны небольшой высоты и повышенной реакцией при больших волнах. Последнее положен-

тельно сказывается на мореходности СПК, предотвращая удары крупных волн о корпус, но при повышенной реакцией системы на волновые возмущения увеличиваются вертикальные перегрузки, что отрицательно сказывается на обитаемости судна.

Управляемые крылья Рупера достаточно просты по конструкции и надежны в эксплуатации. К их недостаткам можно отнести повышенное сопротивление крыльевых стоек с отклоняющимися элеронами, а также неудовлетворительную поперечную остойчивость при ходе судна лавой к волне.

Вентилируемые крылья. Вентилируемыми называются крылья, подъемная сила которых через САУК регулируется подачей воздуха к их рабочей поверхностям. К засасывающей поверхности, т. е. в зону пониженного давления, можно подавать (самотеком) атмосферный воздух, а в зону повышенного давления, т. е. к магнететельной поверхности крыла, возможна подача лишь сжатого воздуха, что, конечно, представляется уже более сложной задачей практического осуществления аэрации крыла. Однако и на магнететельной поверхности крыла не исключены случаи возникновения давления (например, вод воздействием орбитальных движений частицы воды при полутьме волнении), когда оказывается полезным простой подвод атмосферного воздуха.

При подаче воздуха в разреженную зону давления у поверхности крыла возрастает до атмосферного, характер обтекания профиля меняется, и подъемная сила падает. Если воздух будет подведен к магнететельной стороне, подъемная сила крыла возрастает.

Изменение подъемной силы крыла при его вентилировании зависит от количества подаваемого воздуха, а также от места подведения (по хорде крыла) рядов воздухоподводящих отверстий. Необходимое количество подаваемого воздуха может быть оценено коэффициентами расхода воздуха

$$C_Q = \frac{Q}{S_p V}, \quad (5.9)$$

где Q — объем воздуха, расходуемый на вентиляцию, м³/с; S_p — площадь вентилируемой (аэрируемой) части крыла, м²; V — расчетная скорость судна, м/с.

Эксперименты в натурные данные показывают, что состояние полной аэрации или полного всасывания, когда достигается возможно максимальное смещение подъемной силы вентилированием, наступает при $C_Q = 0,0045$. При этом суммарная площадь отверстий, подводящих воздух, должна составлять не меньше 1% от вентилируемой площади крыла. Установлено также, что наиболее выгодным с точки зрения эффективности изменения подъемной силы является расположение ряда воздухоподводящих отверстий примерно на середине (по хорде) крыла. Однако при этом

существенно возрастает сопротивление, и поэтому постоянная или режимная подача воздуха для поддержания расчетного значения подъемной силы обычно осуществляется через задний ряд отверстий, а когда после повышения требуется дальнейшее уменьшение подъемной силы, включаются и передний ряд отверстий.

Принципиальная схема автоматического управления вентиляруемого крыла показана на рис. 5.22. В пустотелых стойках 10

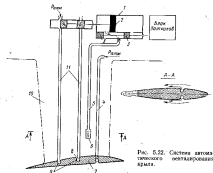


Рис. 5.22. Система автоматического вентиляруемого крыла.

и крыле 7 проложены воздушные трубопроводы 9 и 11, по которым через командно-исполнительные органы САУПК атмосферный воздух подводится к вентиляруемым участкам площади крыла. На труб 9 через часто расположенные небольшие отверстия воздух выходит в каналы 8, расположенные на засасывающей поверхности крыла. Скапливаясь в каналах, воздух относительно спокойным ровным слоем обтекает аэрируемую часть поверхности крыла. В стойках проложены также воздушные трубопроводы 5, концы которых соединяются с отверстиями 6 в стенках стойки. Отверстие 6 — это так называемый приемник рабочего давления сервоусилителей. Обтекающей стойку поток вследствие аэродинамического (отсасывающего) эффекта через отверстие 6 создает в трубопроводе 5 пониженное давление. Верхний конец этого трубопровода соединен с золотниковой коробкой пневмосервоусили-

теля 1. Под воздействием механических сигналов автоматической системы управления золотники 3 перемещаются и соединяют трубопровод 5 с левой или правой полостью рабочего цилиндра пневмосервоусилителя. В результате возникающей разности давлений в полости цилиндра (в одной полости атмосферное давление, а в другой, соединенной с трубопроводом 5, — пониженное) поршень 2 будет перемещаться влево или вправо, развивая достаточное усилие, чтобы открыть или закрыть клапаны А и Б, регулирующие подачу атмосферного воздуха к засасывающей поверхности крыла.

Пневмомеханика вентилярующего устройства отрегулирована так, что при расчетном положении крыла золотники сервоусилителя разобщают полость его цилиндра с трубопроводом 5. При этом клапан А открыт, и воздух непрерывно поступает на поверхность крыла через задний ряд отверстий. Если из блока датчиков поступит сигнал на дальнейшее уменьшение подъемной силы, то клапан А закрывается полностью, а затем открывается и клапан Б, пропуская атмосферный воздух и к переднему ряду отверстий. При сигналах датчиков на увеличение подъемной силы закрываются сначала клапан Б, а затем и клапан А. При полностью закрытых клапанах А и Б достигается максимальная подъемная сила (больше расчетной) теперь уже невентилируемого крыла. В состав пневмосистемы всего вентилярующего устройства входят воздушные трубы 4, через которые воздух подводится к датчикам с наветательной стороны крыла в случае, если давление на ней становится ниже атмосферного.

Для регулирования подачи воздуха в пневмомеханической САУПК используются достаточно надежные и простые датчики: маятники, гироскопы (чувствительные к угловой скорости), манометры статического давления, приборы для определения глубины погружения крыла и др.

Система воздушной стабилизации движения является весьма чувствительной к быстродействующей, так что она реагирует даже на короткие небольшие волны. По сравнению с механизированными крыльями с электронной САУПК вентиляруемые крылья имеют следующие преимущества:

крылья не имеют подвижных частей (закрылок) и, следовательно, являются более простыми по конструкции и надежными в эксплуатации;

блок датчиков управления состоит из более простых и надежных приборов;

малые усилия на передвижку золотников и клапанов воздушной системы позволяют обходиться без мощных гидравликов;

на вентиляруемых крыльях можно получить заметно большие скорости движения СПК в докватансионном режиме;

система в целом более простая, надежная, назного дешевле электронной и не требует особой квалификации экипажа судна.

К недостаткам вентиляруемых крыльев относятся следующие: повышенное сопротивление крыла (примерно на 5—6%), в результате чего скорость СПК с вентиляруемыми крыльями на той же воде меньше по сравнению со скоростью аналогичных судов, оборудованных обычными крыльями. Однако в условиях волнения благодаря уменьшению размахов качки и замыканию корпуса СПК с вентиляруемыми крыльями развивают большую скорость; увеличенная площадь вентиляруемого крыла на 1 т создаваемой подъемной силы по сравнению с обычными погружаемыми крыльями.

В настоящее время благодаря своим преимуществам вентиляруемые крылья получают распространение.

В дополнение к вышерассмотренному основному крылаку классификации подводных крыльев, по которому они разделены на различные конструктивные типы и в зависимости от способа регулирования (стабилизации) подъемной силы, можно назвать еще несколько признаков их классификации.

По способу крепления к корпусу судна подводные крылья разделяют на две группы:

неподвижные или жестко скрепленные с корпусом крылья. Это обычный, наиболее распространенный тип крыльев;

подвижные или убирающиеся крылья, которые крепятся к корпусом шарнирно (поворачивающиеся, откидные) или по какой-то другой подводной схеме крепления так, что могут убираться из воды (или прижиматься к корпусу). Это бывает необходимо в целях уменьшения габаритной осадки судна при подходе к порту или же для обеспечения движения судна в водонапорном режиме, когда движение на крыльях невозможно (мелководье, сильное волнение, аварийное состояние крыльев). По количеству крыльев стоек различают крылья на двух и большем количестве стоек и консольные крылья, крепящиеся на одной стойке.

По протяженности крыльях в поперечной плоскости судна различают жонкрыва, у которых основная рабочая часть расположена под корпусом, а размах больше ширины корпуса, и раздельные крылья, у которых основные рабочие площади расположены не под днищем, а за его пределами во внешнюю сторону от бортов. Раздельными бывают чаще носовые крылья, которые являются, по существу, отдельными самостоятельными крыльями, расположенными в одной поперечной плоскости судна.

По расположению крыльев по длине судна различают носовые, кормовые и средние крылья.

По назначению можно выделить следующие типы крыльев: основные несущие крылья, которые поддерживают судно в надводном положении в крыльевом режиме движения;

дополнительные или вспомогательные крылья. Это крылья (обычно расположенные в нос или корму от главного крыла), которые несут незначительную нагрузку и, по существу, выполняют роль стабилизаторов, обеспечивающих устойчивость движения СПК;

стартовые крылья, обеспечивающие выход судна на основной режим движения. В крыльевом режиме движения судна стартовые крылья находятся в надводном положении.

Крыльевые системы СПК

§ 5.4

Крыльевые системы СПК, как совокупность основных и вспомогательных крыльев, которыми оборудовано судно, характеризуются типом этих крыльев, их количеством, схемой расположения по судну и характером распределения массы судна в долях от водоизмещения по крыльям. Наряду с термином «крыльевые системы» употребляются также и другие: «крыльевой несущий комплекс» или просто «крыльевой комплекс», «крыльевая схема», «крыльевое устройство». Все эти термины практически синонимичны, хотя первым из них — «крыльевой комплекс» — скорее акцентирует внимание на гидродинамическую компоновку несущего комплекса, схеме расположения и распределения нагрузки, а последний больше используется, когда речь идет об инженерно-конструктивных решениях по устройству крыльев и их компоновке на судне, а том числе учитываются и материал крыльевых конструкций, и весовые показатели, и вопросы эксплуатационной приспособленности и надежности.

Гидродинамическое качество СПК, мореходность, устойчивость движения, а также технико-экономическая эффективность его как транспортной машины существенно зависят от совершенства крыльевой системы.

Более чем за 70-летний период развития СПК было запатентовано, разработано и испытано большое количество различных типов крыльевых систем. Многие из них так и остались в предложениях, другие — однажды опробованными, но ряд различных типов крыльевых систем получил или получает достаточное распространение и применяется на СПК серийной постройки.

Гидродинамическое качество крылатого судна в целом и его мореходность зависят не только от типа крыльев, но и от того, как они расположены под корпусом, как масса судна распределена по крыльям.

В зависимости от схемы расположения крыльев и распределения массы судна на них различают следующие основные типы крыльевых систем (рис. 5.33): самонесущая или стандартная система, в которой наибольшую нагрузку несет носовое крыло

($P_n > 0,65gD$, $P_n < 0,35gD$); система «амбидо», характеризующаяся примерно равномерным распределением массы судна по крыльям ($P_n \approx P_n \approx 0,5gD$); система «чирок», в которой главным является кормовое крыло ($P_n > 0,65gD$, $P_n < 0,35gD$).

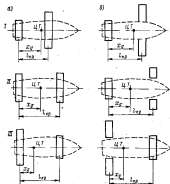


Рис. 5.23. Основные схемы расположения крыльев: а — сплошное крыло; б — раздельные крылья.

I — амбидо $0,45 < \frac{x_g}{l_{кп}} < 1$; II — амбидо $0,1 < \frac{x_g}{l_{кп}} < 0,45$

III — чирок $0 < \frac{x_g}{l_{кп}} < 0,15$.

Иногда выделяют так называемую «неравномерную» систему «амбидо», в которой нагрузка, приходящаяся на носовое крыло, лежит в пределах $0,5gD < P_n < 0,65gD$, а на кормовое — в пределах $0,35gD < P_n < 0,5gD$.

Все эти системы могут состоять из любых конструктивных типов сплошных или раздельных крыльев. По гидродинамическому качеству в случае использования сплошных крыльев преимущество имеет самолетная схема, поскольку главное несущее (носовое) крыло имеет большой размах и работает в свободном



Рис. 5.24. Схема крыльцевого устройства гонимой «Метеора». 1 — носовое крыло; 2 — стартовое крыло; 3 — кормовое крыло.

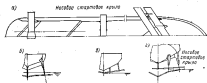


Рис. 5.25. Схема крыльцевого устройства гонимой «Бувеетанк». а — крайнее в плане; б — кормовое крыло; в — среднее крыло; г — носовое крыло.

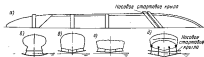


Рис. 5.26. Схема крыльцевого устройства гонимой «Бувеетанк»: а — крайнее в плане; б — кормовое крыло; в, г — среднее и носовое крылья; д — носовое крыло.

вотике. При раздельных крыльях ни одна система не имеет особых преимуществ, но по мореходным качествам предпочтительной может оказаться система скулки (см. § 7.3).

Крыльцовая система по самолетной схеме распределения нагрузки была впервые применена на катере, спроектированном под руководством немецкого инженера О. Тильера. Главное несущее крыло дугообразной формы размещалось немного впереди центра тяжести судна и несло на себе нагрузку до 90%. Корневое крыло катало, во существу, роль стабилизатора. Эксплуатация катера показала его недостаточную продольную остойчивость, особенно при ходе на волнении. Поэтому на современных СПК с самолетной схемой расположения крыльев носовое крыло проектируют на относительно меньшую нагрузку 0,65—0,7D, удаляя его от ЦТ.

Расположение крыльев по системе скулки в настоящее время получает распространение на морских КПК с глубоководными автономически управляемыми крыльями.

Расположение крыльев по системе «стандарт» имеет большинство морских зарубежных пассажирских СПК с полупогруженными крыльями Г. Шерда и отечественных СПК с малопогруженными крыльями. Крыльцовые схемы некоторых отечественных судов приведены на рис. 5.24, 5.25, 5.26. Характеристики основных элементов этих систем приведены в табл. 5.1.

РАЗВИТИЕ СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Глава 6

Начальный период развития СПК

§ 6.1

Первый патент на судно с подводными крыльями был выдан в 1891 г. во Франции Ламберту. В 1898 г. Ламберт построил паровую лодку, по бортам которой было установлено по четыре небольших плоских крыла-пластины. Испытания, проведенные на реке Сене, подтвердили справедливость идеи получения более высоких скоростей на судах с подводными крыльями, хотя корпус лодки не полностью отрывался от воды, а само движение лодки не было устойчивым.

Значительно больших успехов добился итальянский инженер Форалани. В 1898 г. он запатентовал подводное крыло этакерного типа, а в 1906 г. построил катер водоизмещением 1,65 т с двигателем внутреннего сгорания мощностью 55 кВт. На ходу корпус катера полностью отрывался от воды. При достаточно устойчивом режиме движения катер развивал скорость 46 уз.

Два других итальянских инженера, Крокко и Рикальдонни, в 1906 г. построили и испытали катер с двумя V-образными, перекрывающими свободную поверхность подводными крыльями, расположенными в носу и корме по схеме «стандарт». Катер имел водоизмещение 1,5 т, мощность двигателя 58 кВт и развивал скорость до 48 уз. В качестве движителей были использованы воздушные винты.

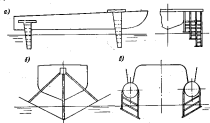


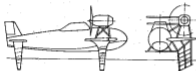
Рис. 6.1. Крыльцовые схемы по изобретению: а — Форалани; б — Крокко; в — Гандони.

Разработкой подводных крыльев много занимались инженери-авиаконструкторы, пытавшиеся применить их на гидросамолетах для облегчения взлета и посадки. Здесь можно назвать упомянутых Крокко и Рикальдонни, американцев — братьев Райт и Рихардсона, итальянца Гандони и др. (рис. 6.1).

Большая заслуга в деле развития и совершенствования судов на подводных крыльях принадлежит известному американскому изобретателю Грэхму Беллу и канадскому инженеру Кэю Боудину. В 1907 г. они купили патент Форалани на судно с этакерными крыльями и, совершенствуя эту схему в течение 12—15 лет совместной работы, построили и испытали целый ряд различных судов на подводных крыльях, составивших серию, названных авторами «Хайдро-дрюэус» (HD). Наиболее совершенным из этой серии является судно HD-4, построенное и испытанное в 1919 г. в Канаде (рис. 6.2). При водоизмещении 5 т с двумя автономными двигателями по 257 кВт, с воздушными толкающими винтами, HD развивало скорость около 61 уз. Такая скорость долгое время оставалась рекордной для СПК.

В период 1916—1939 гг. в США под руководством Болдуина и Родеса — участники проектирования *HD-4* было построено 12 судов на подводных крыльях водоизмещением до 3 т. Эти суда в основном с крыльевой системой Белла—Болдуина строились как опытные суда для суда спортивного назначения. Наибольший интерес представляют суда *HD-12* и «Макс ЮС-3». На последнем (водоизмещение 3 т, мощность 478 кВт, эластичные крылья) была достигнута скорость около 80 уз.

В конце 20-х — начале 30-х годов послевоенные и опытно-конструкторские работы по созданию мореходных судов на подводных крыльях проводилась в Германии. В отличие от канад-

Рис. 6.2. Схема *HD-4*.

ских и американских судостроителей, разрабатывших схему Фердинанда (суда с эластичными крыльями), немецкие специалисты пошли по линии развития и совершенствования принципов, заложенных в схеме Крюкко. Больших успехов добились Ганс Шертель.

Для СПК Шертели характерно применение крыльев, пересекающих свободную поверхность (V-образные и трапециевидные с глубоководной плоской частью) и расположенных по схеме «стандарт».

Наряду с крыльевой системой Шертеля в предвоенные годы и во время войны в Германии разрабатывались и практически внедрялись самолетная схема, предложенная в 1933 г. О. Титенсом.

Необходимо отметить, что постройка судов на подводных крыльях до середины 30-х годов велась без достаточно обоснованных теоретических расчетов, что, несомненно, отрицательно сказывалось на практике внедрения этих судов. Важным этапом в развитии СПК явились организация и проведение систематических научных исследований, разработка теоретических основ проектирования СПК.

Большая заслуга в этом плане принадлежит Гамбургскому опытовому бассейну, где под руководством Зотторфа в 30-х годах проводилась серия модельных испытаний подводных крыльев,

результаты которых и были использованы Шертелем в основу проектных разработок и создания промышленных образцов СПК. В эти же годы систематические исследования особенностей движения проходились в Советском Союзе.

Послевоенный период развития СПК за рубежом

§ 6.2

После второй мировой войны развитие судов на подводных крыльях до настоящего времени шло быстрыми темпами. Уже в конце 50-х и первой половине 60-х годов в ведущих капиталистических стра-

Таблица 6.1

Основные проектные характеристики судов фирмы «Супримар»

Тип судна	Год постройки	Площадь водозащитной поверхности, м ²	Количество вентилей марше	Главные размеры, м				Скорость судна, уз	Тип, количество и вместимость пассажирских мест	
				Длина надводная	Ширину		Средняя глубина			
					марше	по крыльям	на входе			на выходе
PT-20	1956	32	70	20,7	5,0	8,1	3,1	1,4	34	Двухместный (х 1000)
PT-50	1959	63	140	~28	5,8	10,5	3,6	1,5	35	Двухместный (х 1000)
Катер «Макс-ор III»		4,4	17	11,5	3,2	4,3	1,45	0,57	34	Беспалубый двухместный (х 220)
PT-150 ДС	1960	150	150+8 авто-мобиль	37,5	7,5	16,0	5,4	2,5	49	Двухместный (х 3000)

на были созданы рентабельные речные и морские пассажирские СПК серийной постройки, которые в настоящее время имеют весьма широкое распространение.

Ведущее место в создании транспортных СПК и Западном Европе заняла известная швейцарская фирма «Супримар», проектно-теоретическая группа которой возглавлялась Г. Шертелем. Фирма «Супримар» и основано разработала морские пассажирские суда. Наиболее удачными, построенными по проекту этой фирмы, являются суда PT-20, PT-50 и PT-150 ДС (табл. 6.1). Суды по проектам фирмы «Супримар» получили широкое распространение во многих странах, так как строительство их велось по лицензиям фирмы Италии, Норвегии, Японии. Характерные конструктивные особенности этих судов следующие:

пересекающие поверхность воды V-образные крылья с переменной кривизной;

гидролизирующая форма обводов корпуса;

двигательные энергетические установки с передачей мощности на гребные винты через наклонные валопроводы.

Большая работа по созданию СПК проведена объединенной англо-голландской фирмой «Аквацион», по проектам которой в Голландии, Англии и других странах строились мореходные пассажирские катера различных типов водоизмещением от 1,5 до 10 т. Наиболее крупные и интересные суда, созданные этой фирмой, — суда типа «Аквастроль» (рис. 6.3). Первые два судна этого типа были спущены на воду и испытаны в 1957 г. Испытания и эксплуатация судов типа «Аквастроль» показали высокую мореходность принятой крыльевой системы. Подъемная сила на носовых гидроструйных крыльях в случае их полного погружения резко возрастает, что предотвращает зарывание судна носом. На длинной волне скользкие носовые крылья, обуславливая соответствующий дифферент корпусу (а тем самым и соответствующий угол атаки главного крыла), обеспечивают движению судна, при котором траектория его ЦТ повторяет профиль волны; острые доминирующие гребни высоких волн при этом срезаются носовыми крыльями. На коротких волнах (меньше двух длин корпуса) носовые крылья, зарываясь в гребни волн, имеют тенденцию «прыгать», тему, однако, прелетствует корызовое крыло-стабилизатор. Динамические перегрузки, возникающие на носовых крыльях, смягчаются установленными на стойках амортизаторами.

В начале 50-х годов СПК стали создаваться и в ФРГ. В 1956 г. в Гамбурге был спущен на воду и испытан экспериментальный катер ($D = 3,5$ т, $L = 10$ м, $N = 2 \times 66$ кВт), построенный по проекту Венделя. Катер был оборудован тремя отдельными глубокопогруженными автоматически управляемыми крыльями: два симметрично расположенных относительно ЦТ носовых крыла и одно корызовое типа «бифлап» (рис. 6.4). Под руководством Венделя была разработана серия оригинальных проектов СПК водоизмещением до 1000 т с различными вариантами крыльевых систем с глубокопогруженными крыльями.

В конце 60-х — начале 70-х годов проектные разработки и строительство СПК стали вести фирмы Италии, накопившие опыт постройки СПК по лицензиям «Супрамар», фирмы Франции, Норвегии и других стран.

Широкие по масштабу работы по созданию судов на подводных крыльях проводятся в США. В первые послесовенные годы строительство СПК в США велось независимо отдельными частными предпринимателями и фирмами, проводились экспериментально-теоретические исследования, связанные с созданием СПК. Во второй половине 50-х годов интерес к СПК в США

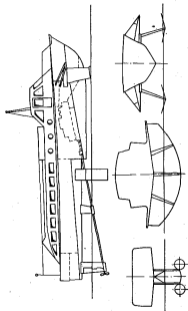


Рис. 6.3. Схема СПК типа «Аквастроль» (Голландия).

заметьно возрос. К этому времени были всесторонне испытаны экспериментальные катера разных типов, что позволило заметить направление дальнейших экспериментально-поисковых работ по созданию мореходного СПК.

Американские СПК, построенные и проектируемые в период 60-х годов, отличались от европейских судов типом крыльев (в основном раздельные глубоководные управляемые крылья

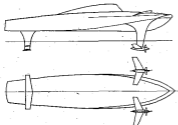


Рис. 6.4. Схема катера Веллеса с двумя раздельными глубоководными управляемыми крыльями.

вместо монокрыльев, пересекающих свободную поверхность воды), их креплением к корпусу (убирались вместо жестко прикрепленных неподвижных крыльев) и профилировкой, формой корпуса, мощностью и типом энергетических установок (мощные газотурбинные двигатели вместо дизелей ограниченной мощности), способом передачи мощности к двигателю (колонки вместо наклонных гребных валов), применением суперкапитизирующих пилотов, водометных вспомогательных двигателей и других особенностей. Все эти особенности нашли отражение на СПК «Деннисон» (рис. 6.5), (табл. 6.2).

Корпус СПК «Деннисон» — остроконечный, безреданый, со значительной килеватостью в носу, сильно зауженный в корме. Это обеспечивает хорошую мореходность при движении в водоподъемном положении и облегчает выход на крыльевую режим. Крыльевая система с симметричной трехточечной схемой распределения нагрузки состоит из двух раздельных подъемно-поворотных крыльев, пересекающих свободную поверхность воды и кормового глубоководного крыла, укрепленного на одной стойке за

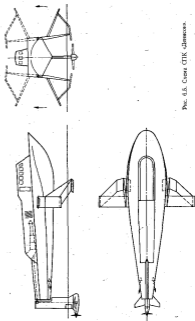


Рис. 6.5. Схема СПК «Деннисон».

Основные характеристики СПК и КПК

Характеристика	«Сал уикенд»	«Дюссель»	«Эль Паист»	«Виктория»
Год постройки	1989	1982	1983	1984
Назначение	Экспериментальный	Экспериментальный	Опытный корабль	Пассажирский (75 человек)
Водоизмещение, т	1,2	95	128	38
Длина наибольшая, м	7,1	32	35,3	20
Осадка габаритная на киле (по крыльям), м		4,7	4,8	4,3
Килек, м		1,5	1,3	1,5
Тип главных двигателей	ГТД	ГТД	ГТД	ГТД
Мощность, кВт	1×772	1×10 300	2×2794	2×680
Скорость, уз:				
на тихой воде	60	62	48	40
на волнении		~45	~35	~37
Маневренность (высота волны), м	0,5	~2,5	~2,5	~1,7
Тип крыльев	Среднее ЗУ Корытце ПП	Среднее ЗУ Корытце ПП	Носовое ПП Корытце ПП	Носовое ПП Корытце ПП
Схема расположения киля по крыльям	Самолетная	Самолетная	«Утка»	«Утка»
Тип САМПК	—	Электронная	Электронная	Электронная
Способ (органы) управления движением судна	Вентилирование	Закрытие, корытце полноворотные	Закрытие	Закрытие
Тип главных двигателей	СК гребной винт	СК гребной винт	Гребные винты	Гребные винты

Примечание. Прокеты следующие условные обозначения: ПП — обычные киля; СК — судореструктуризация; ВРШ — киль ретрактируемого типа; ГТД — турбо

Таблица 6.3

Ферм США (1965—1974 гг.)

«Ферма Калле»	«Ферма»	«Подводные»	«Турбокрыль»	«Фермастрей»	«Сенс»
1965	1966 (построено в ФРГ)	1967	1968	1969	1974
Пассажирский (70 человек)	Пассажирский (88 человек)	Экспериментальный	Артиллерийский сторожевой катер	Артиллерийский сторожевой катер	Рыбный катер
20	60	321	87	60	235
18,9	22,8	67,2	21,8	22,8	40
2,3	4,1	7,0	4,55	4,1	7,2
0,7	1,6	2,5	1,8	1,6	
ГТД	ГТД	ГТД	ГТД	ГТД	ГТД
1×809	1×2650	2×10 300	1×3125	1×2650	1×10 300 2×1100
35	50	80	45	48	50
~30	~45	45	~40	~42	43
1,2	~2,5	~4,5	~2,5	~2,5	До 3,5
Среднее ЗПП	Среднее ЗПП	Среднее ЗПП	Носовое ПП	Среднее ЗПП	Носовое ППК
Корытце ПП	Корытце ПП	Корытце ПП	Среднее ЗПП	Корытце ПП	Корытце ППК
Самолетная	Самолетная	Самолетная	«Утка»	Самолетная	«Утка»
Наскальная	Электронная	Электронная	Электронная	Электронная	Электронная
Закрытие	Полноворотные ПК	Полноворотные ПК	Закрытие	Полноворотные ПК	Закрытие
Гребной винт	ВРШ	СК гребные	Водометы	ВРШ	Водометы

Водометные крылья; килем У обозначен У-образный киль; ППК — глубинностружко-турбинный двигатель.

транцем; кормовое крыло также выполнено поворотно-подъемным. Нижние плоскости носовых крыльев снабжены автоматически регулируемым закрылками. Регулирование подъемной силы кормового крыла осуществляется автоматически поворотом всего крыла. Мореходные качества СПК «Денисов» признаны мало удовлетворительными: судно сохраняет скорость 30 уз при высоте волн до 2,5 м, но при этом вертикальные ускорения в ЦТ судна достигают 0,5g.

В качестве главного двигателя на СПК «Денисов» установлена газовая турбина мощностью 10 300 кВт. Передаваемая на суперкавитирующий винт полезная мощность обеспечивает судно скоростью свыше 60 уз (при испытании судно развило скорость 62 уз). При установке суперкавитирующих крыльев и полной мощности 10 300 кВт скорость судна достигает 80 уз. Для хода в режиме авлаплин судно оборудовано вспомогательным газотурбинным двигателем мощностью 735 кВт, работающим на два водовода с выбросом под воду. Скорость вспомогательного хода — 11 уз.

Через год после спуска СПК «Денисов» на воду был спущен опытный малый противолодочный корабль «Хай Пойнт» (см. табл. 6.2).

В период 1964—1966 гг. различными фирмами США были построены пассажирские мореходные СПК «Виктория», «Фланиг Клауд» и «Дельфин» (см. табл. 6.2). Это небольшие суда, но все они оборудованы автоматическим управлением полностью погруженными крыльями и газотурбинными энергетическими установками. На «Фланиг Клауд» применена самолетная трехточечная крыльевая схема, два передних крыла которой оборудованы системой стабилизации Роупера.

«Дельфин» также имеет трехточечную крыльевую систему самолетного типа с глубокопогруженными подъемными крыльями, но система автоматической стабилизации движения СПК — электронная. Передача мощности к винту регулируемого шага ВРШ на СПК «Дельфин» осуществляется через полноворотную угловую колонку-стойку крыла, а на «Флажиг Клауд» — через V-образный редуктор и наклонный вал.

В отличие от этих двух судов СПК «Викторина» имеет крыльевую схему типа «утка». САУПК — электронная, с закрылками. Передача мощности на гребные винты — Z-образная.

Из всех трех вышеупомянутых пассажирских СПК наиболее совершенным, очевидно, является «Дельфин»: судно обладает значительно большей скоростью и лучшей мореходностью, его САУПК тщательно отработана в аспекте надежности и безаварийности эксплуатации.

По результатам опытной эксплуатации многие специалисты отдают предпочтение крыльевой схеме «утка» и подводным двигателям. По ряду показателей мореходности и устойчивости дви-

жения схема «утка» действительно имеет ряд преимуществ (см. § 7.3).

Преимущество использования водометов вместо гребных винтов заключается в возможности отхода от дорожек и сложных Z-образных передач и в уменьшения подводного шума.

В первой половине 70-х годов в США и некоторых западноевропейских странах разработаны ряд проектов мореходных транспортно-пассажирских и других судов, в том числе и проекты океанских КПК

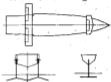


Рис. 6.6. Схема крыльевой установки на КПК «Пегас».

многоцелевого назначения водоизмещением до 5000 т. При разработке многих из этих проектов в качестве прототипа был принят катер «Тукумжерн». В 1974 г. в США был построен КПК «Пегас» водоизмещением 235 т. Как и на «Тукумжерн», на нем использована крыльевая система с ГПК (глубокопогруженными крыльями), расположенными по схеме «утка». Но в корме у него поставлено монокрыло, убирающееся поворотом к корме вокруг горизонтально-поперечной оси. Крыльевая схема КПК «Пегас» показана на рис. 6.6, общие данные приведены в табл. 6.2.

Отечественные СПК

§ 6.3

Практические работы по созданию судов на подводных крыльях в Советском Союзе начались в годы Великой отечественной войны в 1941—1946 гг. В 1943 г. по проекту Р. Е. Алексеева был построен опытный катер на мелкопогруженных крыльях с регулируемой подъемной силой в период всплытия поворотом носового крыла посредством ручного привода. Испытания катера, в целом давшие положительные результаты, показали, что ручное регулирование подъемной силы, требующее специальной подготовки водителя, является малоудачным способом обеспечения устойчивости судна при выходе на крыльевой режим; к тому же и конструкция крыла при выходе из подводного устройства с поворотным крылом была достаточно сложной. Начались поиски и отработка более простой и надежной крыльевой схемы с мелкопогруженными крыльями. Это были поиски принципиально новой крыльевой системы, единственно пригодной для речных условий системы, которая не была создана за рубежом.

Большой объем экспериментальных работ по созданию серии оптимальных профилей для малопогруженных крыльев, профилей стоек, отдельных узлов крыльевых устройств, гребных винтов, крыльевых схем и обводов корпуса дан Р. Е. Аляхоску необходимый материал для дальнейшего и успешного развития работ по созданию судов на подводных крыльях.

В период 1945—1948 гг. и в последующие годы было построено несколько опытных катеров, на которых обрабатывалась крыльевая система с малопогруженными крыльями.

Накопленный опыт эксплуатации экспериментальных образцов СПК в обобщение результатов большого объема исследований позволили перейти к разработке технических проектов и строительству головных образцов серии речных и морских пассажирских судов на подводных крыльях, многие из которых получили в настоящее время широкое распространение в Советском Союзе, а также и в зарубежных странах. К числу таких СПК крупнотоннажной постройки относятся речные теплоходы «Ракета» и «Беларусь», катер «Волга», теплоход «Метеор», морской теплоход «Комета». Кроме этих СПК в период 1961—1964 гг. были построены аэриный теплоход «Спутник», речной пассажирский теплоход «Чайка», морской теплоход «Вихрь», аэриный газотурбоход «Буравистник», речной теплоход «Восход».

Основные сведения по СПК приведены в табл. 6.3. Подробные сведения об этих судах приведены в [33].

В 1961 г. на Черном море начал эксплуатироваться первый в СССР морской СПК «Стрела». Крыльевая система этого теплохода состоит из двух V-образных, пересекающих свободную поверхность крыльев, расположенных по схеме «стандарт». Теплоход может сохранять крыльевый режим движения при волнении до 4 баллов. Теплоход двухвинтовой. При мощности $N_{\Sigma} = 2 \times 735$ кВт крейсерская скорость на тихой воде составляет 38 уз. Водоизмещение судна — около 63 т, пассажировместимость — 90 человек. Всего было построено два таких судна.

В 1967 г. было построено два морских пассажирских катера типа «Явка». В период 1968—1969 гг. катера проходили опытно-эксплуатационную целесообразность серийной постройки таких катеров для использования их на прибрежно-морских местных пассажирских линиях протяженностью до 85 морских миль.

Крыльевое устройство катера, состоящее из двух полупогруженных крыльев, пересекающих свободную поверхность (восходящее V-образное с переменной кривизной, кормовое — трапециевидное), обеспечивает быстрый выход на крыльевой режим, хорошую мореходность и маневренность. При ходе катера на трех-балльном волнении (высота волн до 1 м) пассажиры практически не ощущают никаких перегрузок.

Как особенность катера «Явка» следует отметить Z-образную схему передачи мощности от двигателя к гребному винту, осуществляемую с помощью угловой колонки ДК-300. Корпус катера стеклопластиковый.

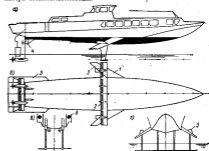


Рис. 6.7. Схема общего вида и крыльевого устройства пассажирского газотурбохода «Тайфун»: а — общий вид; б — схема расположения крыльев (план); в — носовое крыльевое устройство; г — носовое крыльевое устройство; д — шарнир носового крыла; е — носовое крыло; ж — гребная колонка; з — корпус раздвижного станда; 4 — колонка с гребным винтом для вида СПК в подвешенном состоянии; 2 — бортовой режущий для раздвижения газотурбохода; 3 — труба газотурбохода.

В 1972 г. был построен морской пассажирский газотурбоход «Тайфун» (рис. 6.7). Это первый в нашей стране пассажирский газотурбоход на управляемых подводных крыльях. «Тайфун» — быстрходное коэфортное судно, обладающее высокими эксплуатационно-мореходными качествами, предназначенное для экскурсионных линий на Балтике.

Крыльевой комплекс газотурбохода «Тайфун» состоит из двух глубокопогруженных крыльев, расположенных по симметричной схеме. Регулирование подъемной силы осуществляется с помощью поворотных закрылков, управляемых электронной автоматической системой. На носовом несущем крыле установлено восемь закрылков, разделенных по автономности управления на четыре группы, а на кормовом — четыре закрылка, разделенных на две

МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СПК

Глава 7

Выход на крыльевой режим и сопротивление воды движению СПК

§ 7.1

Рассмотрим кривую сопротивления воды движению СПК (рис. 7.1, а). По своему характеру изменения этой скорости она заметно отличается от аналогичной кривой для подводмещающего

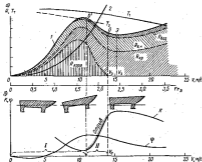


Рис. 7.1. Режимы движения СПК и его гидродинамические характеристики: а — кривые сопротивления и тяги движущей R и $T = f(V)$; б — кривые тяги и угла дифферента K и $\varphi = f(V)$.

1 — кривая полного сопротивления СПК; 2 — кривая сопротивления подводмещающей части; 3 — режим отрыва корпуса от воды.

судна. Из сравнения кривых видно, что на высоких скоростях сопротивление СПК существенно меньше и с дальнейшим ростом скорости оно увеличивается медленнее, чем сопротивлению подводмещающего судна. Это объясняется тем, что полное сопротивление СПК и крыльевой режимы движения весьма незначительно, а у подводмещающих судов на сравнительных скоростях оно достигает 40% и более. В этом состоит основное преимущество СПК

по сравнению с подводмещающими судами. В то же время на относительно малых скоростях при $Rg = 1,0-1,5$ сопротивление СПК заметно выше, и здесь эти суда явно уступают судам плавающего типа. В данном диапазоне скоростей под действием гидродинамических сил, возникающих в носовой части корпуса и на передних крыльях, судно дифференцируется на корму, что обуславливает неблагоприятное обтекание корпуса с образованием больших волн. В результате на кривой $R = f(V)$ возникает так называемый «горб» сопротивления, затрудняющий выход судна на крылья.

Процесс выхода СПК на крылья условно можно разделить на два режима (рис. 7.1, а, б). Первый — всплывание, относящийся к скоростям движения судна, на которых подъемная сила крыльев еще мала. Заканчивается этот режим моментом выхода судна на носовое крыло, когда киль дна над носовым крылом отрывается от воды, и судно с заметным углом дифферента φ движется на носовом крыле и дна корпуса. Момент выхода судна определяется «горбом» кривой буксировочного сопротивления (точка А').

Второй режим — переходный (или режим отрыва), при котором с повышением скорости судна и в результате увеличения угла атаки кормового крыла (вследствие дифферента судна на корму) подъемная сила его быстро возрастает и весь корпус выходит на воду (точка Б). С этого момента начинается чистый крыльевой режим движения СПК. Формально этот чистый крыльевой режим движения судна начинается со скорости $V_{кр}$, при которой сопротивление воды движению СПК минимально, а гидродинамическое качество имеет наибольшее значение. Скорость эта называется экономичной.

Время и длина пути разгона (от начала движения при $V = 0$ до скорости отрыва корпуса от воды $V_{кр}$) являются важнейшими эксплуатационными (тактико-техническими) характеристиками СПК. Они зависят от типа крыльев и совершенства крыльевой системы в целом, от формы корпуса, наличия выступающих частей, мощности и тяги движителей, а также от состояния поверхности воды (тихая, изволнобоянная).

За основу аналитического определения этих характеристик принимают известное уравнение поступательного движения твердого тела (в данном случае судна)

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv}{dt} &= T - R; \\ \frac{dL}{dt} &= V. \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

где V — скорость судна, м/с; T — тяга движителей, Н; R — буксировочное сопротивление, Н; m — масса судна, кг; L — длина пути разгона, м.

Из уравнения (7.1) находят

$$\left. \begin{aligned} dt &= \frac{m dV}{T-R}; \\ dL &= V dt = \frac{mV dV}{T-R}. \end{aligned} \right\} (7.2)$$

Если уравнения (7.2) проинтегрировать в пределах от нуля до V_0 , получим

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= m \int_0^{V_0} \frac{dV}{T-R}; \\ L_0 &= m \int_0^{V_0} \frac{V dV}{T-R}. \end{aligned} \right\} (7.3)$$

Здесь V_0 — скорость судна в момент выхода его на крылья, м/с; t_0 — время разгона судна из положения «стоя» до скорости отрыва корпуса от воды V_0 ; L_0 — длина пути разгона, м.

Величины t_0 и L_0 по уравнениям (7.3) можно найти табличным интегрированием, для чего необходимо располагать кривыми сопротивления воды и тяги двигателей в зависимости от скорости.

Формулы (7.3) при анализе интегральных выражений позволяют сделать следующие выводы:

при небольшой положительной разнице $T - R$ время выхода судна на крылья может затянуться, а длина пути разгона L_0 увеличиться;

характеристики t_0 и L_0 улучшатся, т. е. уменьшатся, если снизить значение величины скорости отрыва V_0 .

Эти выводы, подтвержденные практикой, имеют исключительно важное значение для проектирования СПК.

Скорость полного отрыва корпуса от воды находится в обратной зависимости от подъемной силы крыльев; чем больше подъемная сила, тем меньше скорость отрыва. Следовательно, для увеличения скорости отрыва и для уменьшения пути разгона необходимо увеличивать подъемную силу, что может быть достигнуто путем увеличения коэффициента подъемной силы C_p или площади крыльев, или одновременно и того и другого. Однако следует иметь в виду, что увеличением площади крыльев и C_p ведет к увеличению сопротивления, к росту «горба» на кривой сопротивления, для преодоления которого необходим большой резерв мощности главных двигателей.

Наличие «горба» на кривой сопротивления в районе скоростей, соответствующих переходному режиму, обуславливает наибольшие трудности в обеспечении выхода судна на крылья. Особенно «горб» проявляется при старте судна в условиях волнения. Со-

противление здесь оказывается максимальным, и требуется значительный упор двигателя для его преодоления. Может оказаться так, что, например, общий гребной винт, рассчитанный на крыльевом режиме движения судна с высокой скоростью, не обеспечит необходимой тяги в районе «горба» (см. рис. 7.1, а, кривая T_1), и тогда судно не сможет выйти на крылья. В этом случае необходимо или увеличить мощность двигателя (хотя она и была достаточна для обеспечения хода на крыльях) и подобрать (снять) другой вариант гребного винта с характерной кривой, обеспечивающей положительную избыточную разницу $T - R$ в районе «горба» сопротивления (рис. 7.1, а, кривая T_2), или же устанавливать винт регулируемого шага (ВРШ), который дает возможность подогнать необходимую тяговую характеристику двигателя без увеличения мощности, определяемой потребностью обеспечения хода судна на расчетной скорости при крыльевом режиме движения.

В конце режима всплытия мощность двигателя расходуется не только на преодоление «горба» сопротивления, но и на придание ускорения судну. Поэтому желательно иметь определенный резерв мощности в любых случаях, т. е. при разных типах двигателей и крыльевых системах, но при этом следует помнить, что простое увеличение мощности двигателя без тщательного подбора необходимой характеристики двигателя положительными результатами может не дать.

Увеличение подъемной силы в стартовой фазе движения судна, при малых скоростях, легко достигается на управляемых крыльях (путем изменения углов атаки). Поэтому суда, оборудованные управляемыми крыльями, имеют относительно иную скорость полного выхода на крылья и, следовательно, малый путь стартового разгона. При этом кривая сопротивления имеет резко выраженный (увеличенный) «горб» и для преодоления его требуется иметь значительный резерв мощности (>25% мощности номинального хода) или же устанавливать ВРШ. Для судов, оборудованных неуправляемыми крыльями, пересекающими свободную поверхность, характерна более пологая кривая сопротивления без резко выраженного «горба» сопротивления. Полный отрыв корпуса от воды у этих судов происходит на высоких скоростях, составляющих примерно 80–85% экономической скорости V_0 , и путь разгона значительный.

Относительно суда, оборудованные крыльевыми системами с малонагруженными крыльями, имеют специальные стартовые крылья (или пластинки), которые обеспечивают необходимую подъемную силу на малых скоростях и при умеренном резерве мощности ($\Delta N < 0,15N_0$) с обычными гребными винтами относительно быстро выходят на крыльевый режим при малом пути разгона. Скорость отрыва для теплохода «Ракета» составляет 22–23 уз,

движении, устойчивость называют статической или динамической. При статической устойчивости предполагается очень медленный, постепенный выход судна из состояния равновесия установившегося движения. При динамической устойчивости, наоборот, внешние возмущающие силы воздействуют внезапно.

Внешние возмущающие силы могут проявляться в виде удара волн, воздействия ветра (постоянно дующего или скачкообразного характера), срыва подсосной силы крыла вследствие его атаки или кавитации, центробежной силы на циркуляции и, возможно, в других видах, обусловленных или особенностями эксплуатации, или же аварийной ситуацией.

Следствием потери продольной устойчивости может быть срыв крыльцевого режима движения, а при потере поперечной устойчивости не исключено и опрокидывание судна. Поэтому при проектировании СПК большое значение имеет проработка вопроса их устойчивости. Особенно важно рассмотрение этих вопросов при проектировании морских СПК, эксплуатирующихся в водах в тяжелых метеорологических условиях и подвергающихся воздействию значительных возмущающих внешних сил.

Воздействие сил на крылья пловца судна является сложным динамическим процессом. Однако основные вопросы устойчивости практически точно решаются в квазистационарной постановке задачи.

Рассмотрим некоторые виды статической устойчивости.

Поперечная статическая устойчивость. Поперечная статическая устойчивость СПК зависит от типа крыльев, их расположения относительно диаметральной плоскости судна, изгибам погружения, скорости, положения ЦТ судна по высоте.

В отличие от судов водовозвещающего типа при крене СПК, как правило, возникает дрейф, вследствие чего появляются силы сопротивления дрейфу выступающих частей (крыльцевые стойки, рули и др.) В общем случае полный восстанавливающий момент M для движущегося СПК в наклонном положении может быть записан в виде

$$M = M_{\text{в}} + M_{\text{с}} + M_{\text{р}} + M_{\text{с.к.к.}} + M_{\text{с.к.д.}} \quad (7.5)$$

где $M_{\text{в}}$, $M_{\text{с}}$ — восстанавливающие моменты, создаваемые носовым и кормовым крыльями; $M_{\text{р}}$ — моменты, создаваемые рулями; $M_{\text{с.к.к.}}$, $M_{\text{с.к.д.}}$ — моменты, создаваемые выступающими частями (крыльцевыми стойками, валом, кронштейнами и т. п.) в носовой и кормовой частях судна.

Моменты $M_{\text{р}}$, $M_{\text{с.к.к.}}$ и $M_{\text{с.к.д.}}$ в различных конкретных случаях могут быть и положительными (восстанавливающими), и отрицательными (кренящими). По своей величине они незначительны, и для качественной оценки поперечной устойчивости вполне можно

ограничиться рассмотрением восстанавливающих моментов, создаваемых непосредственно крыльями, полагая, что

$$M \approx M_{\text{к.р.}} \quad (7.6)$$

Рассмотрим несколько конкретных схем действия сил, определяющих поперечную статическую устойчивость, для СПК с различными крыльцевыми системами.

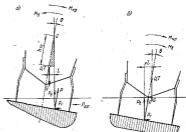


Рис. 7.3. Поперечная устойчивость СПК на малом крене: а — устойчивое равновесие; б — нейтральная устойчивость.

На рис. 7.3 изображена схема действующих сил на закрепенное при движении СПК, оборудованное плоскими аэлоаэродинамическими крыльями. Вследствие разного заглубления концов наклоненного крыла вперед гидродинамических давлений по размаху крыла будет несимметричной и равнодействующая этих давлений P сместится в данном случае вправо. Вертикальная составляющая равнодействующей $P_{\text{в}}$ образует с вектором G массы судна, приходящей на данное крыло, пару сил, создает восстанавливающий момент, обратный кренящему (при условии, что линия действия вертикальной силы $P_{\text{в}}$ пересекает ДП выше ЦТ). Горизонтальная составляющая $P_{\text{г}}$ вызывает дрейф СПК в сторону крена. Если не учитывать силы сопротивления дрейфу, возникающей от стоек крыла и на самом крыле, то поперечная устойчивость СПК с малопогруженными крыльями будет определяться по выражению

$$M \approx GI \approx Gh_{\text{в}}\beta, \quad (7.7)$$

Плечо поперечной устойчивости l зависит от асимметрии элерона гидродинамических давлений на крыло и положения ЦТ судна. Нетрудно поэтому сделать вывод, что восстанавливающий момент возрастает и поперечная устойчивость улучшается, если уменьшить среднее углубление крыла, или увеличить размах крыла, или повзвять ЦТ судна.

При понижении скорости СПК углубление крыльев увеличивается и вследствие уменьшения аэлиажа свободной поверхности на подъемную силу крыла распределение давлений по его размаху становится более равномерным. Равнодействующая давления смещается в середине крыла, плечо устойчивости уменьшается и может стать отрицательным. На рис. 7.3, б показан такой случай. Он соответствует или моменту отрыва корпуса от воды при выходе судна на крылья, или, наоборот, при переходе с крыльцевого режима движения в водомещающее положение, когда корпус в обеспечении устойчивости не участвует, а крылья слабо реагируют на изменение глубины погружения, имея среднее углубление более половины хорды. Поэтому, как отмечено ранее, все отмеченные СПК на малопогруженных крыльях имеют дополнительные стартовые устройства (гидроупругие пластины, дополнительные крылья, расположенные выше основных), обеспечивающие поперечную устойчивость в переходном режиме.

Средняя часть крыла малоеффективна в обеспечении поперечной устойчивости. Устойчивость мало уменьшается, если центральную часть крыла (до половины размаха) сделать глубоководной (V - или U -образной формы).

Оценка поперечной устойчивости для малопогруженных крыльев в первом приближении может быть произведена по формуле, предложенной Г. А. Гоцевым,

$$\bar{h}_m = 0,2\lambda^2 f(\beta) - \text{дет.} \quad (7.8)$$

где $\bar{h}_m = \frac{h_m}{B}$ — относительная поперечная метacentрическая высота; $\lambda = l/B$ — относительный размах крыла; $\text{дет.} = \text{дет.}/b$ — относительная высота ЦТ над поверхностью воды при ходе на крыльях; $f(\beta)$ — функция, учитывающая изменение C_p крыла в зависимости от глубины погружения. Она может быть принята по формуле Б. А. Цареня.

Практика показывает, что поперечная статическая устойчивость СПК вполне обеспечивается, если $z_0 \leq 0,35$ при $l = (1,4 + 1,5) B$. Здесь $z_0 = z_0/B$ — относительная высота ЦТ над основной плоскостью судна; B — ширина корпуса; l — размах крыла.

Рассмотрим теперь поперечную устойчивость СПК на V -образных и трапециевидных монокрыльях, пересекающих свободную поверхность. На рис. 7.4, а показана схема действия сил на

судно при его ходе в наклонном положении. Суммарная сила P давления воды на крылья, получаемая от сложения сил, действующих на правую и левую части крыла, $P_{\text{пр.}}$, $P_{\text{л.}}$ в общем случае является наклонной (к горизонту воды) и может быть разложена на вертикальную P_v и горизонтальную P_h составляющие. Вертикальная составляющая, образуя пару сил с вектором G нагрузки на крыло, создает восстанавливающий момент, а горизонтальная

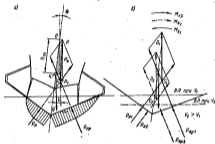


Рис. 7.4. Устойчивость СПК на V -образных крыльях: а — положительная устойчивость; б — изменение устойчивости V -образного крыла при его крене.

обуславливает дрейф. Картина аналогична тому, что мы видели, рассматривая устойчивость СПК с малопогруженными крыльями. Однако дрейф судна с этими крыльями заметно меньше (практически отсутствует), вследствие меньшей горизонтальной составляющей и большего сопротивления V -образного крыла дрейфу. С увеличением скорости судна поперечная устойчивость V -образных крыльев ухудшается, что является их существенным недостатком. Это связано с тем, что при увеличении крыла его размах уменьшается. При уменьшении углубления крыла центр гидродинамических сил давления на крыло (точка пересечения линий действия сил $P_{\text{пр.}}$ и $P_{\text{л.}}$) снижается так, что вертикальная составляющая P_v (или результирующая) пересекает диаметрально плоскость все ближе к ЦТ, что означает уменьшение метacentрической высоты. Может случиться так, что точка пересечения O будет ниже ЦТ (см. рис. 7.4, б) и судно потеряет устойчивость.

Приближенно остойчивость СПК с V-образными крыльями можно оценить по формуле

$$\bar{\delta}_{\text{м}} = 0,5\lambda \sin \beta - \frac{y_{\text{ЦТ}}}{b} \quad (7.9)$$

где λ — относительный размах крыла; β — внешний угол килеватности или V-образности крыла; $y_{\text{ЦТ}} = y_{\text{ЦТ}}/b$ — относительная высота ЦТ судна от уровня воды при ходе на крыльях; b — хорда крыла.

Трапециевидное крыло можно рассматривать как сочетание V-образного с плоским малопогруженным крылом. Отсюда и его особенности в отношении поперечной остойчивости. На малых скоростях судна остойчивость обеспечивается наклоном боковых частей крыльев, а на крыльевом режиме в основном плоской малопогруженной частью. Таким образом, трапециевидное крыло с большой плоской частью хорошо обеспечивает поперечную остойчивость в разных режимах движения при различных скоростях судна. В этом его основное преимущество перед плоскими малопогруженными и V-образными крыльями.

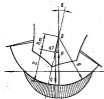


Рис. 7.6. Остойчивость дугообразного крыла.

Если трапециевидное крыло имеет заглубленную, относительно небольшую по размаху плоскую часть, то по свойствам поперечной остойчивости оно близко к V-образному крылу.

Поперечная статическая остойчивость СПК на дугообразных крыльях отличается от остойчивости судов с V-образными и плоскими малопогруженными крыльями. В связи с тем, что нормальное давление воды в любой элементарной площадке дугообразного крыла направлено по радиусу дуги крыла, по радиусу будет направлена и результирующая вертикальная сила P . Следовательно, при любом заглублении крыла (т. е. при любой скорости), при любом крене судна вертикальная сила P будет пересекать диаметрально плоскость в одной точке — в центре дуги крыла. Таким образом, поперечная остойчивость дугообразного крыла не зависит ни от скорости судна, ни от размаха крыла, а зависит от взаимного расположения точек O и ЦТ (рис. 7.5); если радиус дуги R больше возвышения Z центра тяжести над крылом, то остойчивость положительна — в наоборот.

Остойчивость СПК на дугобразных крыльях может быть обеспечена лишь системой автоматического регулирования.

Поперечная остойчивость СПК подробно рассмотрена в работе [31].

Продольная статическая остойчивость. Продольная остойчивость определяется способностью судна сохранять заданные ходовой дифферент и вертикальный килеванс и быстро восстанавливать их, если они будут нарушены (изменены) внешними возмущающими силами и моментами. На равновесное состояние движущегося СПК и его продольную остойчивость в условиях спокойной водной поверхности могут влиять изменение скорости судна, случайная волна или какие-то другие внешние силы и причины,

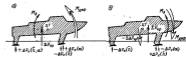


Рис. 7.6. Продольная остойчивость СПК.

$M_{\text{диф}}$ — момент килеватности; $M_{\text{вос}}$ — момент восстанавливающий; ΔP — увеличение или уменьшение подъемной силы крыла в зависимости от глубины погружения (подъем \bar{P} или изменение угла атаки (подъем α); $\sum P_{\text{кр}}$ — суммарная подъемная сила крыльев.

вызывающие изменение подъемной силы крыльев, а также изменение центрации судна (например, вызванное расходом топлива).

Возможны два характерных случая потери продольной остойчивости (рис. 7.6).

1. Возмущающий момент дифферентует судно по корму (рис. 7.6, а). В этом случае вследствие поворота судна в вертикальной плоскости при заглублении нормальных крыльев носовые крылья приближаются к свободной поверхности, могут даже оголиться, и движение судна станет неустойчивым, нарастающим.

Чтобы этого не произошло, необходимо возникновение противодействующего момента, который обычно и получается благодаря увеличению подъемной силы кормового крыла $\Delta P_{\text{к}}$ в связи с его заглублением и увеличением угла атаки, а у крыла, пересекющего свободную поверхность, еще и в результате увеличения погруженной площади крыла. Таким образом, это легкий, безопасный случай нарушения продольной остойчивости, при котором обычно быстро восстанавливается нормальный режим движения.

2. Возмущающий момент дифферентует судно по нос (рис. 7.6, б). При таком дифференте судна углом атаки всех крыльев уменьшаются, подъемная сила падает, и судно садится на воду. Это уже неприятный случай потери продольной остойчивости:

при большой скорости и быстром падении подъемной силы носового крыла судно грозит зарыванием носом в воду.

В общем случае продольная остойчивость СПК будет удовлетворительной, если:

а) в случае всякого появления возмущающего дифференцирующего момента возникает противодействующий ему восстанавливающий момент при практически постоянной суммарной подъемной силе крыльев;

б) при подъемной силе, т. е. возмущающее усилие, направленное вниз, будет быстро восстанавливаться (при углублении крыльев) с одновременно возникающим моментом, стремящимся приподнять нос судна.

Положения обок пунктов означают, что для обеспечения продольной остойчивости необходимо перемещение центра давления крыльевых сил в нос от ЦТ судна, когда судно приближается (опускается) к воде с дифферентом на нос, и, наоборот, — перемещение центра давления в корму, когда судно поднимается выше нормального положения с дифферентом на корму (рис. 7.6, а, б).

Это достигается при условии, если подъемная сила на передних крыльях растет (при заглублении) и падает (при исплытии) быстрее, чем на задних.

Возможны следующие пути повышения продольной остойчивости:

увеличение крыльевой базы, т. е. расстояния между носовым и кормовым крыльями;

усиление влияния погружения (и исплытия) на подъемную силу всех крыльев и то же для носовых по сравнению с кормовыми;

установка управляемых крыльев с автоматической системой управления.

Невысокой продольной остойчивостью обладает крыльевая система «спавды» с обычными полугорюющими V-образными крыльями и совсем малоудовлетворительной — система Титъянса.

Суда с передними гнессирующими и этакерочными крыльями, наоборот, обладают хорошей продольной остойчивостью.

У судна с малопогруженными крыльями продольная остойчивость, особенно в период разгона, обеспечивается дополнительными носовыми крыльями или гнессирующими плоскостями (у «Ракеты»).

Движение СПК в условиях волнения

§ 7.3

При движении в условиях волнения СПК, как и любое другое судно, постоянно подвергается воздействию внешних возмущающих сил, затрудняющих нормальный ход. Волны увеличивают сопротивление движению, вызывают качку, заглубляют или,

наоборот, оседают крылья и в конечном итоге, нарушая остойчивость, могут сорвать крыльевой режим хода.

Различают три случая движения СПК по возмущенной поверхности (рис. 7.7).

Первый случай — судно движется прямолинейно, практически без качки (рис. 7.7, а). Это возможно для СПК с крыльевой системой, обладающей хорошей стабилизирующей движением (самостабилизирующаяся система или с управляемыми

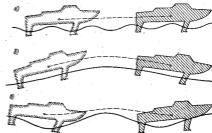


Рис. 7.7. Случаи движения СПК на волнении: а — прямолинейное движение; б — судно следует по профилю волны (конструктивные волны); в — волна настигла длину судна.

крыльями), при волнах, длина которых заметно меньше длины судна и при высоте не больше вертикального клирена.

Второй случай — судно следует за контуром волны (рис. 7.7, б). Так могут идти СПК с любой крыльевой системой при длине волн, в два с половиной-три раза и более превосходящей длину судна.

Третий случай — судно движется на волнах, длина которых составляет 1—2,5 длины судна (рис. 7.7, в). Это наиболее неблагоприятные, критические условия волнового режима для СПК. Находясь на склоне такой волны, судно получает значительный дифферент на нос и при подходе к следующей вершине в связи с небольшим углом атаки носового крыла в районе подошвы волны не всегда успевает занять положение по ее профилю и может «зарываться» в гребень волны, переходя в волнозатопляющее волнение. Таким образом, в третьем случае траектория движения

ЦТ судна является промежуточной, частично следующей за профилем волны.

Третий случай движения по волнам является наиболее тяжелым эксплуатационным режимом для СПК с недостаточно высокой продольной остойчивостью, особенно в условиях попутного волнения. Опасное положение судна на попутной волне, когда возможно резкое падение подъемной силы, соответствует моменту одновременного наклонения носового крыла во впадине, а кормового на вершине.

Рассматривая критические условия движения СПК при волнении, нетрудно прийти к выводу, что мореходность судна, его способность на волну без зарывания будет тем лучше, чем быстрее растет подъемная сила на носовом крыле при его погружении. Такими свойствами, как уже ранее отмечалось, обладают глиссирующие крылья (при полном погружении их подъемная сила увеличивается в шесть-восемь раз) и крылья эластичные, которые обеспечивают увеличение подъемной силы при погружении в четыре-пять раз. Однако при этом в носовой части возникают большие динамические перегрузки с вертикальным ускорением до 5-6 *g*, что весьма отрицательно сказывается на прочности крыльев и корпуса и совершенно недопустимо с точки зрения обитаемости судна.

Крылья трапециевидные и V-образные при полном погружении увеличивают подъемную силу в два-два с половиной раза, и этого бывает недостаточно для выхода на гребень волны в критических условиях. Малопогруженные плоские крылья при заглублении дают еще меньшее увеличение подъемной силы — не более чем в два раза, и для увеличения их мореходности необходима постановка второго крыла, включаемого в работу при выходе в гребень волны.

Очевидно, только управляемые крылья могут позволить в промежуточном режиме движения более плавно пройти гребень волны: частично срезают его без нарушения крыльцевого хода при умеренных вертикальных перегрузках.

Одним из возможных путей решения проблемы повышения мореходности СПК является увеличение водоизмещения, а также их размеров. Высота волн, преодолеваемых судном, с увеличением длины корпуса растет по линейному закону и может быть выражена простейшей зависимостью

$$h_w = at + b, \quad (7.10)$$

где a и b — коэффициенты уравнения прямой.

Применительно к СПК с полупогруженными стационарными крыльями, расположенными по схеме «тандем» (система Шертеля): $a = 0,063$ и $b = 0$ при движении судна с максимальной скоростью,

$a = 0,08$ и $b = 0,5$ при наибольшей высоте волны, позволяющей ход на крыльях.

Действительно, в настоящее время заметна тенденция к увеличению водоизмещения морских СПК. Однако умеренное увеличение водоизмещения до 500 т не решает проблему, так как при этом приходится ограничивать скорость до 50-60 уз, а современное развитие СПК ставит также задачу создания судов со скоростью 100 уз. При осевом тарании волны, т. е. при движении судна по ее профилю, на скоростях более 50-60 уз развиваются недопустимые значения ускорений, а движение на высоких скоростях по горизонтали в условиях волнения высокой балластности требует значительного увеличения размеров судна, поскольку возможность встречи с отдельными высокими волнами на больших скоростях представляет серьезную угрозу для судна. Строить же СПК водоизмещением 4-5 тыс. т и сейчас представляется сложной технической задачей.

Для морских пассажирских СПК с ограниченным районом плавания увеличение водоизмещения для повышения их мореходности не является рациональным путем. Увеличение водоизмещения снижает экономические и технические преимущества крылатых судов в высокой скорости и высокой провозности. Оказывается, что малыми СПК с большим числом рейсов можно перевезти больше пассажиров, чем на крупных, курсирующих с более длительными интервалами. При этом возрастает гарантия обеспеченности перевозок: выход из строя одного малого СПК из числа нескольких не повлияет существенно на количество перевозимых пассажиров.

При сравнении водоизмещенных мореходность СПК целиком определяется совершенством крыльевой системы. На рис. 7.8 приведены мореходные характеристики СПК, оборудованных различными крыльевыми системами. Из кривых этого рисунка сразу же можно установить, что наилучшие мореходные качества имеют СПК РТ-50 со стационарными крыльями, пересеканием поперечности, а наилучшим — «Тайфун», «Дельфин» и «Хай Пойнт», т. е. суда, оборудованные глубокогогруженными управляемыми крыльями с электронной САУПК. Представим для широкого сведения управляемые крыльями с электронной САУПК, как уже отмечено ранее, является их сложность и высокая стоимость. Поэтому для пассажирских судов вполне целесообразной для внедрения может оказаться система с «активированными крыльями» и упрощенной САУПК. Как видно из таблицы 7.1, мореходность СПК «Флайбер», оборудованное такими крыльями, имеет значительно лучшие характеристики по сравнению с однотипным РТ-50.

Снижение уровня вертикальных ускорений в параметрах качки θ и ψ в полтора-два раза по сравнению с СПК со стационарными крыльями может быть достигнуто применением относительно

ведерных и несложных механических систем стабилизации, подобных системам Роузера и Пьева (см. гл. 5).

В повышении мореходности СПК немаловажно от типа используемых крыльев большую роль играет распределение нагрузки

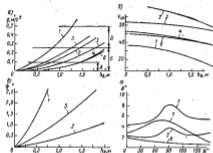


Рис. 7.8. Мореходные характеристики СПК: а — вертикальное ускорение в центре тяжести (в долях от g) в зависимости от высоты волны $H_{в}$; б — изменение скорости в зависимости от высоты волны; в — амплитуда продольной качки; г — амплитуда бортовой качки в при эксплуатационной скорости в зависимости от курса судна относительно волны (бортовой угол α).

А — зона казенного давления; Б — предельная зона комфорта; В — область допустимых ускорений; 1 — СПК РТ-68 со стабилизатором крыла; $V = 28$ уз; 2 — СПК «Альбатрос», $V = 48$ уз; 3 — СПК «Альбатрос», $V = 48$ уз; 4 — СПК «Кит Пайот», $V = 28$ уз; 5 — СПК ВР-90 с конформными крыльями; $V = 34$ уз; 6 — СПК «Стафран», $V = 34$ уз; 7 — СПК «Комета».

судна по крыльям. Опыт постройки и эксплуатации относительно крупных морских СПК позволяет считать наиболее предпочтительной схему «утка». Она имеет следующие преимущества:

— позволяет проектировать судно с расчетом на промежуточный режим его движения на волнах, с частичным их конструированием без зарывания в волны, что исследуется при самолетной схеме в связи со сравнением длиной осязности под носовой крыло; — увеличивает возможность обеспечения безударной встречи с волной, поскольку носовая часть при схеме «утка» может (и должна) быть выведена значительно более острой;

обуславливает меньший угол килевой качки в связи с тем, что крыльевая база при схеме «утка», как правило, больше, чем при самолетной схеме. Для судов с примерно одинаковым водоизмещением;

— снижает вертикальные ускорения при килевой качке в связи с уменьшением массы носовой оконечности;

— улучшает условия управляемости судна, поскольку руль при схеме «утка» обычно устанавливается на стойке переднего крыла, а носовые рули при сдвиге в корму ЦТ эффективнее кормовых.

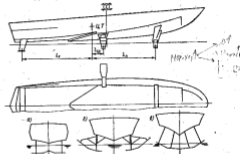


Рис. 7.9. Относительный опытный катер с тремя разнонаправленными крыльевыми комплексами: а — кормовое крыло в системе стабилизации с носовым крылом; б — два разнесенных крыла, исключая из гидродинамического воздействия с кормовым крылом; в — носовое крыло.

Перспективным направлением повышения мореходности СПК является увеличение числа несущих крыльев, распределенных по длине судна (рис. 7.9). Использование трех несущих крыльев вместо двух позволяет их расположить по длине в разных фазах точек волновой поверхности так, что падение подъемной силы на одном крыле будет компенсироваться ростом подъемной силы на другом. Катера с тремя несущими аналоно расположенными крыльями комплексами впервые были построены в Японии. Исследования подобных крыльевых систем в 60-х годах проводились в СССР. В начале 70-х годов под руководством М. М. Корозкова проводились большие экспериментально-опытные иссле-

лования по отработке оптимальных трехкомплексных крыльевых систем, в результате которых установилось, что при правильном распределении нагрузки на крылья и исключении одного крылового комплекса, среднего для носового в зависимости от числа Фруда, из гидродинамического воздействия с кормовым крылом можно по сравнению с обычной двухкрылой системой получить снижение перегрузок в районе носового крыла в два с половиной — три раза и увеличивать «сбор» сопротивления, вдесять раз чего заметно снижается скорость отрыва и длина аулы района.

Установка третьего крыла увеличивает массу крылового устройства на 15—20%, но благодаря облегчению массы корпуса, всевозможному в этом случае по условиям общей прочности, избыточная масса крылового комплекса полностью компенсируется.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СУДНА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Глава 8

Особенность и последовательность разработки проекта СПК

§ 8.1

Основные задачи и сущность проектирования СПК остаются теми же, что и при проектировании судов водонесущего типа: проект должен быть разработан так, чтобы будущее судно в наиболее оптимальном варианте отвечало условиям технического задания по скорости и мореходности, удобству и надежности в эксплуатации, строительной стоимости и другим технико-экономическим требованиям. Однако проектирование СПК, как судов с динамическим принципом поддержания, имеет существенные особенности.

В отличие от обычных судов в состав проекта СПК входит принципиально новый раздел, необычный для проектов водонесущих судов, — проектирование крыльевой системы и ее элементов. Это, пожалуй, наиболее сложная и важная часть проекта СПК. Для ее разработки требуются специалисты высокой квалификации со специальной подготовкой по профилю гидродинамики и опытом экспериментаторов, так как наряду с теоретическими расчетами, ввиду сложности задачи, необходима экспериментальная проверка и «доборка» запроектированной крыльевой

системы на бунсеруемых и самоходных моделях в опытовом бассейне или открытом водоеме. Особенно сложной эта задача во всех ее аспектах оказывается в случае проектирования крыльевых систем с управляемыми поджилами (уборщиками) крыльев для мореходных СПК с высокими скоростями. Важность раздела «Крыльевые устройства» проекта СПК трудно переоценить, поскольку крыльевая система в значительной мере определяет технико-эксплуатационные качества судна.

Разработка других разделов проекта СПК также имеет отличительные особенности, общим признаком которых являются более жесткие и «направленные» условия проектирования. Это относится к выбору обводов корпуса (иногда резко отличных от формы корпуса водонесущих судов) и его материала (только легкий и прочный материал), к выбору главных двигателей (только легкие и малогабаритные, с большим запасом мощности), к вопросу обеспечения обитаемости (трудность в создании необходимого комфорта по уровню шума и динамических перегрузок) и к решению ряда других вопросов, связанных с проектированием СПК.

Весь процесс проектирования СПК, как и по другим типам судов, проходит в три этапа.

Первый этап — анализ технического задания. Здесь проверяется выполнимость поставленных заказчиком условий на разработку проекта. На этом этапе проводится предварительная проработка общей компоновки судна и крыльевой системы, приближенными методами определяются главные размеры, водонесущие, потребная мощность или достижимая скорость. Первый этап заканчивается так называемым техническим предложением, которое после согласования с заказчиком утверждается как окончательный вариант технического задания.

Второй этап — эскизное проектирование. Это более расширенный и углубленный этап разработки проекта. В состав эскизного проекта входит чертеж общего расположения, теоретический чертеж корпуса, схема крыльевой системы, модель-шпангоут, план машинного отделения. В проекте производятся расчеты весовой нагрузки и положения ЦТ, элементов плавучести и остойчивости, сопротивления воды и двигателей, проверяется достижимая скорость. Одновременно с проектно-конструкторской проработкой основных разделов проекта и теоретическими расчетами проводится экспериментальная проверка запроектированной крыльевой системы на моделях, уточняются ее элементы. Объем и содержание экспериментальной части проекта зависит от сложности и новизны принятой крыльевой системы. В одном случае испытания могут быть проверочными и в небольшом объеме, а в другом — носить тонкий характер. Нередко отдельные разделы эскизного проекта СПК прорабатываются и представляются на рассмотрение заказчика в нескольких вариантах. Это может

быть сделано, например, в части размещения пассажиров с varying их числа, что возможно в рамках данного проекта в результате изменения расположения машинного отделения, запаса топлива, скорости судна наивысшего и других изменений первоначальных решений.

При разработке эскизного проекта рассматриваются принципиальные технологии постройки, проводятся технико-экономические расчеты как по основному, так и по дополнительным вариантам.

Эскизный проект выполняется организацией, выполняющей его, и утверждается на техническом совете, а работе которого участвуют представители заказчика, Министерства судостроительной промышленности, Регистра, представителей других контролирующих и заинтересованных организаций.

Третий этап — технический проект. Он разрабатывается на базе эскизного проекта с учетом всех замечаний и дополнительных требований, записанных в протоколе технического совещания в результате защиты и обсуждения. В этом проекте подробно разрабатывается вся техническая документация (чертежи, расчеты, пояснительная записка, спецификация и др.), необходимая для разработки рабочих чертежей и постройки судна.

Объем работ по анализу технического задания зависит от того, насколько тщательно, подробно и конкретно оно разработано заказчиком. При полном разрыве технического задания, когда оговорены требования по всем основным разделам проекта, «Техническое предложение» исполнителя, т. е. проектной организации, považается как результат проверки выполнимости условий технического задания. В том случае, когда в техническом задании содержатся лишь минимально необходимые для проектирования условия, такие только, например, как наименование, район плавания, мореходность, пассажироместность и скорость судна, то объем анализа технического задания увеличивается, и «Техническое предложение» является уже результатом более широкой проектной проработки, оформляемой в виде предэскизного проекта.

Предэскизный проект выполняется обычно в ограниченные сроки и при его разработке целесообразно пользоваться приближенными методами определения проектных характеристик судна. Это необходимо еще и потому, что точные расчетные методы в начальной стадии проектирования использовать вообще нельзя. Невозможно, например, рассчитать сопротивление воды, когда нет главных размеров корпуса, возмещения и параметров крыльевой системы. Расчет крыльевой системы нельзя возложить, когда не определены масса судна и положение ЦТ. Водоизмещение порожнего судна не может быть точно рассчитано при отсутствии подробных конструктивных чертежей по корпусу, данным по

массам энергетической установки, оборудования и других составляющих.

Для успешной разработки проекта СПК в самой начальной стадии проектирования важно располагать приближенными формулами и зависимостями, которые «переносят» основные проектные элементы судна (водоизмещение, положение ЦТ, главные размеры, мощность и т. п.) с параметрами крыльевой системы, т. е. дают возможность определение одних проектных характеристик комплексно согласовывать с другими, учитывают их взаимовлияние. Систематизация и обобщение статистических данных по проектам построенных судов и опыт эксплуатации их, а также результаты экспериментально-опытных работ позволяют получить такие зависимости, и по наиболее распространенным типам СПК они имеются. Использование их при проектировании будет рассмотрено ниже.

Предэскизный и эскизный проекты составляют начальную стадию проектирования, на уровне которой разработка проекта судна осуществляется последовательными приближениями.

В первом приближении по грубым обзам зависимостей определяются водоизмещение и главные размеры, составляется архитектурно-компоновочная схема, выбирается крыльевая система, определяется необходимая мощность или достижимая скорость (в зависимости от характера задания).

Во втором приближении разрабатывается эскиз общего расположения и на основе этого корректируются главные размеры, более тщательно определяется масса судна с разбивкой на составляющие по основным нагрузкам, находится положение центра тяжести, предварительно определяются элементы крыльевой системы, производится приближенный расчет сопротивления и буксировочной мощности, решается вопрос о движителе, оценивается остойчивость и устойчивость в режиме движения, намечается принципиальная конструкция корпуса, предварительно принимаются решения по ряду других вопросов проекта. В результате второго приближения определяются главные характеристики судна, принимаемые в основу дальнейшей разработки проекта.

Третье приближение по своему характеру является исследовательским процессом, позволяющим на основе вариаций элементов, полученных во втором приближении, выбрать оптимальный вариант проектируемого судна, в котором минимальная масса корпуса, механизмов и оборудования сочетается с высокой скоростью и мореходностью, комфортом обитания на судне и высокой провозоспособностью. Вариационный способ определения главных элементов производится обычно при разработке эскизного проекта.

коротких рейсов с требованием повышенной мореходности, обуславливающим утяжеление конструкции судна.

Коэффициент $\mu_2 = D_2/D$, характеризующий долю массы подводного судна в составе водоизмещения, должен выбираться по соображениям, противостоящим тому, что высказано в отношении выбора коэффициента μ . Его следует брать во верхнем пределе для судов с тяжелым корпусом и большой массой энергетической установки (двигельные морские СПК), предназначенных для коротких эксплуатационных линий.

Коэффициент утяжеления водоизмещения по массе пассажиров $\mu_3 = \alpha D/D$ привязывается по нижнему пределу зоны его изменения (рис. 8.1) в случае, когда проектируемое судно отличается высокой скоростью и мореходностью, комфортом обитаемости, рассчитывается на большую дальность плавания. И наоборот, значение μ_3 берется по верхнему пределу зоны его изменения или вообще максимальным, если проектируемое судно предполагается легким по корпусу и машине, рассчитывается на короткий пробег с умеренной скоростью.

Разумеется, что во многих случаях проектирования в зависимости от типа судна целесообразно принимать средние значения рассматриваемых коэффициентов: $\mu = 0,27$, $\mu_2 = 0,73$ и $\mu_3 = 0,22$.

При обдумывании и правильном выборе коэффициентов утяжеления ошибка в определении водоизмещения не составит более 5%; при неудачном выборе μ , μ_2 и μ_3 , наоборот, ошибка может быть существенной. Среднеквадратичная ошибка значения $\mu = 0,27$ составляет 19,5%.

Мощность и тип энергетической установки. Выбор необходимой мощности и типа энергетической установки является важным и ответственным моментом проектирования СПК. Если мощность занижена, то судно не только не достигает расчетной скорости, но и вообще «не выедет на крылья». Вслучае же завышения потребной мощности отрицательно влияет на технико-экономическую эффективность судна, тем более что СПК и так отличаются высокой энерговооруженностью. В зависимости от скорости энерговооруженность СПК составляет 30—110 л. с. и более на 1 т водоизмещения, в то время как для наиболее мощных водоизмещающих судов с атомными установками, в том числе ледоколов, этот показатель не превышает 2,6 кВт/т. Масса энергетической установки вместе с запасом топлива для существующих СПК составляет 18—30% водоизмещения (а иногда и более). Для транспортных судов с очень малой водоизмещаемостью по тоннажу такое значительное относительное суммарное $P_{\text{м}} + P_{\text{т}}$ является высоким. Запас топлива, как известно, зависит от дальности плавания и экономичности главных двигателей.

Учитывая отмеченные особенности, следует подчеркнуть, что мощность и тип главной энергетической установки должны выби-

раться при строгом согласовании с водоизмещением, скоростью и длиной безаварийного пробега судна на эксплуатационной линии.

Пробавленная оценка потребной мощности проектируемого СПК может быть произведена по удельной мощности $v = N/D$ кВт/т (она же и энерговооруженность), значение которой может быть

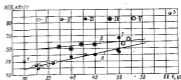


Рис. 8.2. Удельная мощность судна в зависимости от скорости. 1 — с водометными двигателями; 2 — с двигателями; 3 — с двигателями; 4 — с двигателями; 5 — с двигателями; 6 — с двигателями; 7 — с двигателями; 8 — с двигателями; 9 — с двигателями; 10 — с двигателями; 11 — с двигателями; 12 — с двигателями; 13 — с двигателями; 14 — с двигателями; 15 — с двигателями; 16 — с двигателями; 17 — с двигателями; 18 — с двигателями; 19 — с двигателями; 20 — с двигателями; 21 — с двигателями; 22 — с двигателями; 23 — с двигателями; 24 — с двигателями; 25 — с двигателями; 26 — с двигателями; 27 — с двигателями; 28 — с двигателями; 29 — с двигателями; 30 — с двигателями; 31 — с двигателями; 32 — с двигателями; 33 — с двигателями; 34 — с двигателями; 35 — с двигателями; 36 — с двигателями; 37 — с двигателями; 38 — с двигателями; 39 — с двигателями; 40 — с двигателями; 41 — с двигателями; 42 — с двигателями; 43 — с двигателями; 44 — с двигателями; 45 — с двигателями; 46 — с двигателями; 47 — с двигателями; 48 — с двигателями; 49 — с двигателями; 50 — с двигателями.

либо по прототипу или по графикам, приведенным на рис. 8.2. Построенные по статистическим данным, графики средних значений $v = f(V)$ для диапазона скоростей 30—50 уз приняты линейными и могут быть аппроксимированы формулами:

$$\text{для СПК с гребными винтами} \\ v = 11,43V - 25,7; \quad (8.4)$$

$$\text{для СПК с водометными двигателями} \\ v = 0,59V + 29,4, \quad (8.5)$$

где V — расчетная (эксплуатационная) скорость судна, уз.

Квадратичная погрешность формул (8.4) и (8.5) равна соответственно 11 и 6%.

По значению энерговооруженности определяется необходимая мощность

$$N = vD. \quad (8.6)$$

Как видно из графиков средних значений $v_{\text{ср}} = f(V)$, энерговооруженность СПК с водометными двигателями на относительно малых и средних скоростях движения существенно выше, чем энерговооруженность судов с гребными винтами. Но интенсивность роста удельной мощности в зависимости от скорости на СПК с водометными меньше. Это объясняется тем, что КПД водометных двигателей по мере увеличения скорости растет, а КПД гребного

зонта, наоборот, начиная примерно с 50 уз, — падает. При высоких скоростях ($V > 55$ уз) энерговооруженность винтовых СПК начинает быстро расти и становится больше, чем на СПК с водометными двигателями.

Энерговооруженность судов зависит только от скорости и пропульсивного качества, а при одинаковых скоростях и крыльевых системах — только от пропульсивного КПД двигателя.

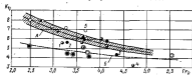


Рис. 8.3. Пропульсивное качество СПК в зависимости от числа Фруда. Обозначения точек см. на рис. 8.2. 1 — РТ (СБД); 2 — «Вектор»; 3 — «Валент»; 4 — «Кларкс»; 5 — «Амстрол».

Приближенно требуемую мощность при заданной скорости можно также определить, используя вышерассмотренную формулу (3.12). Незвестной величиной здесь является значение пропульсивного качества K_q , которое, однако, можно найти, используя характеристики построенных СПК.

Пропульсивное качество K_q определяемое для построенных судов по выражению

$$K_q = \frac{K_{CV}}{N}, \quad (8.7)$$

является достаточно устойчивой характеристикой в зависимости от относительной скорости. Результаты расчетов K_q , выполненных по формуле (8.7) для различных типов СПК в зависимости от числа Фруда по водозмещению, представлены на рис. 8.3. Среди них выделена зона наибольших значений K_q . Она охватывает суда с гребными винтами и различными крыльевыми системами и крыльями. Кривая А приблизительно средних значений пропульсивного качества в этой зоне аппроксимируется формулой

$$K_q = 3,25 + 18,75(Fr_{\Delta}^{0,2})^{-1}, \quad (8.8)$$

Среднестатистические значения K_q для СПК с водометными двигателями на рис. 8.3 отражены кривой Б, которая может быть аппроксимирована аналогичной зависимостью

$$K_q = 3,14 + 9,65(Fr_{\Delta}^{0,2})^{-1}. \quad (8.9)$$

Квадратичная ошибка формул (8.8) и (8.9) составляет соответственно 14 и 8%.

Таким образом, значение коэффициента K_q может быть взято непосредственно с графиков на рис. 8.3 или же по формулам (8.8) и (8.9) с учетом предполагаемого типа двигателей проектируемого судна. По возможности выбор коэффициента K_q следует также согласовывать и с типом крыльев и крыльевой системы. Ориентироваться следует на повышенные значения K_q , когда предполагается применить уже опробованную ранее крыльевую систему, показавшую высокое гидродинамическое качество, и, наоборот, принимать по наименьшему значению, когда заранее известно, что намеченные к применению крылья не могут иметь высокого гидродинамического качества.

Принимаемая мощность энергетической установки проектируемого судна должна определяться по формуле

$$N_s = N_q, \quad (8.10)$$

где N_s — потребляемая мощность энергетической установки, определенная в период приближения; q — коэффициент запаса мощности для поддержания скорости судна на волнении.

Значение коэффициента запаса мощности можно определить по формуле

$$q = a^2 K_{a,3\%} + 1, \quad (8.11)$$

где $K_{a,3\%} = \frac{h_{a,3\%}}{V D_{1/2}}$ — относительная высота волны 3%-ной обеспеченности; a — коэффициент линейной зависимости $q = f(K_{a,3\%})$. Значение коэффициента a для морских СПК — 0,5, для речных СПК — 0,35.

После определения мощности выбирается тип энергетической установки проектируемого судна.

К главным двигателям СПК предъявляются следующие основные требования:

- большая агрегатная мощность (мощность одного двигателя) при небольших габаритах и малой удельной массе;
- экономичность, обеспечиваемая высоким КПД при работе двигателя на различных сортах топлива;
- надежность работы и высокий моторесурс в эксплуатационных условиях;
- возможность эффективной передачи мощности на движитель;
- высокая приемистость (быстрый набор нагрузки) и маневренность (реверсивность);
- уравновешенность и малая шумность.

Вышерассмотренные требования существующими двигателями одновременно и в полной мере не удовлетворяются, а это обстоя-

тельство осложняет задачу выбора типа энергетической установки.

Широкое применение в качестве главных двигателей на СПК находят быстроходные дизели и газотурбинные двигатели. Сравнительные проектные характеристики этих двигателей приве-

Таблица 8.1

Сопоставление характеристик быстроходных дизелей и газотурбинных (турбовальтовых) двигателей, применяемых на СПК

Характеристика	Дизель	ГТД
Агрегатная мощность, кВт	73—2942	360—22 600
Относительная масса сухого двигателя $\rho = \frac{P_{\text{ср}}}{N}$, кг/кВт	2,7—8,0	0,315—0,830
Удельный расход топлива γ , кг/кВт·ч	0,230—0,360	0,270—0,460
Относительная масса энергетической установки (главные и вспомогательные двигатели, грелбы вала, движитель и др.) $\rho_{\text{в}} = \frac{P_{\text{в}}}{N}$ на судак, кг/кВт:		
«Кельто»	5,10	—
PT-50	3,0	—
«Аксарин»	6,12	—
«Буревестник»	—	2,66
«Дельфин»	—	1,36
«Виктория»	—	3,82

дены в табл. 8.1. Как видно из таблицы, дизельные двигатели более экономичны, но в 10—12 раз тяжелее газотурбинных. Резкая разница в собственной массе двигателей заметно складывается при переходе к сравнительно малым энергетическим установкам. Это объясняется большой весовой долей вспомогательных двигателей, трубопроводов, грелбы вала, движителей и др. для агрегатов и конструктивных элементов, валов и масса которых определяется типом энергетической установки. Для СПК с относительно невысокими мощностями (~ до 1500 кВт) и умеренными скоростями (30—38 уз) выигрыш по массе от применения газотурбинных двигателей сводится к минимуму, и, более того, он может быть отрицательным при сопоставлении суммарных масс энергетической установки и топлива. Запасы топлива на СПК с газотурбинными двигателями в связи с большим удельным расходом при равных условиях сопоставления (одинаковые мощности и дальность плавания) заметно превышают таковые для дизельных СПК. Разница

в запасах топлива растет с увеличением дальности плавания. Это следует учитывать при выборе главных двигателей, для чего, может быть, целесообразно рассчитать и построить график изменения суммарных масс $P_{\text{в}} + P_{\text{т}}$ в зависимости от длины безапробного пробега судна для сопоставимых вариантов энергетической установки. На рис. 8.4 показан такой график качественного изменения суммарной массы от дальности плавания, из которого видно, что на коротких дистанциях пробега (по зарубежным данным, для некоторых типов СПК до 100 миль) по массовым показателям выгоднее газотурбинные установки, а на длинных — дизельные.

Характеристики по суммарной массе энергетической установки и топлива являются существенно важными, поскольку они во многом определяют транспортную эффективность СПК: провозимоспособности СПК при данном водонемешении тем выше, чем меньше относительная масса $\rho_{\text{в}} = P_{\text{в}} + P_{\text{т}}/D$. Однако выбор типа главных двигателей может определяться и другими соображениями (например, обеспечением необходимой мощности). Опыт проектирования, постройки и эксплуатации СПК показал, что практически целесообразной является энергетическая установка, состоящая не более чем из двух главных двигателей. Увеличение числа двигателей ухудшает массогабаритные характеристики и усложняет систему энергетической установки. Это обстоятельство ограничивает использование дизелей на СПК мощностью до 8000 л.с., поскольку максимальная агрегатная мощность современных быстроходных дизелей составляет не более 3000 кВт. Таким образом, если потребляемая мощность превышает 6000 кВт, практически возможно оставаться только на варианте СПК с газотурбинной установкой. Это не означает, что вынужденное в данном случае решение о выборе газотурбинной установки будет однозначно и менее выгодным по сравнению с дизельным вариантом, который был бы возможен при наличии дизелей с большей агрегатной мощностью.

Дизели, как судовые двигатели на СПК проваливают ряд отрицательных особенностей. При больших скоростях движения возникает опасность их работы вразнос, а перегрузка при выходе на крыльевой режим и в условиях хода на волнении отрицательно сказывается на моторесурсе. Так, стандартный (гарантийный)

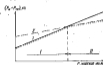


Рис. 8.4. Изменение суммарной массы энергетической установки и топлива в зависимости от дальности плавания СПК.

1 — газотурбинная установка; 2 — дизельная установка; l , l_1 — длина безапробного пробега судна.

моторесурс дизелей марки М-50 составляет 5000 ч, а в условиях работы на морских СПК срок их службы не превышает 1000 ч. В результате дизели часто приходится менять.

В отличие от дизелей газотурбинные двигатели способны развивать кратковременную мощность, значительно превосходящую крейсерскую, т. е. расчетную (длительную). Моторесурс их может быть доведен до 2,5—3,5 тыс. ч и более. Кроме того, сами газотурбинные двигатели легкие и компактные, что упрощает и одновременно расширяет возможности компоновочных решений.

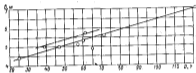


Рис. 8.5. Изменение расчетной ширины B в зависимости от водоизмещения.

На скоростных газотурбоводах у нас и за рубежом в основном применяются авиационные газопые турбины, переоборудованные и приспособленные для работы в судовых условиях. В отечественной практике используются авиационные газотурбинные двигатели типа АИ-20 мощностью 2200 кВт и типа ДЭ58 мощностью 3680 кВт.

Главные размерения. Главные размерения проектируемого судна L , B , H , T и коэффициент полноты δ выбираются в соответствии с полученным водоизмещением и одновременно учетом возможности размещения пассажиров, груза, энергетической установки и других помещений.

По данным для построенных СПК, на числа главных размерений наиболее устойчивую зависимость изменения в функции водоизмещения имеет расчетная ширина B (рис. 8.5). Поэтому целесообразно в первую очередь определить значение B , тем более что эта величина достаточно жестко связана с размещением рядов пассажирских кресел. Расчетную ширину можно определить, пользуясь графиком $B = f(D)$ (рис. 8.5) или аппроксимирующей его прямойной (с квадратичной погрешностью ~5%)

$$B = 27,3D \cdot 10^{-3} + 3,75. \quad (8.12)$$

где B — расчетная ширина по ВЛ, м; D — водоизмещение, определенное в первом приближении, т.

Полученное значение ширины целесообразно сразу же сопоставить с ее значением, определенным по графику рис. 8.5, и соответствующим образом откорректировать, пользуясь формулой (8.25), в соответствии с условиями размещения пассажирских кресел по ширине судна.

Уникальной шириной ширины с размещением пассажирских кресел должна производиться из расчета увеличения или уменьшения значения B , получаемого по формуле (8.25), на величину кратную ширине одного кресла (~0,45), а также путем некоторого сарьярования ширины магистральных проходов.

Расчетная длина L в первом приближении определяется по выражению

$$L = (L/B)B. \quad (8.13)$$

Отношение L/B для построенных СПК колеблется в широких пределах. Так, для серийных речных и морских СПК отечественной постройки это отношение составляет 5—6, а для быстроходного СПК «Чайка» оно больше 8. Для зарубежных пассажирских СПК отношение L/B составляет ~4,5—4 и даже меньше. При этом какой-либо закономерности изменения величины L/B в зависимости от водоизмещения не наблюдается. Ориентирясь на статистические данные или на близкий прототип, при выборе L/B необходимо учитывать следующие общие соображения.

Длина СПК во многом зависит от принятой архитектурно-компоновочной схемы судна, степени комфорта обитания, длины машинного отделения, а также от типа крыльевой системы, определяющей расположение крыльев по длине судна. При крыльевой системе «стандарт», состоящей из плоскоклеванных маловогнутых, т. н. крыльев или из монокрыльев, перекошенных свободную поверхность, крыльцовую базу (расстояние между носовыми и кормовыми крыльями) желательно брать больше. В этом случае можно ориентироваться на большие значения отношения L/B . Наоборот, например при трехлопастной системе с разделенными гребнолопастными крыльями, когда носовые крылья не оказывают существенного влияния на работу кормовых, крыльцовую базу можно принимать более короткой и выбирать меньшие значения величины L/B . Следует учитывать также, что для судов с большим резервом мощности и неуравновешенными стационарными крыльями увеличение крыльевой базы и, следовательно, длины судна будет способствовать улучшению продольной устойчивости движения и облегчить выход судна из крылов в связи с уменьшением буксировочного сопротивления в переходном режиме. Но необходимо иметь в виду, что увеличение длины судна ухудшает условия прочности и повышает массу корпуса. Большое влияние на длину судна оказывает и внешняя архитектура. Если конструктор по эстетическим соображениям, желая подчеркнуть высокую скорость,

стремится придать боковому виду «вытянутый» силуэт самолетного типа, длина судна неизбежно увеличится.

Определив расчетные значения длины и ширины корпуса, следует найти его осадку T . Для этого необходимо задаться величиной коэффициента общей полноты δ , пользуясь данными для построенных судов. Для большинства типов современных пассажирских отечественных и зарубежных СПК значение этого коэффициента лежит в пределах 0,40—0,45. Для судов, корпуса которых отличаются сложными обводами с реданами на днище, значение коэффициента δ падает до значений 0,30—0,28. Наоборот, для речных малоосадочных СПК с упрощенными обводами величина коэффициента δ достигает 0,5 и больше.

Приемлемость полусамостоятельного значения осадки T можно проверить по величине отношения B/T . Для морских СПК это отношение принимается в пределах 4,4—5,4. Для речных оно может быть доведено до 8—10.

Полученные главные размерения, разумеется, должны удовлетворять условию плавучести $D = \delta LB_T$.

После определения расчетных главных размеров находят наибольшую длину L_{max} и наибольшую ширину B_{max} корпуса. Для этого можно воспользоваться отношением L/L_{max} и B/B_{max} . Значение L/L_{max} для построенных судов является достаточно устойчивой величиной и может быть принято равным 0,9. Отношение B/B_{max} колеблется в пределах 0,92—1,00 в зависимости от степени развала бортов.

Определение основных элементов СПК во втором приближении

§ 8.3

Выборные в первом приближении главные размерения служат основой для эскизной проработки формы корпуса и архитектурно-компоновочной схемы с расположением всех основных и вспомогательных помещений судна. В процессе этой проработки первоначально принятые размеры проверяются по условию вместимости и, если это требуется, соответствующим образом корректируются. Одновременно с проработкой общего расположения выбирается тип двигателя, способ передачи к нему мощности от главного двигателя, а также решается вопрос о способе обеспечения движения и маневрирования СПК в исключительном положении. Выбор формы корпуса и принципиальные особенности обводов (см. п. 8.4.8) целесообразно выполнить перед составлением эскизного чертежа общего расположения. Затем на базе чертежа общего расположения производятся приближенный, но уже более точный расчет массы судна с разбивкой на отдельные укрупненные группы масс и определением положения центра тяжести.

С учетом полученной обводки судна окончательно решается вопрос о выборе типа крыльевой системы, приближенно определяются ее основные элементы. Затем выполняется вторичная проработка теоретического чертежа, производится предварительные расчеты плавучести, устойчивости к возмущениям движению.

Архитектурно-компоновочные схемы пассажирских СПК

8.3.1

Пассажирские СПК являются судами с развитыми надстройками, которые конструктивно выполняются как одно целое с корпусом. До недавнего времени все они в основном строились однопалубными с одноуровневым размещением пассажирских. Типовая схема расположения основных помещений на пассажирском морском СПК зарубежной постройки с одноуровневой компоновкой показана на рис. 8.6. Композиционные схемы для различных отечественных СПК приведены на рис. 8.7, 8.8, 8.9. В последние годы нередко, особенно для СПК с большой пассажиремкостью, стали применять двухуровневую компоновку. Схема общего расположения при двухуровневой компоновке СПК типа *PHS-900* приведена на рис. 8.10.

При двухуровневой компоновке благодаря увеличению палубных площадей создаются лучшие условия для размещения пассажиров. При заданной пассажиремкости длина двухуровневого судна по сравнению с одноуровневым вариантом может быть уменьшена, что упрощает обеспечение общей прочности судна при снижении массы корпуса.

На всех СПК пассажиры размещаются в закрытых салонах, оборудованных мягкими креслами, обычно авиационного типа. Размещение пассажиров на открытых палубах под зонтом не применяется в связи с сильным ветровым воздействием встречного потока воздуха при высоких скоростях судна. При одноуровневой компоновке главная палуба, на которой устанавливаются пассажирские кресла, располагается низко, а на небольших СПК, например типа «Ракета», она, по существу, является вторым дном. Поперечными переборками подпалубное пространство разделяется на ряд водонепроницаемых отсеков, обеспечивающих требуемый уровень непотопляемости.

Компоновка СПК отличается высокой плотностью из-за ограниченных размеров корпуса. По этой причине на СПК отсутствуют различные пресудачные палубы, а на некоторых из них вообще нет каких-либо открытых прогулочных мест. Это обстоятельство в какой-то мере объясняет и отсутствие на СПК уютных спальных мест, хотя они судя из целесообразности в связи с непродолжительностью рейса.



Рис. 8.6. Архитектурно-конструктивная схема СПК зарубежной постройки.

1 — фер- и латеральные обшивки валик палубы верхнего; 2 — пассажирские салоны (включая верхний); 3 — радиационно-защитные обшивки; 4, 10 — корпус и носовая консольная балка; 5 — корпус палубы андеграфа (в корме находится ходовая машина); 6 — водная турбина; 7 — вертикальный цилиндр; 8 — блок автоматизированной системы; 9 — кормовая рубка.



Рис. 8.7. Архитектурно-конструктивная схема СПК типа «Крылья».

1 — продольная нормальная палуба (включая палубу в кормовом отсеке); 2 — кормовая палуба; 3 — сиденье в служебном отсеке; 4 — водонепроницаемая обшивка; 5 — вертикальный корпус (или бортик) — служебный отсек; 6 — стальной цилиндрический корпус; 7 — кормовая палуба; 8 — радиационно-защитные обшивки; 9 — водная турбина; 10 — кормовая рубка; 11 — кормовая палуба; 12 — форштевень.



Рис. 8.8. Архитектурно-конструктивная схема газотурбинного двигателя.

1 — фер- и латеральные обшивки; 2 — газотурбинное отделение; 3 — сиденье, вертикальные панели и валик латеральной обшивки; 4 — латеральная палуба; 5 — кормовая консольная балка; 6 — кормовая палуба; 7 — радиационно-защитные обшивки под главной палубой; 8 — турбина и вертикальный корпус; 9 — водная рубка; 10 — кормовая консольная балка.

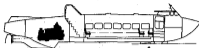


Рис. 8.9. Архитектурно-конструктивная схема СПК типа «Водрусла».



Рис. 8.10. Композиционная схема итальянского двухпалубного СПК типа R115-000: а — схема продольного разреза; б — схема расположения на верхней палубе; в — схема расположения на нижней палубе.

1 — салон-фер; 2 — кормовая рубка; 3 — кормовая палуба на верхней палубе; 4 — продольная палуба; 5 — кормовая палуба; 6 — кормовая палуба на нижней палубе (СГ или С); 7 — водонепроницаемая обшивка; 8 — радиационно-защитная обшивка; 9 — водная палуба на нижней палубе (или ход); 10 — турбина; 11 — вертикальный цилиндр; 12 — балка-нос; 13 — кормовая палуба; 14 — кормовая палуба; 15 — форштевень; 16 — планка сечения, защитная обшивка латеральной обшивки.

Улучшение комфорта для пассажиров в результате увеличения главных размерений (следовательно, и водоизмещения) судна вступает в противоречие со скоростью и экономичностью СПК. Это проявляется значительно острее по сравнению с водоизмещающими судами. Поэтому существенно важно, соблюдая нормы проектирования, добиваться наиболее оптимального варианта общего расположения, когда необходимый комфорт обеспечивается при

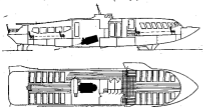


Рис. 8.11. Архитектурно-конструктивная схема СПК (ПНР).

минимальных главных размерениях. Однако при этом следует иметь в виду, что не только планировочные удобства или увеличенные площади и кубатура пассажирских салонов определяют комфортабельность обитания пассажиров на судне. Рядомыми критериями комфорта могут оказаться уровень шума в пассажирских салонах, вибрация и величина вертикальных перегрузок при ходе судна в условиях волнения.

Расположение машинного отделения: Архитектурно-планировочная схема СПК в большой мере определяется положением машинного отделения (МО) по длине судна. На существующих СПК встречаются различные варианты расположения МО: в носовой части (например, «Австралия»), в средней части судна (большинство СПК) и в корме (например, газотурбоход «Бурьянчик»).

Положение МО в носовой половине длины судна впереди пассажирского салона нежелательно по ряду причин: удлиняется гребной вал, ухудшаются условия обитаемости по шуму и вибрации, для пассажиров отсутствует обзор по ходу судна и т. д. К преимуществу носового расположения МО можно отнести лишь одно обстоятельство — уменьшение в районе пассажирского салона вертикальных перегрузок при ходе судна на волнении (рис. 8.11). Носовое расположение МО на СПК с относительно ве-

большой длиной и высоким подъемом корпуса над водой (и целях повышения мореходности) бывает вынужденным, если подвод мощности к движителю осуществляется прямой передачей через наклонный гребной вал, так как угол наклона вала к горизонту воды не должен превышать 13—15°, чтобы исключить работу вала в яском потоке.

Положение МО в средней части судна удобно в отношении удифференцировки. Кроме того, как показывает анализ судов отечественной постройки, при расположении МО в средней части судна палуба полнее используется для размещения пассажиров, служебных и бытовых помещений. Так, показатель L/B , характеризующий величину условной площади палубы, приходящейся на одного пассажира ($m^2/чел.$) для СПК со средним расположением МО лежит в пределах 1,7—1,8, а при кормовом расположении МО он в некоторых случаях снижается до 1,4 («Беларусь»). Однако недостатки, присущие носовому расположению МО, остаются и здесь: гребной вал имеет значительную длину, неудовлетворительные условия обитаемости в кормовом салоне. Дополнительно к этому добавляется неудобство в обслуживании пассажиров, связанное с разделением пассажирских салонов.

В связи с отмеченными недостатками в настоящее время преобладает тенденция к расположению энергетической установки в корме с отделением ее от пассажирских салонов блоком автономно-бытовых помещений (дежурные каюты команды, кладовки, умывальники, туалеты и др.). Кормовое расположение МО оказывается наиболее целесообразным и случае использования газовых турбин и водометных движителей. На некоторых СПК газовые турбины, как легкие и малогабаритные по ширине двигатели, располагают в бортовых спонсонах за пределами основной ширины корпуса (рис. 8.12). Кормовое расположение МО в случае использования дизелей потребует для передачи мощности применение дорогостоящих угловых валов или V-образной передачи через реверс-редуктор (рис. 8.13). При наиболее дешевой и технической простоте прямой передаче мощности к движителю через наклонный гребной вал неизбежно расположение двигателя в средней части, так как необходимо выдержать небольшой угол наклона гребного вала.

Длина МО. При разработке эскиза общего расположения проектируемого СПК в первую очередь следует решить вопрос о расположении МО и определить его длину. В первом приближении длину МО можно определять по формуле, предложенной И. Я. Басковым [11],

$$l_{MO} = 3,21g N_{дв} - 5, \quad (8.14)$$

где $N_{дв}$ — агрегатная мощность двигателя. Формула пригодна для дизельных и газотурбинных установок в предположении, что

энергетическая установка состоит из одного или двух двигателей, расположенных параллельно (двухвальная установка). Эшелонное расположение двигателей (один за другим по длине среза) на пассажирских СПК не применяется. В случае выравнивания водомет-

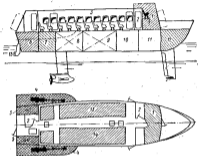


Рис. 8.12. Компоновочная схема марского СПК типа «Восток». 1 — рубка; 2 — пролет; 3 — пассажирский салон на 12 чел.; 4 — водозаборные шлюзы (расположены вне основного корпуса для размещения главных газотурбинных двигателей); 5 — водозаборные шлюзы; 6 — отсеки двигателя малой мощности; 7 — отсеки вспомогательных механизмов; 8 — топливный цистерны; 9 — отсеки штурвала; 10 — ватерлинии отсеков; 11 — аркавная балка; 12 — обшивка обшивочными панелями; 13 — форштевень; 14, 15 — ради кресла; 16 — комбинированный водомет с гребной винтом малой мощности.



Рис. 8.13. Схема корытного расположения главного двигателя с углублённой V-образной передаточной осью.

ных двигателей осевого типа результат, полученный по формуле (8.14), следует увеличить на 10%.

Пассажирские салоны. На существующих СПК пассажиры размещаются в одном-двух, максимум в трех салонах с числом

пассажиров в одном салоне до 100 человек. Площадь палубы, необходимая для размещения пассажирских салонов, может быть определена по выражению

$$S_p = \bar{S}_n, \quad (8.15)$$

где \bar{S} — площадь салона, приходящаяся на одного пассажира, м²/чел.; n — число пассажиров.

Для отечественных и зарубежных СПК значение \bar{S} колеблется в пределах 0,5—0,9 м²/чел. Величина эта регламентируется санитарными нормами и зависит от условий эксплуатации, длительности рейса, степени комфорта. Для режимов небольших СПК, эксплуатирующихся на маршрутах линиях с небольшими пробегом, величину \bar{S} можно принимать по нижнему пределу. Для морских СПК с длительностью рейса 4 ч и более значение \bar{S} следует брать не менее 0,8. Теплоход «Комета» имеет $\bar{S} = 0,82$, газотурбоход «Вурнестинка» — 0,78, «Беларусь» — 0,50. Для зарубежных теплоходов PT-50 и PT-150 \bar{S} соответственно равно 0,66 и 0,88.

Располагая значениями S_p , можно определить суммарную длину пассажирских салонов (a в метрах)

$$\sum L_c = \frac{S_p}{B_c}, \quad (8.16)$$

где B_c — ширина салона между стенками у палубы, на которой размещаются пассажирские кресла.

Ширина салона B_c должна выбираться из условия

$$B_c = n_1 b + n_2 B_{np} + 2\Delta_1, \quad (8.17)$$

где n_1 — число кресел в ряду по ширине судна; n_2 — число магистральных проходов; b — ширина одного кресла; B_{np} — ширина одного магистрального прохода; Δ_1 — зазор между крайними рядами кресел и стенками салона.

Сумма двух первых членов в выражении (8.17) представляет собой минимально необходимую ширину палубы в салоне

$$B_{c \text{ min}} = n_1 b + n_2 B_{np} \quad (8.18)$$

Зазор Δ_1 обусловлен наличием книц, связывающих бортовой набор салона с пассажирской палубой (при одноуровневой компоновке — это главная палуба). Протяженность книц по палубе составляет 4—5% ширины палубы. Поэтому необходимую ширину салона можно представить в виде

$$B_c = (0,96 + 0,94) \cdot B_{c \text{ min}} \quad (8.19)$$

Тогда ширина корпуса на уровне главной палубы определится по выражению

$$B_3 = B_2 + 2i_{3p}, \quad (8.20)$$

где i_{3p} — толщина бортов салона с изоляцией и отделкой.

Суммарная толщина $2i_{3p}$ составляет 3—5% ширины B_2 и, следовательно,

$$B_3 = (0,95 + 0,97) B_2. \quad (8.21)$$

Минимальная длина одного салона может быть найдена по формуле

$$L_{c \text{ мин}} = (n - 1)l_{кр} + 1,25l_{пр}, \quad (8.22)$$

где n — число кресел в ряду по длине судна; $l_{кр}$ — расстояние между спинками кресел (шир кресел). Действительная длина салона для построенных СПК обычно несколько больше минимальной и может быть определена по выражению

$$L_c = \bar{L}_{c \text{ мин}}, \quad (8.23)$$

где $\bar{L} = L_c / L_{c \text{ мин}}$ — отношение действительной длины салона к длине минимально необходимой. Величина отношения \bar{L} зависит от степени комфорта, от наличия буфетных стоков, числа и расположения входных дверей и т. п. Для зарубежных СПК это отношение близко к единице. Для отечественных судов оно колеблется в пределах 1,05—1,3, как исключение для носового салона СПК «Метеор» $\bar{L} = 1,2$, а для теплохода «Чайка» — 1,0.

Схема измерений, связанных с размещением пассажиров в салонах, показана на рис. 8.14 и рис. 8.15. Рекомендуемые значения величин, входящих в выражения (8.17) — (8.22), в зависимости от числа магистральных проходов и количества сидений в кресловых блоках приведены в табл. 8.2.

Высота корпуса и надстроек. В связи с тем что корпус и надстройка СПК в большинстве случаев конструктивно выполняются как одно целое, возникают формальные трудности в определении высоты борта H . Условно за высоту корпуса принимают величину возвышения над осевой линией нижней кромки оконных или входных проемов, отнесен к корпусу объем, заключенный между непроницаемыми бортами (рис. 8.16).

В начальной стадии проектирования важно определить положение водонепроницаемой палубы по высоте $H_{\text{пл}}$, поскольку она определяет прочность и непотопляемость СПК, а также и уровень размещения пассажирских кресел.

В первом приближении величину $H_{\text{пл}}$ можно найти, используя статистические значения отношения $H_{\text{пл}}/T$. Для отечественных

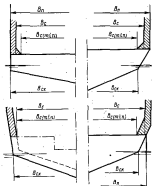


Рис. 8.14. Схема измерений при расчете размещения пассажиров в отсеках вост. по ширине.

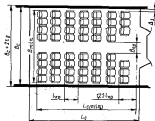


Рис. 8.15. Схема расположения кресел в средней части теплохода «Комета».

Таблица 8.2

Рекомендуемые значения параметров размещения пассажирского места в зависимости от конфигурации сема

Схема размещения пассажирского места	Ширина прохода $B_{пр}$, мм	Ширина борта сема $\sum A_{пр}$, мм	Требуемая минимальная ширина сема $B_{сма}$, мм	Штат корабля $L_{кр}$, мм
Однорядное по борту	600—650	550	1700	750—800
Двухрядное по борту	700—750	1000	2900—2950	800—850
Трехрядное по борту	800—850	1500	4100—4150	900—1000
Четырехрядное по борту	900—1000	2200	5300—5400	1000—1100
Двухрядное по борту и четырехрядное в середине, с двумя магистральными проходами	700—750	1000—2200	5800—5900	800
Однорядное по борту и трехрядное в середине, с двумя магистральными проходами	650—700	550	4050—4150	750
		1000		900—1000

СПК это отношение в среднем составляет 1,7. Можно принять

$$H_{кр} \approx 1,7T, \quad (8.24)$$

где T — расчетная осадка на плаву.

Для зарубежных СПК европейской постройки (суда фирмы «Супримар», итальянские СПК) это отношение лежит в пределах 1,25—1,5, а, например, для РТ-150С оно близко к единице. Для некоторых американских СПК, наоборот, это отношение достигает значительной величины (на газотурбоходе «Викторин» $H_{кр}/T = 2,74$). Отличительные резкие отклонения рассматриваемого отношения для отечественных и зарубежных судов объясняются различием архитектурно-конструктивных типов СПК.

Выбирая высоту $H_{кр}$, следует учитывать, что увеличение ее улучшает условия обеспечения общей прочности, безопасности и удобства обитания. Но при этом возрастает габаритная высота корпуса с надстройкой, повышается центр тяжести судна.

Обоснование выбора высоты борта на условия обеспечения непотопляемости и вывод приближенных формул для определения отношения $H_{кр}/T$ приведены в [11, 41]. Используя формулы, приведенные в [11] в предположении, что $H_{кр} \approx H_{кр0}$, можно получить зависимости:

для СПК с машинным отделением в середине

$$H_{кр} = 1,64T; \quad (8.25)$$

для СПК с машинным отделением в корме

$$H_{кр} = (1,7 \div 1,74)T. \quad (8.26)$$

После определения высоты борта до валубы переборок необходимо установить высоту надстройки H_n (рис. 8.16). На отечест-

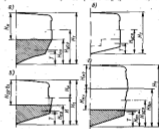


Рис. 8.16. Схемы распределения высоты корпуса и надстройки: а — надстройка расположена на гидроfoilной валубе; б — надстройка расположена в корме; в — надстройка расположена впереди в корме; г — надстройка расположена впереди в корме, валуба гидроfoilная отсутствует; г — СПК с двухуровневой надстройкой.

венных судах с одноуровневой компоновкой она колеблется в пределах от 2,4 м («Ракета») до 2,85 м («Вихрь»). На эти значения и следует ориентироваться, учитывая размеры судна, пассажиронаемность и требования в части комфортабельности судна. Минимальное значение высоты надстройки даже для небольших речных СПК не следует принимать меньше 2 м. Во всяком случае «чистая» высота салона в районе магистральных проходов не может быть меньше 1,9 м. Предельная высота надстройки не регламентируется, но ее не следует особенно завышать, так как это может повести к ухудшению навигационных и эксплуатационных качеств СПК (увеличение массы, парусности, уменьшение поперечной остойчивости и т. д.). На судах с двухуровневой компоновкой размеры по высоте приходится «сдерживать», поскольку

Среднеквадратичная ошибка формулы равна 9,9%.

Масса оборудования $P_{об}$. Эта величина может быть представлена в виде двух составляющих: массы экипажа, обрешетки и отделки $P_{об1}$ и массы оборудования салона, помещений и палуб $P_{об2}$. Масса $P_{об}$ для морских СПК определяется по выражению

$$P_{об} = 0,75 \frac{LBN}{100}, \quad (8.34)$$

а для речных СПК она на 10% меньше.

Масса оборудования помещений состоит в основном из массы кресел (~65%), поэтому ее целесообразно определить в зависимости от числа пассажиров. Для отечественных СПК при массе одного кресла 12 кг можно воспользоваться выражением

$$P_{об} \approx 0,0171N, \quad (8.35)$$

где N — число пассажиров.

Масса механизмов P_m . Составляющая включает в себя массу главных и вспомогательных двигателей с навешенными на них оборудованием, массу трубопроводов машинного отделения, а также двигателей и элементов передачи энергии к ним (калопрыводы, редукторы и т. п.). Поэтому масса механизмов P_m зависит от многих особенностей энергетической установки: от типа и мощности главных двигателей, от способа передачи мощности к двигателям, наличия двигателей и двигателей малого хода, других особенностей и условий эксплуатации.

Масса механизмов обычно представляется в виде зависимости

$$P_m = q_m N, \quad (8.36)$$

где N — суммарная эксплуатационная мощность главных двигателей, л. с.; q_m — удельная масса энергетической установки, кг/кВт.

Для отечественных дизельных СПК величина q_m , отнесенная к суммарной эксплуатационной мощности, составляет 5,7—4,9 кг/кВт, отнесенная к суммарной установочной мощности удельная масса равна $q_m = 4,1+3,5$ кг/кВт. Если известна удельная масса главных двигателей $q_{гд}$, то можно воспользоваться приближенной зависимостью

$$q_m \approx 2q_{гд}. \quad (8.37)$$

Значение q_m для газотурбинных СПК при отсутствии прототипа может быть принято равным двум ($q_m = 2$ кг/кВт). Среднеквадратичная погрешность этого значения составляет около 12%.

Масса судовых систем $P_{сис}$. В первом приближении эта величина обычно принимается пропорциональной водоизмещению

$$P_{сис} = cD, \quad (8.38)$$

Для отечественных СПК значение c колеблется в пределах 1,0—1,8%. При наличии установки кондиционирования коэффициент пропорциональности возрастает до 3—4%.

Масса электрооборудования $P_{э.об}$. Приближенно данную составляющую можно оценить по эмпирической зависимости

$$P_{э.об} = (a - bD) \frac{D}{100}, \quad (8.39)$$

Коэффициенты a и b принимают: для речных СПК разряда «Р» и «О» $a = 3,25$, $b = 2 \cdot 10^{-2}$; для морских СПК $a = 5,5$, $b = 2,74 \times 10^{-2}$.

Формула (8.39) применима в пределах $D = 20+120$ т.

Масса снабжения $P_{снаб}$ (тросы, канаты, спасательные принадлежности и др.). Для речных СПК ее можно приближенно определить по формуле

$$P_{снаб} = 0,06D^{0,75}. \quad (8.40)$$

Для морских СПК $P_{снаб}$ необходимо увеличить примерно в два раза в связи с большим количеством спасательных плотов (на всех пассажиров и команду).

Масса жидких грузов $P_{ж.г}$. В нее включается и сжатый воздух в баллонах. Эта составляющая определяется обычно в зависимости от водоизмещения. Для предварительной ее оценки можно воспользоваться зависимостью

$$P_{ж.г} = 0,09D^{0,75} - 0,54. \quad (8.41)$$

Среднеквадратичная ошибка формулы (8.41) составляет 28%.

Действ. ($P_{д.г} + P_m + P_{об} + P_{э.об}$). Масса перевозимого груза $P_{д.г}$ определяется техническим заданием. Для пассажирских судов — это масса перевозимых пассажиров, которую рекомендуется принимать из расчета 95 кг на одного пассажира с багажом.

2. Масса экипажа $P_э$ с пропаном в пресной воде принимается по обычным нормам для водоизмещающих судов в зависимости от автономности плавания.

3. Масса запасов пресной воды для пассажиров $P_{в.з}$ также принимается по существующим нормам в зависимости от числа пассажиров и длительности рейса.

4. Масса запасов топлива и смазочного масла $P_{т.с}$ для установок определяется по выражению

$$P_{т.с} = (m_1 q_1 + m_2 q_2) N V \cdot 10^{-2}, \quad (8.42)$$

где $P_{т.с}$ — запасы топлива и масла, т; q_1 — удельный расход топлива, кг/кВт·ч; q_2 — удельный расход смазочного масла, кг/кВт·ч; m_1 — коэффициент запаса на перерасход топлива в неблагоприятных метеорологических условиях движения СПК

(встречный ветер, волнение) и на режимах выхода СПК на крылья. Принимают $m_1 = 1,1$, m_2 — коэффициент увеличения запаса связи, принимают $m_2 = 2$; t — время работы двигателя на полной эксплуатационной мощности $N_{\text{э}}$; τ — время t определяется автономностью СПК по топливу и зависит от дальности безаварийного хода, т. е. от дальности плавания, по выражению

$$t = \tau V_{\text{э}} \quad (8.43)$$

где t — дальность плавания, м. мили; $V_{\text{э}}$ — эксплуатационная скорость, уз.

Запас водозамещения ΔD . В связи с тем что корабельные расчеты, в том числе и расчет нагрузки судна, производятся приближенными методами, водозамещение судна на всех этапах проектирования определяется также приближенно и с той или иной степенью погрешности отличается от истинного значения. Водозамещение, полученное расчетом, будет больше или меньше действительного. Второй случай опасен, поскольку превышение расчетного водозамещения может обусловить невыполнение основных требований технического задания. Поэтому для получения гарантируемого водозамещения к весовой нагрузке судна включается запас водозамещения ΔD .

При научном подходе к определению запаса водозамещения его следует рассматривать как разность между истинной суммарной массой всех конструктивных элементов судна с полезной нагрузкой и необходимыми запасами и ее математическим ожиданием. Эта разность является случайной величиной, которая подчиняется нормальному закону распределения вероятности ее появления. Теория ошибок, возникающих при проектировании судов, разработана С. А. Базилевским.

Согласно этим разработкам запас водозамещения может быть определен по формуле

$$\Delta D = f(\epsilon) \sqrt{\sum (\bar{P}_i)^2} \quad (8.44)$$

где \bar{P}_i — квадратичная ошибка формулы для определения массы P_i ; $f(\epsilon)$ — широкое отклонение (ошибка).

Нормированное отклонение зависит от допустимой вероятности риска превысить водозамещение, которая принимается тем меньше, чем выше стадия разработки проекта. Для первого приближения можно принимать $f(\epsilon) = 0,84$, что соответствует допустимой степени риска $p = (1 - \epsilon) = 0,20$. При втором приближении $f(\epsilon) = 1,28$ при степени риска $p = 0,10$.

Математический метод определения запаса водозамещения, основанный на использовании нормального закона распределения ошибок, не нашел еще необходимого распространения в практике проектирования. Запас водозамещения обычно назначается глав-

ным конструктором. Он же и распределяет лимиты расхода металла ΔD по отделам.

По опыту ЦКБ по СПК запас водозамещения ΔD принимается в пределах 2—5% водозамещения.

Кроме ΔD различают еще два вида запаса водозамещения: запас водозамещения на модернизацию судна Δ_1 и запас технического прогресса Δ_2 .

Оба запаса регламентируются заказчиком и оговариваются в техническом задании. Запас Δ_1 не может быть израсходован при проектировании и постройке судна. Запас Δ_2 предусматривает компенсации возможного утяжеления судна при замене старых образцов оборудования новыми, которые могут появиться в период проектирования или в период серийной постройки. Расходование запаса Δ_2 может производиться лишь с санкции заказчика.

Выбор элементов гидродинамического комплекса «крылья-прусы»

§ 8.4

Крыльцовое устройство и его элементы

8.4.1

Крыльцовое устройство в целом и его элементы должны обеспечивать проектируемому СПК все основные навигационные и эксплуатационные качества; т. е. устойчивость и безопасность движения при всех режимах хода; высокое гидродинамическое качество; отсутствие кавитации; заданную мореходность при допустимых параметрах качки; быстрый выход на крылья; малую массу, простоту и долговечность крыльцового устройства; простоту и экономичность эксплуатации.

По выбору типа крыльцового устройства могут быть высказаны следующие общие соображения.

Для легких речных пассажирских СПК выбор крыльцового системы можно рассматривать, очевидно, как задачу с однозначным решением: применимы только малопоружневые неподвижные крылья, обеспечивающие простоту и легкость крыльцового устройства при достаточно высоком гидродинамическом качестве, экономичности и удобстве эксплуатации. Это подтверждается отечественным опытом постройки и эксплуатации речных пассажирских СПК.

Для крупных морских пассажирских СПК, особенно для тех, к которым могут быть предъявлены повышенные требования комфорта при высокой мореходности (например, к СПК, предназначенным для международных туристско-пассажирских линий), единственным приемлемой может оказаться система из глубоководных крыльев с электронной САУПК.

Для СПК, предназначенных к эксплуатации на прибрежных морских линиях местного значения, а также для СПК серийного плавания диапазон возможных решений при выборе типа крыльев расширяется, что одновременно и упрощает, и усложняет задачу, так как требуется более обстоятельно обосновать принятое решение, показать его преимущества (иногда минимальные) перед другими возможными вариантами. Здесь возможно применение неуправляемых V-образных (по типу СПК фирмы «Суармара») и промежуточных крыльев (по типу теплохода «Комета»), глубокопогруженных крыльев с раздвоенными механическими САУПК, вентиляруемых крыльев с упрощенными системами автоматического управления и т. д.

Конструктивные, гидродинамические и мореходные особенности различных типов крыльев и крыльевых систем рассмотрены в гл. 5 и 7.

Выбор типа крыльев и крыльевой системы зависит от инженерного опыта и теоретической подготовки конструкторов, а также от конкретных условий проектирования, в числе которых могут быть сроки выполнения заказа, производственные возможности завода-строителя, особые условия заказчика и др.

В процессе предварительной разработки крыльевого устройства в первую очередь определяется суммарная площадь основных несущих крыльев, производится ее распределение между носовыми и кормовыми крыльями. Исходя из площадей, определяются размеры крыльев, подбираются их профили. Выбирается крыльевая база, т. е. расстояние между носовым и кормовым крыльями. Намечается положение крыльев относительно корпуса по высоте, определяются элементы крыльевых стоек. Если необходимо стартовое устройство, выбирается его тип, определяются элементы стартовых крыльев.

Напомним, что элементы крыльевой системы и основные характеристики судна взаимосвязаны и должны выбираться с учетом этого обстоятельства. Предварительный расчет элементов крыльевой системы должен производиться сразу же после определения основных характеристик судна в первом приближении. Это обеспечит своевременную взаимную корректировку определенных элементов, их согласованный выбор.

Окончательный выбор элементов крыльевого устройства осуществляется на стадии эскизного и технического проектов в результате подробных гидродинамических, прочностных и других видов расчетов, а также в результате экспериментальных работ в опытовом бассейне. Подчеркнем сложность проектирования элементов крыльевых устройств, отметим, что некоторые их параметры (например, установочные углы) доводятся уже на построенном головном образце СПК во время его заводских испытаний.

Ниже рассмотрены способы определения основных элементов крыльевого устройства в начальной стадии проектирования СПК.

Площадь и размеры несущих крыльев

8.4.2

В первом приближении суммарную площадь несущих крыльев следует найти через удельную нагрузку по выражению

$$S_{\text{сум}} = D(D/S_{\text{сум}})^{-1}. \quad (8.45)$$

Удельная нагрузка может быть определена по формуле

$$D/S = aV^{1/2} - b, \quad (8.46)$$

где V — скорость судна, м/с; D — масса судна, т.

Значения коэффициентов в формуле (8.46) принимают: для морских СПК $a = 2,45$; $b = 6,4$ т/м²; для речных СПК $a = 2,66$; $b = 8,25$ т/м².

Среднеквадратичная ошибка формулы (8.45) составляет: по морским СПК ~16%, по речным СПК ~14,6%.

Полученную площадь следует разделить по крыльям и определить площади S_n и S_k . Отношение S_n/S_k зависит от центровки судна и выбранной схемы распределения нагрузки по крыльям. Установив площадь крыльев, определяют их размах l_i и хорду b_i , задаваясь отношением λ_i . Размах крыльев, образуемых с габаритными размерами судна по ширине, желательно принимать возможно наибольшим. Во всяком случае удлинение монокрыла должно удовлетворять условию $\lambda > 4$, чтобы избежать заметного возрастания индуктивного сопротивления и вследствие этого снижения гидродинамического качества. Отношение $\lambda > 10$ может вызвать осложнение в части обеспечения прочности крыльев. Таким образом, зона изменения λ ограничивается пределами $\lambda = 4 + 10$.

Размах и хорда определяются по зависимости

$$\left. \begin{aligned} l_i &= \sqrt{S_i \lambda_i}; \\ b_i &= \sqrt{l_i / \lambda_i} \end{aligned} \right\} \quad (8.47)$$

где S_i — площадь носового или кормового крыла, м²; λ_i — относительное удлинение носового или кормового крыла.

Расположение крыльев по длине судна

8.4.3

Длина крыльевой базы $L_{\text{с.к}}$ (расстояние между носовым и кормовым крыльями) и расположение ее относительно ЦТ судна существенно влияют на гидродинамическое качество крыльевой системы, общую прочность и мореходные качества СПК.

Выбор $L_{\lambda, \sigma}$ по гидродинамическим условиям. За носовым крылом образуется волновая впадина, которая по мере удаления от крыла в корму сужается и переходит в продольно-вертикальный гребень (рис. 8.17, а, б). В поперечном сечении впадина имеет

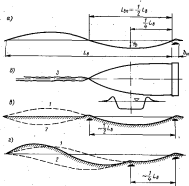


Рис. 8.17. Волновые профили лопатки подводных гидрогруженых крыльев: а — за одиночным крылом; б — форма волновой впадины в плане и поперечном сечении; в — волновой профиль системы стандартной биэллиптической интерференции вдали от носового и кормового крыла; г — биэллиптическая интерференция вблизи

1 — волновой профиль за носовым крылом; 2 — волновой профиль за кормовым крылом; 3 — продольно-вертикальный волновой гребень за задней кромкой заднего крыла.

траншейную форму, крутизна боковых стенок впадины уменьшается с углублением крыла.

Эффективность работы кормового крыла в волновом потоке во многом зависит от его положения по длине профиля носовой крыльевой волны и при проектировании необходимо знать ее параметры, чтобы определить оптимальную длину крыльевой базы.

Рассмотрим кратко этот вопрос.

На основании экспериментально-теоретических исследований Л. А. Эпштейн получил универсальную кривую $\frac{L_{\lambda, \sigma}}{\lambda} = f\left(\frac{Fr_{\lambda}}{\sqrt{\lambda}}\right)$, которая может быть аппроксимирована линейной зависимостью

$$\frac{L_{\lambda, \sigma}}{\lambda} = 1,25 \frac{Fr_{\lambda}}{\sqrt{\lambda}} - 0,5, \quad (8.48)$$

где $L_{\lambda, \sigma} = \frac{L_{\lambda}}{\lambda}$ — относительная длина волны; $Fr_{\lambda} = V/\sqrt{g\lambda}$ — число Фруда по хорде; λ — хорда носового крыла.

Тогда длина волны за крылом

$$L_{\lambda} = 5\lambda (Fr_{\lambda} \sqrt{\lambda} - 0,4\lambda), \quad (8.49)$$

а длина впадины ($L_{\lambda, \sigma} = 0,5L_{\lambda}$)

$$L_{\lambda, \sigma} = 2,5\lambda (Fr_{\lambda} \sqrt{\lambda} - 0,4\lambda). \quad (8.50)$$

Аналогичную зависимость предложил С. Д. Чудинов:

$$L_{\lambda, \sigma} = 1,85\lambda Fr_{\lambda} \sqrt{\lambda}. \quad (8.51)$$

Максимальная амплитуда волны a , отсчитываемая от невозмущенной поверхности воды может быть определена по формуле, предложенной В. И. Вайсфельдом.

$$a = b_0 C_{\lambda} \left(\frac{1}{2} \frac{V}{\sqrt{g}} + 0,5 \right), \quad (8.52)$$

где b_0 — размах крыла, V — скорость движения.

Кормовое крыло, поставленное за носовым, будет также создавать волновую систему. Волны от носового и кормового крыла, складываясь, образуют общую волновую систему. Амплитуда суммарных волн позади заднего СПК может быть больше или меньше амплитуды отдельных крыльевых волн в зависимости от положения кормового крыла, определяющего характер интерференции волн за крыльевой системой.

Наиболее благоприятный случай, когда крыльевая система имеет наименьшее волновое сопротивление, соответствует длине крыльевой базы, равной длине волновой впадины за носовым крылом ($L_{\lambda, \sigma} \approx L_{\lambda, \sigma}$). Наихудший случай наблюдается при $L_{\lambda, \sigma} < \frac{1}{2} L_{\lambda, \sigma}$.

При выборе $L_{\lambda, \sigma}$ необходимо также учитывать особенности работы кормового крыла в волновом потоке. Необходимо, чтобы оно располагалось от носового крыла в пределах $\frac{1}{2} L_{\lambda, \sigma} < L_{\lambda, \sigma} < L_{\lambda, \sigma}$ (рис. 8.18, а). В этом случае положительный угол скольжения β_{λ} , обуславливает вертикальные составляющие набегающего потока, направленные вверх, благодаря чему подъемная сила крыла увеличивается. Главный гидродинамический

вектор $V_{\text{в}}$ имеет направление, перпендикулярное набегающему потоку, отклоняется в сторону носового края и создает таким образом горизонтальную составляющую $P_{\text{в}}$, направленную вперед. Создается как бы дополнительная тяга, которую можно рассматривать в как величину, уменьшающую сопротивление кормового крыла. Наиболее эффективное положение кормового крыла в системе стандарта будет соответствовать условию $L_{\text{в.с}} \approx L_{\text{н.с}}$, так

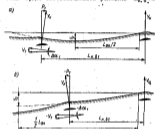


Рис. 8.18. Высота дна крыльевой базы $L_{\text{в.с}}$ на работу кормового крыла: а — $L_{\text{в.с}} > 1/2 L_{\text{н.с}}$, кормовое крыло создает дополнительную тягу $P_{\text{в}}$; б — $L_{\text{в.с}} < 1/2 L_{\text{н.с}}$, кормовое крыло увеличивает сопротивление крыльевой системы.

как максимальный положительный угол склона волнового потока $\Delta\alpha$, находящегося в кормовой части волновой впадины, в точке перехода подножья волны в ее вершину.

При расположении кормового крыла в районе носового склона впадины ($L_{\text{в.с}} < 0,5L_{\text{н.с}}$) подъемная сила его и гидродинамическое качество снижаются. Это объясняется тем, что отрицательный угол склона потока $\Delta\alpha$, обуславливает вертикальные скорости $V_{\text{в}}$, направленные вниз и отклонением главного гидродинамического вектора в кормовую часть судна. Образующаяся при этом горизонтальная составляющая увеличивает сопротивление крыла (рис. 8.18, б).

При правильном выборе дна крыльевой базы может быть достигнуто существенное улучшение ходкости СПК как путем повышения гидродинамического качества кормового крыла, так и путем снижения волнового сопротивления крыльевой системы.

В практических условиях, и, к сожалению, не всегда можно обеспечить оптимальное расположение кормового крыла особенно при высоких числах Фруда ($Fr_c > 10$) в связи с ограниченной длиной судна.

Для малых СПК с высокими скоростями, когда кормовое крыло может быть расположено только в районе носового склона волновой впадины, целесообразно отказаться от носового монокрыла, заменив его двумя разделенными крыльями. В трельчатой системе крылья будут работать изолированно, без влияния друг на друга при условии, что расстояние между разделенными носовыми крыльями будет не меньше размаха кормового крыла. Следует, однако, иметь в виду, что гидродинамическое качество двух разделенных носовых крыльев будет ниже по сравнению с монокрылом в связи с их малым относительным размахом λ , а конструктивное решение задачи крепления крыльев к корпусу усложняется; ухудшается и эксплуатационная приспособленность СПК. Поэтому рассматриваемый вопрос при проектировании должен быть тщательно проанализирован.

Для относительно крупных высокоскоростных морских СПК с точки зрения получения высокого гидродинамического качества и обеспечения необходимой мореходности целесообразной будет крыльевая система с управляемыми глубоководными разделенными крыльями. В этом случае выбор крыльевой базы $L_{\text{в.с}}$ практически не связан с гидродинамическими особенностями крыльевой системы и определяется в основном с условием обеспечения общей прочности СПК.

Выбор $L_{\text{в.с}}$ по условию общей прочности СПК. Рассмотренное судно, идущее на крыльях, как балку на двух опорах, нагрузку которой можно приближенно принять равномерно распределенной, ветровой прыжка к ветровой, что наибольшийгибающий момент на тихой воде будет при $L_{\text{в.с}} \approx L_{\text{н.с}}$ и наименьший — при расположении крыльевых стоек на $0,25L_{\text{н.с}}$ от ствальной, если ЦТ расположен примерно на середине длины корпуса.

Если положение кормового крыла фиксируется по условию размещения винторулевого комплекса, то варьирование длины $L_{\text{в.с}}$ возможно лишь путем перемещения носового крыла. При этом, как показывает анализ проектных данных для отечественных СПК, минимальныйгибающий момент соответствует относительной длине крыльевой базы $L_{\text{в.с}}/L_{\text{н.с}} = 0,64$. Дальнейшее уменьшение крыльевой базы приводит к увеличениюгибающего момента в районе носового крыла в результате увеличения массы свободно висящей носовой части корпуса.

Выбор $L_{\text{в.с}}$ по условию мореходности. Расстояние между крыльями, в точное соотношение этого расстояния с расчетной длиной ветровой волны λ , оказывает существенное влияние на

величину вертикальных ускорений. Исследования, проведенные за рубежом и у нас, показывают следующее:

наибольшие вертикальные ускорения наблюдаются при давлении крыльевой базы, равной длине ветровой волны ($L_{\text{кр}}, \sigma \lambda_w \approx 1$);

вертикальные ускорения уменьшаются, если отношение $L_{\text{кр}}, \sigma \lambda_w$ увеличивается. При этом лучше брать некриватное отношение (1,5; 2,5 и т. д.), так как уменьшение ускорений идет по периодическому закону с пиками на кратных числах отношений $L_{\text{кр}}, \sigma \lambda_w$. Факт уменьшения вертикальных ускорений при увеличении отношения $L_{\text{кр}}, \sigma \lambda_w$ связан с уменьшением абсолютных размеров ветровой волны, что, естественно, обуславливает и меньшие дополнительные нагрузки на крыльях;

вертикальные ускорения уменьшаются и с уменьшением отношения $L_{\text{кр}}, \sigma \lambda_w$, т. е. с увеличением ветровой волны. В этом случае судно начинает следовать за профилем волны, и дополнительные нагрузки на крылья уменьшаются.

Таким образом, для неуправляемых крыльев крыльевую базу следует выбирать или больше, или меньше длины расчетной ветровой волны.

Выбор профиля крыльев

8.4.4

Профиль крыла должен обеспечивать высокое гидродинамическое качество, обладать широким диапазоном бесрывных углов атаки и повышенными антикавитационными характеристиками. Важным условием выбора профиля является также степень сложности технологии изготовления.

Проектирование профилей и формы крыла применительно к конкретному типу судна является весьма сложной задачей, не всегда решимой прототипом. Отработка крыльев проводится в гидродинамических лабораториях путем буксировки изолированных крыльев и моделей СПК с различными типами крыльевых устройств, а также на самоходных моделях и экспериментальных судах.

В результате экспериментально-теоретических исследований, проводимых длительное время в крупнейших гидродинамических центрах ряда стран, а также благодаря опыту постройки и эксплуатации СПК, отработано большое количество различных типов крыльевых профилей и крыльев в целом, по которым составлены все необходимые гидродинамические характеристики. Эти материалы могут быть использованы при проектировании.

Наибольшее распространение получили несложные и изготовленные плоско-выпуклые профили: симметричный сегмент, несимметричный сегмент и профиль Вальхера, для которого характерно скругление носика, шаление плоского участка на спинке и небольшой подъем задней кромки.

Оптимальным профилем для малонагруженных крыльев при скоростях 15—33 м/с является сегментный несимметричный профиль с наибольшей относительной толщиной $c = 0,08 + 0,04$, расположенной от носика на 0,4б. При высоком гидродинамическом качестве он обладает достаточно широким диапазоном углов атаки с плоским (бесрывным) обтеканием обшивки свободной поверхности.

Сегментные симметричные профили, наиболее простые в технологическом отношении, широко используются для V-образных крыльев, пересекающих свободную поверхность.

Скругленные носовой кромки плоско-выпуклых профилей, как это, например, сделано на профиле Вальхера, увеличивает диапазон бескавитационных углов атаки. Подобные профили целесообразно использовать для глубокопогруженных крыльев. Для крыльев, пересекающих поверхность, их не применяют из-за большого брызгообразования. Вблизи свободной поверхности они также работают неудовлетворительно.

Двояковыпуклые профили обладают наиболее высоким антикавитационными свойствами, и их применение целесообразно для глубокопогруженных крыльев высокоскоростных судов.

Недостатком двояковыпуклых профилей является сложность их изготовления.

Вогнуто-выпуклые профили крыльев с острыми кромками обладают наиболее высоким гидродинамическим качеством по сравнению с другими профилями, позволяют достигать высоких предельных скоростей, но, пожалуй, и наиболее сложны в изготовлении.

Уточнение элементов несущих крыльев

8.4.5

Выбор базисной крыльевой базы $L_{\text{кр}}, \sigma$ позволяет составить систему элементарных уравнений статического равновесия сил и моментов, действующих на СПК, и уточнить первоначально принятые значения элементов несущих крыльев.

Упрощенная схема сил, действующих на СПК при установившемся режиме движения на крыльях, показана на рис. 8.19.

При установившемся движении сумма проекций сил на вертикальную ось и сумм дифференцирующих моментов, взятых относительно любой точки (обычно берут относительно ЦТ или относительно точки O на транце), должны быть равны нулю, т. е.

$$\left. \begin{aligned} \sum P_i &= 0; \\ \sum M_i &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (8.53)$$

По схеме на рис. 8.19

$$\left. \begin{aligned} \sum P_i - P_n + P_x + P_z - Dg = 0; \\ \sum M_{i(ЦТ)} = P_n l_{n(ЦТ)} + P_x l_{x(ЦТ)} + R_{воз} z_{воз} - P_{обд} l_{обд} - R l_{R(ЦТ)} = 0, \end{aligned} \right\} (8.54)$$

где P_n , P_x — подъемные силы носового и кормового крыла; P — тяга винта; P_n — вертикальная составляющая тяги движителя; $R_{воз}$ — воздушное сопротивление СПК; R — равнодействующая

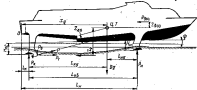


Рис. 8.19. Схема основных сил, действующих на СПК в режиме хода на крыльях.

цены суммарного сопротивления подводных крыльев и выступающих частей; $l_{n(ЦТ)}$, $l_{x(ЦТ)}$ — расстояния носового и кормового крыла от центра тяжести; $z_{воз}$ — плечо тяги движителя относительно ЦТ; z_R — плечо равнодействующей R относительно ЦТ; $z_{воз}$ — плечо равнодействующей воздушного сопротивления.

Ряд сил и моментов, входящих в систему (8.54), незначителен по своей величине, или эти силы и моменты противодействуют и нейтрализуют друг друга, и ими можно пренебречь.

Во многих случаях с практически достаточной точностью систему уравнений (8.54) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} P_n + P_x - Dg = 0; \\ P_{обд} - P_{обд} = 0. \end{aligned} \right\} (8.55)$$

Обозначив $l_{n(ЦТ)}/L_{н.к}$ через $\bar{l}_{n(ЦТ)}$, получаем

$$\left. \begin{aligned} P_n = Dg \bar{l}_{n(ЦТ)}; \\ P_x = Dg(1 - \bar{l}_{n(ЦТ)}). \end{aligned} \right\} (8.56)$$

Зная величину $L_{н.к}$ и задавшись положением кормового крыла, по уравнениям (8.56) можно легко найти значение нагрузок на носовое и кормовое крыло.

Теперь ранее выбранные площади крыльев могут быть уточнены по формулам

$$\left. \begin{aligned} S_n = \frac{2P_n}{C_{рн} V^2}; \\ S_x = \frac{2P_x}{C_{рх} V^2}, \end{aligned} \right\} (8.57)$$

где V — расчетная (эксплуатационная) скорость СПК, м/с; $C_{рн}$, $C_{рх}$ — коэффициенты подъемной силы соответственно носового и кормового крыльев.

Важным моментом расчета необходимых площадей несущих крыльев по формулам (8.57) является выбор коэффициентов $C_{рн}$ и $C_{рх}$. Здесь должны быть учтены следующие положения: величина C_r зависит от скорости движения, заглубления, профиля и относительной толщины крыла;

выбранное значение C_r должно быть по возможности ближе к оптимальному, т. е. к значению, при котором обеспечивается максимальное гидродинамическое качество, и при этом обязательно проверено на соответствие бескавитационному обтеканию крыла;

при заданной относительной толщине профиля принимаемое значение C_r должно быть тем меньше, чем больше скорость и оборот;

при заданной скорости принимаемое значение C_r уменьшают с увеличением относительной толщины профиля;

для построенных СПК C_r колеблется в пределах 0,1–0,3; $C_r < 0,1$, особенно при небольших скоростях, обуславливает большие площади крыльев и, следовательно, значительный вес кормового устройства так, что может быть поставлена под вопрос рентабельность СПК;

$C_r > 0,3$, особенно для крыльев СПК с высокой скоростью, может обусловить возникновение кавитации, а также малые размеры крыла по хорде и толщине, затрудняющие обеспечение прочности крыльев;

коэффициент подъемной силы кормового крыла $C_{рх}$, работающего в системе «тапкан», может быть принят примерно в 1,35 раза больше, чем для носового, поскольку возможные нарушения его обтекания и срыв подъемной силы не грозят серьезными последствиями.

Появным последнее положение. При срыве подъемной силы кормового крыла оно заглубляется, и при этом увеличивается ходовой угол атаки. Оба эти фактора способствуют быстрому восстановлению подъемной силы крыла. При срыве подъемной силы носового крыла одновременно с его заглублением уменьшается угол атаки, и может оказаться так, что подъемная сила не будет уменьшаться, что становится угрожающим для безопасности

дания СПК. Поэтому выбор коэффициента подъемной силы носового крыла должен быть достаточно обоснован и проверен.

В зависимости от скорости судна, водовытеснения и типа крыльев при выборе коэффициента подъемной силы носового крыла можно воспользоваться следующими ориентировочными рекомендациями [16]: $C_{L_n} = 0,1 \div 0,2$ при $V = 16,5 \div 23$ м/с для плоскоклевчатых малозагруженных крыльев; $C_{L_n} = 0,2 \div 0,25$ при $V = 14 \div 16,5$ м/с для трапециевидных крыльев с широкой малозагруженной плоской частью; $C_{L_n} > 0,5$ при $V = 8,5 \div 11$ м/с для гидродинамически управляемых крыльев на небольших СПК (D до 20—25 ф).

Более точный выбор C_{L_n} и C_{L_p} и окончательное определение площади несущих крыльев могут быть произведены в зависимости от принятого профиля крыла по его гидродинамическим характеристикам. Для этого необходимо прежде всего задаться относительным углублением килей \bar{h} . Для режущих мелкозадних СПК \bar{h} можно принимать в пределах 0,1—0,4, заметив при этом, что при меньших значениях \bar{h} лучше будет обеспечиться поперечная устойчивость. Для СПК с повышенной мореходностью \bar{h} принимают в пределах 0,5—1,0, а для вересков СПК при большой балльности волнения значение относительного углубления существенно увеличивается (до $\bar{h} = 3$). Абсолютную величину углубления h рекомендуется, например в [42], принимать по соотношению

$$h = 0,6h_w \quad (8.56)$$

где h_w — высота расчетной волны. По этой величине h можно определить $\bar{h} = h/b$.

По принятому значению \bar{h} , пользуясь кривыми $K = f(C_L)$ для выбранного профиля находят значение C_L , соответствующее максимальному гидродинамическому качеству K . Выбранные \bar{h} и полученные значения \bar{h} , \bar{C} и C_p привносят к расчетной скорости V проверки на обеспечение бескавантового обтекания. Если максимальная скорость бескавантового обтекания [см. формулу (5.8)] больше расчетной, полученное оптимальное значение C_p принимается. В противном случае значение C_p следует уменьшить и снова проверить на кавитацию.

Полученные по формулам (8.57) уточненные значения площади крыльев S_n и S_p позволяет уточнить размеры крыльев в плане. При этом величину хорды следует согласовать с принятым относительным углублением крыла, проверяя ее значение по выражению

$$b = h/\bar{h} \quad (8.59)$$

где h — абсолютное углубление нижней кромки крыла, определяемое по соотношению (8.58).

Высота и профиль крыльевых стоек

3.4.6

Расчетная высота носовых и кормовых крыльевых стоек $H_{n,c}$ и $H_{k,c}$ определяется как расстояние от нижней кромки крыла до осевой линии корпуса (см. рис. 8.19). Значение этой величины выбирается из условий обеспечения мореходности, поперечной устойчивости, исключения вредного взаимодействия крыла с корпусом в режиме выхода из крыльев и, наконец, по условию ограниченной габаритной осадки СПК на ялву.

По условию мореходности значения высоты крыльевых стоек должны приниматься такими, чтобы при ходе на расчетном волнении корпус не соударялся с гребнями волн. Из этого условия с учетом величин заглужения нижней кромки крыла [см. соотношение (8.58)], получим

$$H_{n,c} = 1,1h_w \quad (8.60)$$

Высота кормовых стоек при одинаковых расчетных заглужениях носового и кормового крыла с учетом угла дифферента ϕ и глубины выноса за носовым крылом определяется по выражению

$$H_{k,c} = H_{n,c} + y_w - \phi L_{n,c} \quad (8.61)$$

где y_w — ордината волновой ялвы за носовым крылом на расстоянии от него, равном $L_{n,c}$.

Поперечная устойчивость на крыльях при выбранной высоте стоек должна быть проверена хотя бы при условии статического воздействия на судно бокового ветра. При этом принимаются: скорость судна — минимально возможная, примерно равная скорости отрыва, скорость ветра — средняя в пределах заданной мореходности (балльности). Устойчивость судна можно считать обеспеченной, если

$$M_{\theta} < Dgh_{\theta} \quad (8.62)$$

где h_{θ} — условная метacentрическая высота [см. гл. 7]; $\theta < 10^\circ$ — нормируемый угол крена.

Для режущих СПК с малозагруженными крыльями из-за ограничения габаритной осадки судна на ходу и на ялву высоту стоек следует принимать с учетом взаимодействия крыльев и корпуса в режиме выхода судна из крыльев. В этом режиме подъемная сила создается как за счет корпуса, на днище которого возникает избыточное гидродинамическое давление, так и за счет крыльев, над верхней стороной которых образуется разрежение, т. е. пониженное давление. Таким образом, если крылья будут расположены близко к корпусу, зона повышенного давления под корпусом и зона пониженного давления над крыльями, взаимодействуя, в определенной мере нейтрализуют друг друга, и общая подъемная сила снизится. Это обусловит увеличение длины стартового пробега судна и время его выхода на крылья.

Ваннослизные крылья и корпуса проявляются особенно заметно при $H_0/b < 1$.

В качестве конструктивных мер, исключающих или значительно уменьшающих нежелательное взаимодействие крыльев и корпуса в стартовом режиме движения СПК могут быть приняты:

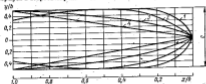


Рис. 8.20. Профиль стоек.

Для стоек малопогруженных крыльев с умеренной скоростью: 1 — с дугами кривизны кромки; 2 — с выпуклостями. Для стоек быстрозгруженных СПК: 3 — параболы; 4 — эллипсы; 5 — тонкая профиль.

устойовка кормового крыла за транцем при оптимальном расположении носового крыла, т. е. при оптимальном значении крыльевой базы $L_{\text{кр}}$:

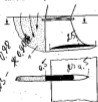


Рис. 8.21. Сопряжение стоек с крылом.

1 — воздушная камера.

разделение кормового монокрыла на два раздельных, вынесенных за габариты ширины судна. Оба эти способа уменьшения вредного взаимодействия корпуса и крыльев не всегда применимы из-за конструктивных усложнений крыльевого устройства и из-за увеличения габаритов судна по длине и особенно по ширине.

Поэтому рассматриваемую задачу целесообразно решать, как это сделано на наших СПК, путем установки редана и подьема дна корпуса над кормовым крылом.

Некоторые практические рекомендации по выбору высоты крыльевых стоек приведены в ИБ1.

Во всех случаях проектирования следует выбирать минимально необходимую высоту стоек. Необходимое увеличение H_0 будет только ухудшать условия поперечной устойчивости, повышать

сопротивление выступающих частей на режиме выхода и увеличивать габаритную осадку судна на плаву.

Для уменьшения сопротивления крыльевые стойки профилируются. Носовая часть стоек профилируется по типу обычного скругления или по параболе или же выполняется остролинейной; задняя кромка во всех случаях делается обрешной (рис. 8.20). Обрешная кромка обеспечивает срыв обтекающего потока и образование за ней устойчивой воздушной камеры с пониженным (атмосферным) давлением, что способствует уменьшению сопротивления стоек. Для того чтобы воздух из камеры не проник в разреженную зону над крылом, задняя кромка стоек должна быть выпущена за кормовую кромку. Передняя кромка стоек смещается в корму от носика крыла на 30—40% хорды для того, чтобы предотвратить раннее возникновение кавитации в зоне приоткрытия стоек к крылу (рис. 8.21).

Стартовое устройство

8.47

Из известного выражения

$$Dg = C_p \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (8.63)$$

рассмотрев два режима движения СПК при расчетной скорости судна V и при скорости отрыва V_0 , будем иметь

$$C_p V^2 S = C_{p0} V_0^2 S_0 = \text{const}, \quad (8.64)$$

где C_{p0} , S_0 — коэффициент подъемной силы и площадь несущих крыльев, соответствующие режиму движения СПК при скорости отрыва V_0 .

Приняв во внимание, что для эксплуатируемых СПК скорость отрыва равна примерно половине расчетной скорости $V_0 \approx 0,5V$, из выражения (8.64) получим

$$C_p S = 0,25 C_{p0} S_0 \quad (8.65)$$

Для полностью погруженных крыльев их площадь остается неизменной $S = S_0 = \text{const}$ и, следовательно, для обеспечения выхода судна на крылья необходимо, чтобы

$$C_{p0} \approx 4C_p \quad (8.66)$$

Для управляемых крыльев соотношение (8.66) может быть обеспечено благодаря отклонению закрылков, а для неуправляемых его удовлетворить практически невозможно. Коэффициент подъемной силы основных несущих крыльев в режиме выхода в результате большого заглубления и дифферента судна увеличивается, но не больше чем в два раза.

На СПК с неуправляемыми, полностью погруженными крыльями задача обеспечения выхода судна на крыльевые режимы движения решается путем установки дополнительных стартовых крыльев, действующих при выходе и полностью выходящих из воды при ходе судна на крыльях.

На отечественных судах используются стартовые устройства различных типов: в виде глассерующих пластин, установленных по бортам за носовым крылом («Ракета»), в виде одного или двух крыльев малого удлинения, расположенных по бортам над носовым крыльями («Метеор», «Спутник»), в виде дополнительных крыльев, расположенных в хвосте в середине («Комета»), с двумя средними и одним носовым дополнительными крыльями («Буревестник») и т. п.

Наиболее эффективными оказываются стартовые устройства, состоящие из дополнительных носового и средних крыльев: уменьшаются «горб» сопротивления, длина и время стартового разбега.

Площадь стартовых крыльев по отношению к площади основных несущих крыльев составляет от 25 до 55%. Установочный угол атаки — повышенные, от 2,5 до 7°. Удельная площадь дополнительных крыльев колеблется в пределах 0,1—0,27 м² на 1 т водоизмещения: катер «Волга» — 0,23; «Ракета» — 0,09; «Метеор» — 0,138; «Комета» — 0,27; «Вихрь» — 0,174; «Буревестник» — 0,10.

Форма корпуса

8.4.6

Общая форма СПК должна выбираться на условии обеспечения минимального «горба» сопротивления при выходе из воды, минимальной силы удара волн о корпус при его кратковременном погружении, достижении мореходности в режиме плавания.

Эти требования вполне определяют общие принципиальные соображения, которые должны быть положены в основу проектирования формы корпуса СПК.

При выходе на крылья СПК имеют относительную скорость, соответствующую числам Фруда $Fr_0 = 1,8-2,2$. Это наиболее неблагоприятный скоростной режим, при котором сильно развито волнообразование. Для уменьшения его необходимо увеличивать относительную длину L/B . Для использования гидродинамических сил, которые в переходном режиме уже значительны, целесообразно придавать корпусу остроконечную форму с плоско-килеватым днищем. Для облегчения отрыва корпуса от воды особенно при скорости отрыва, соответствующей $Fr_0 > 2$, целесообразно также на днище сделать ребро, расположенное от несколько в корму от середины. Килевую линию за ребром следует сделать с подъемом к транцу, что создает лучшие условия дифференровки судна на корму, необходимой для облегчения выхода судна на носовое

крыло. Кроме того, как отмечено выше, это позволяет исключить или заметно снизить вредное взаимодействие корпуса и кормового крыла при выходе судна на крылья. По этим же соображениям полезно поднимать килевую линию в кормовой части и в случае отсутствия ребра. Итак, для обеспечения минимального «горба» сопротивления, корпус СПК должен быть удлиненным, остроконечным с килеватым днищем, с ребром или без ребра (в зависимости от числа Фруда), с приподнятой килевой линией в кормовой части. Однако большое удлинение не всегда можно принять, поскольку это вступает в противоречие с поперечной устойчивостью, общей прочностью, массой корпуса и т. д. Поэтому чаще принимается умеренное соотношение $L/B = (3,5-6)$, хотя среди эксплуатирующихся СПК встречаются суда с отношением $L/B = 8$, а также с малым $L/B = 4$.

Особое внимание к обработке формы корпуса СПК с целью обеспечения наиболее высокого гидродинамического качества в режиме выхода должно быть уделено в случае, когда высота стока неуправляемых крыльев минимальна, а разрезы мощности небольшой. Наоборот, при управляемых крыльях на СПК с большим резервом мощности, что обычно имеет место при газотурбинных установках, задача проектирования формы корпуса по условию обеспечения выхода судна из воды несколько упрощается, от ребра на днище можно отказаться.

Снижение силы удара отдельных волн о корпус СПК в крыльевом режиме движения определяет остроконечную форму носовых шпангоутов. Действительно, на большинстве мореходных СПК носовым шпангоутом придается острая догнуто-килеватая форма с углами внешней килеватости (в районе 1-го теоретического шпангоута) до 70°. В районе средней-шпангоута также для уменьшения силы удара волн о корпус придается килеватость от 10—12° до 25°. В районе транца килеватость днища может быть снижена до 5—6°.

Для мореходности в режиме плавания целесообразно повысить борт в носовой части и увеличить развал носовых шпангоутов у палубы, а кормовую часть по возможности завести к транцу. Последние уменьшат плавучесть кормы и улучшат устойчивость движения на попутной волне.

Предварительный выбор формы корпуса и предельную обработку теоретического чертежа целесообразно выполнять на стадии второго приближения определения основных элементов СПК перед составлением эскиза общего расположения. Выбранная форма корпуса в самом начале проектирования позволит уточнить и дополнительно определить некоторые основные элементы СПК, исходя из первых требований обеспечения ходкости и мореходности, а более конкретно обусловит решение задачи общего расположения основных и вспомогательных помещений на судне.

СУДА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВП

Активное развитие скоростных судов на воздушной подушке началось всего лишь 25 лет назад, но идея использования поддува воздуха под корпус транспортного аппарата для создания подъемной силы возникла очень давно, более двух с половиной веков назад.

Первые мысли о возможности создания аппарата на воздушной подушке высказал шведский ученый Э. Свендберг в 1716 г.

В 1853 г. русский инженер Иванов предложил «трехъякорный духоплав» (рис. 9.1) — судно, на котором предусматривалось установить меха для нагнетания воздуха под днище, с тем чтобы, создав между днищем и водой воздушную прослойку, уменьшить сопротивление воды, а путем реактивного воздействия выходящего в корме из-под днища воздуха обеспечить движение судна. Однако без двигателей и воздушных насосов (вентиляторов) реализация проекта Иванова была невозможна.

В 60-х годах прошлого столетия Скот Россел, а в 70-х годах Вильям Фрул высказывали мысль о целесо-

образности подвода воздуха под днище для его «смазки» с целью уменьшения сопротивления.

В 1882 г. шведский инженер Лаваль запатентовал предложения о воздушной «смазке» судов, а в 1885 г. построил судно с поддувом воздуха под корпус через трубы с большим количеством мелких отверстий. Положительных результатов Лаваль не добился, так как при ограничительной подаче воздуха трудно получить под днищем равномерно распределенный слой воздуха. В результате сопротивление трения судна уменьшается мало.

Подобные работы по уменьшению сопротивления трения за счет воздушной «смазки» проводились и в более поздние времена за рубе-

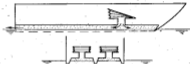


Рис. 9.1. «Трехъякорный духоплав».

жом и в Советском Союзе. Наши исследователи (М. Я. Алаферьев, М. Л. Лапшину и др.) уже в послевоенный период при натурных испытаниях резной баржи грузоподъемностью 3000 т удалось установить возможность получения весьма существенного снижения сопротивления трения при подводе воздуха под днище (на тихой воде до 60% и на волнении до 25%). Однако, распространения и практического использования воздушная смазка не получила и на несамонходных судах: необходимость конструктивных изменений корпуса и установки достаточно мощных воздуходувок требует определенных материальных затрат, заметно снижающих эффективность применения смазки.

Поддув воздуха под днище оказывается наиболее эффективным лишь в том случае, когда форма подводной части корпуса и мощность нагнетателей (вентиляторов) позволяют создать под днищем «воздушную подушку» — относительно толстый слой воздуха с повышенным давлением. Воздушная подушка не только надолго предотвращает контакт днища с водой, вследствие чего уменьшается сопротивление трения, но и создает подъемную силу, способную приподнять судно вплоть до отрыва корпуса от поверхности воды, и таким образом резко снижает общее сопротивление, открывая возможность получения больших скоростей движения.

Практически первым судном на воздушной подушке был торпедный катер, построенный по проекту южарейского инженера Д. Малдера фон Томашула в 1916 г. (рис. 9.2). Это был реданный глиссирующий катер с бортовыми ограждениями (скегами). Между плоским днищем и скегами в задернутой части корпуса образовывалось пространство (камера), куда входил воздушнодуховый поддув воздуха. Катер был оборудован четырьмя двигателями мощностью по 120 л. с. каждый ($N_{\Sigma} = 353$ кВт) и центробежным нагнетателем. Двигатели — два гребных винта. Скорость — 40 уз.

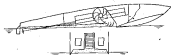


Рис. 9.2. Торпедный катер-кавостер с подушкой.

В отличие от современных СВП камерно-скегового типа на катере Томашула было использовано сочетание двух привычных поддержаний массы судна — глиссирование и воздушная подушка. Дальнейшего развития работы Томашула в то время не получили по разным причинам, среди которых, возможно, были недостаточная мореходность катера, присос воздуха к винтам, громоздкость вентиляционной установки и т. п., не исключалась и копия самой идеи. Однако с развитием СВП интерес к судам, сочетающим глиссирование с ВП, снова возродился. Так, в 1963 г. в США испытывался катер на воздушном пузырьке (рис. 9.3). На этом катере воздушная подушка ограждена бортовыми килем-скегами и двумя глиссирующими пластинами-захлопками с изменяющимся углом атаки. Масса катера на 90% поддерживается «пузырем», а 10% D — глиссирующие пластины.

В период 30-х годов изобретателями различных стран был сделан ряд предложений по судам на ВП, среди которых наиболее интересно предложение французского инженера А. М. Гамбена (1921 г.) и американца В. Ф. Келли (1925 г.). Оба предложения относились к большим судам баржевого типа. Особенность проекта Келли состояла в том, что в нем впервые предлагалось использовать при создании воздушной подушки систему рециркуляции воздуха: воздух подается в камеру центробежным нагнетателем через носовое поперечное сопло, а забор воздуха производится в кормовой части непосредственно из воздушной подушки. Такая система питания воздушной подушки позволяет уменьшить расход воздуха, уменьшить потребляемую мощность нагнетателей.

К главному недостатку проекта Гамбена и Келли следует отнести малую высоту ограждающих skeгов, при которой практически невозможно создать достаточно толстый и устойчивый слой воздушной подушки с повышенным давлением.

Все работы по созданию судов на воздухе транспортных аппаратов на воздушной подушке (СВП и АВП), до конца 20-х годов проводились без каких-либо теоретических обоснований.

Научно-теоретическое обоснование и принципы расчетов по движению аппаратов на воздушной подушке впервые дал нам выдающийся соотечественник Константин Эдуардович Цюлковский в работе «Сопротивление воздуха и скорый поезд» (1927 г.).

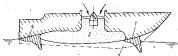


Рис. 9.3. Катер на воздушной подушке.

1 — камера глиссирующего пузыря; 2 — бортовой килем-скел; 3 — воздушная пластина (захлопок); 4 — кормовая глиссирующая пластина.

В этой работе К. Э. Цюлковский тщательно проанализировала и обосновала возможность создания поезда (вагона) на воздушной подушке, движущегося по специальному золоту в результате реактивного воздействия потока воздуха, выравнивающегося из-под поезда в направлении, противоположном его движению. В работе выведены формулы, которые позволяют определить необходимое давление воздушной подушки и ее высоту, расход воздуха и мощность нагнетателя, а также и ряд других проектных параметров поезда в зависимости от его массы и скорости. Теоретические формулы К. Э. Цюлковского являются основополагающими и в современной теории СВП.

Интересно отметить, что спустя 25 лет после выхода работы К. Э. Цюлковского, английская фирма «Ховеркрафт Дивелопмент Лимитед» разработала проект «парящего вагона» — «Ховеркар», который ничем не отличается от проекта К. Э. Цюлковского.

Значительный вклад в развитие теории и практики создания судов на воздушной подушке внес другой наш видный ученый В. И. Левков. В период 1927—1933 гг. он провел большую серию модельных испытаний в аэродинамической лаборатории. Под его руководством было спроектировано, построено и испытано несколько катеров на ВП относительно большого водоизмещения (до 15 т); среди проектов, реализации которых помешала Отечественная война, были суда водоизмещением до 30 т.

Первый катер В. И. Левкова Л-1 — самый крупный ($D = 15$ г, $N = 2 \times 103$ кВт), был построен в 1934 г. и в течение года испытан при движении над водой, землей, снегом и льдом. Испытания в целом дали положительные результаты, подтвердили перспективность судов нового типа.

Наиболее интересным был катер Л-5 (рис. 9.4). На испытаниях в 1937 г. на этом катере ($D = 9$ г) была достигнута скорость около 73 уз. Такая скорость на воде, если не считать достижения высоких скоростей на специальных головатых глиссерах, была рекордной.

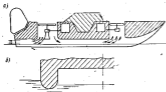


Рис. 9.4. Катер на воздушной подушке типа Л-5 конструкции В. И. Левкова: а — схема продольного разреза; б — поперечное сечение.

Характерной особенностью схемы общего устройства катера Л-5, как, впрочем, и других катеров В. И. Левкова, является большая высота казенного пространства, ограниченного сверху плоским днищем, с бортов — водонепроницаемыми скелетами-поплавками и полностью открытого в носу и корме. Иначе катера В. И. Левкова имели катamarанную корпус с открытым истечением воздуха на воздушной подушке в нос и корму. В качестве двигателей, приводящих в действие нагнетатели (двухлопастные воздушные винты), использовались поршневые авиационные двигатели, а необходимая для движения тяга создавалась по реактивному принципу за счет потока воздуха, направляющегося в корму специальными жалюзи, установленными под кормовым нагнетателем.

Испытания катеров Левкова, которые проводились на Балтике, выявили и ряд недостатков, среди которых можно отметить следующие:

интенсивное забрызгивание палубы и рубки на малом ходу, так как отсутствие должного скоростного напора встречного воздуха позволяло воздуху из воздушной подушки выходить через открытое носовое пространство каземта;

максимально достигнутой мореходностью составляла 4 балла. При более крупном волнении удары волны в свод каземта повреждали направляющие жалюзи, брызги попадали на нагнетатели и двигатели, вызывая остановку последних;

большая парусность и дрейф от ветра приводили к плохой управляемости на малом ходу; при полном отрыве суда становились неустойчивыми.

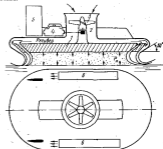


Рис. 9.5. Схема общего устройства СВП SR. N 1.

1 — авиационный мотор; 2 — шесты; 3 — нагнетатели; 4 — двигатели нагнетателей; 5 — воздушный руб; 6 — реактивно-подъемная дека.

В своих творческих поисках профессор В. И. Левков был близок к осуществлению более совершенных мореходных судов на воздушной подушке, чему помешала война. Его роль в деле развития судов на воздушной подушке трудно переоценить. Достижения Советского Союза по созданию открытых образцов судов этого типа в предвоенные годы многим опережали ведущие капиталистические страны.

Основные работы по исследованию и созданию современных судов на воздушной подушке за рубежом начались и стали бурно развиваться в конце 50-х годов.

В 1955 г. англичанин К. Кокиерел запатентовал судно на воздушной подушке с соловой схемой ее формирования. В 1959 г. по проекту К. Кокиереля фирма «Уэстленд Эйркрафт» построила экспериментальное СВП SR.N1 (рис. 9.5).

Корпус SR.NI представляет собой постоянную плавучую платформу овальной формы размером 9,2×7,6. В верхней части платформы образован плоский объем (ресервар), переходящий в центральной части в цилиндрическую вертикальную шахту, где расположен нагнетатель. Из ресервара сжатый воздух в виде двух тонких и плотных воздушных струй, замкнутых по периметру платформы, через кольцевое двухугольное сопло с большой выходной скоростью поступает под днище и образует под ним зону повышенного давления. В результате судно полностью отрывается от воды и на небольшой высоте удерживается («висит») над ней. При этом «откачан» подушкой соловые воздушные струи приобретают криволинейный характер истечения и вырываются из-под днища, образуя вокруг судна интенсивное бриллигообразование. Соловые струи, как завеса, ограждают воздушную подушку и закрывают «подпитывают» ее, компенсируя утечку воздуха из основной зоны повышенного давления под днищем.

Подъемная сила при соловой схеме создается не только вследствие статического давления воздушной подушки, но также и в результате реактивного воздействия соловых воздушных струй.

Водомещение СВП SR.NI первоначально равнялось 3,9 т. Мощность двигателя, приводящего в действие нагнетатель, составляла 320 кВт. Тяга для движения судна создавалась реактивным воздействием воздушных струй, истекающих по каналам, расположенным намеру платформы.

В 1959 г. СВП SR.NI за 2 часа (со средней скоростью 13 уз) пересек канал Ла-Манш. В результате этого перехода, совершенного в благоприятных метеорологических условиях, выявился ряд недостатков: низкая мореходность, малая тяга воздушно-реактивных двигателей, неудачность обшей компоновки и др.

В течение ряда лет судно испытывалось и переоборудовалось. Воздушно-реактивный движитель был заменен турбореактивным двигателем с тягой до 680 ддН. Для увеличения мореходности были поставлены гибкие ограждения воздушной подушки; проведен ряд других конструктивных изменений. В результате водомещение судна увеличилось до 7 т, а скорость движения возросла до 62 уз.

Успешные испытания опытного судна SR.NI подтвердили перспективность СВП с соловой схемой формирования воздушной подушки как судов с широкими транспортными возможностями.

Вследствие этого успеха интерес к судам на воздушной подушке резко повысился. Разработкой проектов и постройкой различных типов опытных образцов СВП услажено занялся в ряде стран Европы, США, Канаде и Японии. Экспериментально-теоретические исследования по аэродинамике СВП стали проводиться в крупнейших научных центрах ведущих стран, таких как Национальная физическая лаборатория в Англии, опытовый

бассейн им. Д. Тейлора и аэродинамическая лаборатория им. Лэнглы в США, Национальный научно-исследовательский комитет во Франции.

За короткий период нового этапа развития СВП во многих странах были созданы десятки различных типов этих судов, многие из которых стали строиться серийно. При этом достаточно четко вычленилось два направления развития СВП. Одно из них — создание СВП с полным отрывом от воды, с гибким ограждением воздушной подушки, формируемой по соловой или камерной схеме. Прототипом этих судов, которые получили название амфибийных СВП, послужило вышеупомянутое опытное судно К. Коккерела SR.NI. По другому направлению стали создаваться так называемые скеговые суда на воздушной подушке (ССВП). Это суда с жестким отрывом от воды, обычно с камерной схемой образования ВП, огражденной с бортов жесткими водонепроницаемыми скегами-полосками, а в носу и корме — гибкими ограждениями (ГО)*.

Особо следует отметить, что изобретение гибких ограждений воздушной подушки (первый патент на ГО выдан К. Коккерелу в 1957 г.) и применение их как на амфибийных, так и на скеговых СВП явилось качественно новым шагом и важнейшим этапом их развития, определившим широкое распространение СВП как судов, пригодных для коммерческих перевозок грузов и пассажиров. Благодаря применению ГО резко возросла мореходность СВП и уменьшился расход воздуха для поддержания давления ВП, что повысило их экономичность. Конструктивные схемы гибких ограждений показаны на рис. 9.9.

Предварительно оценивая преимущества и недостатки амфибийных и скеговых СВП, можно отметить следующее.

Основным преимуществом амфибийных СВП является их высокая проходимость и большая скорость. Судя этого типа могут эксплуатироваться в самых разнообразных условиях, а том числе и на сложных трассах, состоящих из различных участков суши, воды, болотистой местности, несчаной суши и т. п. К недостаткам этих судов относятся их плохая устойчивость на курсе и управляемость, высокая энергозатратность и большая шумность (в связи с использованием воздушных винтов в качестве движителей), интенсивное бриллигообразование и др.

Скеговые СВП являются более экономичными судами, устойчивыми на курсе и менее шумными в связи с возможностью использования в качестве движителей гребных винтов и водометов. Однако они имеют ограничение по проходимости. Их можно использовать лишь на водных трассах с глубинами фарватера не менее 0,5 м и даже для довольно больших речных судов.

* Гибкие ограждения обычно являются также жесткими ограждениями (ЖО).

Первоначально считалось, что применение снеговых судов целесообразно лишь для невысоких и умеренных скоростей в связи с тем, что при более высоких скоростях резко возрастает сопротивление воды движению и ССВП становятся менее выгодными по сравнению с амфибийными. Однако это справедливо лишь для судов относительно небольшого водоизмещения. С увеличением размеров и водоизмещения эффективность снеговых судов повышается, и, как это признают специалисты, именно этот тип судов должен получить распространение при развитии скоростных крупнотоннажных морских СВП.

Для амфибийных СВП рост водоизмещения, по мнению специалистов, в перспективе едва ли превысит 1000 т, если не произойдет существенных усовершенствований двигательных комплексов. При этом в настоящее время воздушные винты по своим габаритам увеличиваются намного быстрее по сравнению с ростом размеров и водоизмещения СВП. Для крупных СВП двигательное устройство с воздушными винтами становится практически неприменимым из-за своей громоздкости.

В настоящее время амфибийные СВП за рубежом получают достаточно широкое распространение в качестве транспортных пассажирских судов для обслуживания коротких морских линий с большим стабильным потоком пассажиров.

Перспективная задача СВП как транспортных средств связана с вопросами экономичности и зависит от возможности использования других видов транспорта в данном районе эксплуатации [8].

Как показывают экономические исследования, проведенные у нас и за рубежом, СВП пока уступают водоизмещающим судам и судам на подводных крыльках при эксплуатации в одинаковых условиях и на тех же линиях. Это объясняется в основном более высокой энергооборуженностью СВП.

Однако СВП оказываются наиболее выгодным типом судов при освоении рек с небольшими глубинами фарватеров ($\sim 0,5$ м) или с быстрым течением (более $2,5$ м/с) в районах, где слабо развита дорожная сеть. В Советском Союзе перспективнее является использование различных типов СВП для развития транспортных связей в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока. При этом считается целесообразным использование снеговых судов в тех районах, где перевозка осуществляется в летнее время по рекам, а в зимнее — по автомобильным. Амфибийные СВП могут найти применение для круглогодичной эксплуатации в районах с безлодочной местностью, где трудно организовать зимние автомобильные дороги.

В начале 60-х годов в Советском Союзе стали создаваться пассажирские СВП, предназначенные для серийной постройки. В 1961—1962 гг. было построено несколько опытных пассажирских судов: в Ленинграде — снеговое СВП «Нева», в Горьком —

амфибийный катер «Радуга» и ССВП «Горьковчанин». При испытаниях «Невы» было выявлено много недостатков, что исключило целесообразность серийной постройки СВП этого типа. Дальнейшее и всестороннее испытание катера «Радуга», наоборот, дало положительные результаты и позволило перейти к проектированию и постройке более крупного амфибийного пассажирского СВП «Сормович». Пассажирместность этого судна составляет 50 чел., экипаж — 2 чел., главный двигатель — газовая турбина АН-20ДК мощностью 1985 кВт, скорость максимальная — до 65 уз. СВП «Сормович» несколько лет находился в опытной эксплуатации по Волге на линии Горький—Казань. В результате выяснилось, что амфибийные суда, которым свойственна недостаточная устойчивости на курсе, в условиях магистральных рек с большим движением различных судов и составе эксплуатировать неэффективно и небезопасно: по разным причинам приходится часто снижать скорость, вообще эксплуатировать судно на относительно малых скоростях. Это обстоятельство лишает СВП основного его преимущества — быстротходности. Большой шум от воздушных винтов также является существенным недостатком при эксплуатации судна вблизи густо населенных районов.

Опытная эксплуатация судна «Горьковчанин» подтвердила предпологаемую перспективность снеговых СВП для внутренних водных путей, и суда этого типа были включены в серийную постройку. Серийно строятся также и более крупные ССВП типа «Орлен» и «Рассвет». Основные сведения по этим СВП приведены в табл. 11.1.

Классификация СВП.

Схемы формирования ВП

§ 9.2

Основные признаки классификации современных СВП, отражающие специфику общего устройства и принципа работы этих судов, следующие:

— степень взаимосвязи судна с опорной поверхностью (водой) в режиме парения и движения;

— предельная схема образования воздушной подушки; конструктивный тип ограждения воздушной подушки.

По первому признаку классификация различают:

СВП класса А — суда с полным отрывом от опорной поверхности, подучижение вызвано амфибийных СВП. Движение этих судов возможно не только над водой, но и над твердой поверхностью (земля, лед, снег и т. д.). Амфибийные СВП оборудованы гибким ограждением воздушной подушки по всему ее периметру.

СВП класса В — суда с неполным отрывом корпуса от воды. Воздушная подушка на этих судах с боков ограждается жесткими водоизмещающими поплавками-снеголами, находящимися

в контакте с водой при всех режимах движения судна, а с носа и кормы — гибкими ограждениями. Суды на воздушной подушке класса В получили название сквозных СВП (ССВП).

СВП промежуточного класса — полумифийные СВП. Они имеют гибкое ограждение по всему периметру ВП и отличаются от амфибийных СВП наличием укороченных слоев, расположенных в средней части корпуса и смещенных от бортов к диаметральной плоскости (см. рис. 9.14). Служат связью между СВП с водой в любом режиме движения, что улучшает их маневренные качества и шумность; последнее достигается благодаря применению в качестве движителей гребных винтов и водометов.



Рис. 9.6. Камерная схема образования ВП.



Рис. 9.7. Сопловая схема образования ВП.

По принципиальной схеме образования воздушной подушки различают:

СВП с камерной схемой образования ВП, при которой воздух подается непосредственно в воздушную подушку через шахты или каналы с большим гидравлическим сечением (рис. 9.6). Нагретый воздух поступает в подушку с относительно малой скоростью, не оказывая реактивного воздействия на водное судно. Подъемная сила полностью создается статическим давлением воздуха в подушке. Камерная схема формирования ВП используется как для сквозных СВП, так и для судов с полным отрывом от опорной поверхности.

СВП с сопловой схемой формирования ВП, при которой осуществляется периферийная подача воздуха в подушку через кольцевые узкие каналы-сопла, ограждающие площадь воздушной подушки с внешней стороны (рис. 9.7). Кольцевое сопло по вертикальному сечению судна имеет наклон внутрь подушки, что оказывается более эффективным по сравнению с их вертикальным направлением. Истечение воздуха в подушку происходит с большими скоростями так, что кроме силы аэростатического давления возникает дополнительная реактивная сила воздушной струи, которая, хотя и невелика (не более 5% $D_{\text{вп}}$), способствует подъему судна. Периферийная подача воздуха в ВП с сопловой схемой ее образования оказывается по сравнению с камерной более выгод-

ной с точки зрения уменьшения необходимой мощности, затрачиваемой на подъем судна, лучше по остойчивости, но конструктивно более сложная. Сопловая схема ВП используется в основном на амфибийных СВП.

Воздушная подушка на амфибийных СВП секционирована, т. е. разделяется по площади на несколько участков, в которых давление воздуха может сохраниться независимо от того, падает оно или нет в других участках, что очень важно с точки зрения

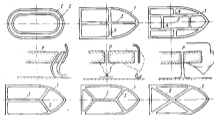


Рис. 9.8. Схемы секционирования ВП.

1 — продольные слои; 2 — слой остойчивости; 3 и 4 — продольные и поперечные слои остойчивости; 5 — диагональный слой остойчивости.

обеспечения остойчивости и устойчивости движения СВП на волнении. Секционирование ВП осуществляется сплошными толстыми слоями воздуха, вертикально истекающего из решетки в подушку через дополнительные сопловые каналы в днище корпуса. Эти так называемые слои остойчивости могут быть расположены по дну судна по различным схемам (рис. 9.8). Камерная и сопловая схема в сочетании с гибким ограждением ВП получили широкое распространение. Реальные амфибийные СВП часто имеют смешанную схему образования ВП, когда, например, внутренние секции ее формируются по сопловой схеме, а внешние — по сопловой и камерной одновременно, что определяется конструктивным типом гибких ограждений (см. § 9.3).

Для сохранения постоянного давления в воздушной подушке и уменьшения расхода воздуха применяют различные типы ее ограждения (ОВП). Различают две основные группы ОВП:

1. Ограждения, которые лишь способствуют уменьшению толстым слоем ВП и уменьшению расхода воздуха, но пропускают

его из-под днища за пределы судна. Иначе — ограждения, через которые предусматривается истечение воздуха.

2. Ограждения, которые исключают истечение воздуха из ВП в нормальных условиях эксплуатации СВП.

К первым относятся воздушно-струйные, водоструйные, подложные механические ограждения и различные типы гибких ограждений. Ко вторым — жесткие конструкции типа бортовых скелетов, а также гибкие ограждения типа монолитных полотнош, надутых скелетов и поперечно-расчлененных элементов; все они являются частично погруженными в воду при всех расчетных режимах эксплуатации судна.

Целесообразность применения того или иного типа ограждения связана с учетом конструктивно-технологической простоты и надежности работы ОВП; расходно-энергетических характеристик ОВП, зависящих от его сопротивления истечению воздуха из ВП; влияния ОВП на ходкость и мореходность СВП.

Широкое развитие получили гибкие ограждения, описание которых приведено в следующем параграфе.

Гибкие ограждения ВП

§ 9.3

Для увеличения мореходности амфибийных СВП жесткий корпус судна необходимо поднимать как можно выше над водой, чего нельзя добиться без резкого и практически неприемлемого увеличения мощности подвального комплекса. Решение проблемы оказалось возможным из-за применения гибкого ограждения воздушной подушки по ее внешнему диаметру.

Первоначально примененное Коккералом (фирма «Уэстленд Эйркрафт») гибкое ограждение на амфибийном СВП SR.N1 представляло собой тонкое полотнош, прикрепленное верхней кромкой по наружному контуру корпуса (рис. 9.9, а).

Нижняя кромка равномерно распределялась с корпусом цепочкой оттяжкам. Высота гибкого ограждения составляла всего лишь 150 мм, что было, конечно, недостаточным для обеспечения должной мореходности. Принять большую высоту такого ГО было нельзя по условию обеспечения необходимой остойчивости судна при движении над водой.

Вторым типом ГО, которое также впервые испытано на СВП SR.N1 было так называемое «гибкое сопло» (рис. 9.9, б). Оно состояло из двух тонких полотнищ, образующих по периметру воздушной кольцевой канавки, являющейся продолжением основных жестких сопел. В целях сохранения формы гибкого сопла между наружным и внутренним полотнищами были установлены диффрагмы и цепные растяжки, а гибкое сопло в целом распределялось цепными растяжками с корпусом, что обеспечивало необходимый наклон сопел внутрь подушки. Формирование ВП при этом типе ГО

происходит по сопловому принципу, что позволяло обеспечить относительно высокий зазор ($\sim 0,25$ м) между нижней кромкой ГО и поверхностью воды. С учетом высоты гибкого сопла 0,4 м жесткий корпус был поднят над водой примерно на 0,65 м, что существенно повысило мореходность СВП SR.N1.

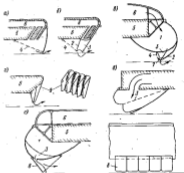


Рис. 9.9. Конструктивные схемы гибких ограждений ВП.

1 — гибкий материал; 2 — гибкое сопло; 3 — диффрагма; 4 — цепочка оттяжки; 5 — корпус; 6 — жесткий элемент; 7 — скелет; 8 — поперечно-расчлененный элемент.

В результате испытаний выяснилось, что «гибкое сопло» увеличивает гидравлические потери (из-за увеличения длины сопла), а само гибкое ограждение обладает повышенной жесткостью: оно мало прогибается под ударами волн, что приводит к увеличению сопротивления в падении скорости. Существенным недостатком этого типа ГО является также резкое снижение высоты водима из-за большой утечки воздуха в случае повреждения наружного полотнища.

Дальнейшие поиски в совершенствовании гибких ограждений привели к мысли о сочетании короткого гибкого сопла с гибким расширом (рис. 9.9, а). Такого типа гибкое ограждение было установлено в 1964 г. на первом пассажирском амфибийном СВП

SR N3. Использование гибкого ресивера с коротким гибким соплом позволило избежать от жестких профилированных сопл, значительно увеличить высоту ГО, уменьшить гидравлические потери и сохранить соплую схему формирования ВП, обеспечивая тем самым достаточный зазор между нижней кромкой ГО и опорной поверхностью. Последнее очень важно с точки зрения уменьшения как сопротивления движению, так и износа ГО. Существенным недостатком этого типа гибкого ограждения является сложность замены изношенных или поврежденных участков, а также, по-прежнему, малая податливость ограждения при соударении днища с волнами во время движения.

В поисках устранения отмеченных недостатков, т. е. в целях повышения ремонтной пригодности и податливости ГО под ударом волн в отдельных его участках пропала к идею секционирования гибкого ограждения. Предложено было, в частности, секционное ГО поперечно-расчлененного типа, состоящее из отдельных сегментных элементов (рис. 9.9, а). Такое устройство ГО позволяет снизить расход воздуха путем уменьшения зазора между нижней кромкой гибкого ограждения и опорной поверхностью при одновременном повышении его податливости. Элементы ГО, свободно перемещающиеся относительно друг друга, сравнительно безударно пропускают отдельные волны, а также небольшие твердые предметы; изношенные или поврежденные элементы могут быть легко заменены. Однако этому типу ГО присуща весьма существенная недостаточность: при достаточной большой высоте, что необходимо для обеспечения мореходности, становится проблематичным вопрос обеспечения остойчивости СВП (формирование ВП здесь происходит по камерному способу, и отсутствует реактивный эффект сопловой струи истекающего воздуха) и устойчивости самих элементов ГО. Поэтому такая схема ГО не получила распространения.

Наиболее удачной, получившей распространение на современных СВП, оказалась двухярусная схема ГО (рис. 9.9, б). Верхний ярус такого ограждения представляет собой гибкий ресивер, форма которого в рабочем состоянии поддерживается давлением воздуха, поступающего в гибкий ресивер от нагревателя. Нижняя кромка гибкого ресивера крепится к корпусу болтами, а верхняя — на шарнирных петлях с легко вынимающимися штырями. Нижний ярус этого ГО состоит из поперечно-расчлененных элементов, аналогичных рассмотренным в предыдущей схеме ГО. Двухярусное ГО обеспечивает большую высоту поддона при сохранении своей формы, повышает мореходность СВП при сниженных ударных нагрузках и является удобным для замены наиболее поврежденных и быстро изнашиваемых элементов (элементы нижнего яруса).

При эксплуатации двухярусных гибких ограждений обнаружилась низкочастотная вибрация, которая в отдельных случаях

бывает значительной настолько, что приводит к конструктивным разрушениям. Вибрация эта проявляется в виде вертикальных колебаний с большой амплитудой так, что жесткая кромка-ГО то ударяется в опорную поверхность (воду, грунт), то образует с нею зазор, до двух раз больше того, который соответствует устойчивому режиму парения. Колебания эти передаются на жесткий корпус СВП, и в результате может возникнуть резонансное явление.

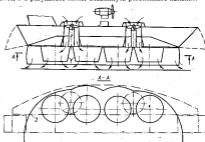


Рис. 9.10. Схема СВП с гибким ограждением камерно-цилиндрического типа (ГО фронтальной формы «бурты»).

1 — цилиндрическое гибкое сопл; 2 — шарнирные гибкие ограждения.

Изучение низкочастотной вибрации показало, что она до много зависит от соотношения давлений в гибком ресивере и подушке. При грубой оценке можно считать, что низкочастотная вибрация возникает, если отношение давлений в ресивере и подушке находится в пределах

$$2 > p_1/p_0 \quad (9.1)$$

где p_1 и p_0 — давление в ресивере и подушке соответственно. Этот неблагоприятный диапазон как раз соответствует тем значениям p_1/p_0 , которые имеют место на реальных СВП.

Для устранения низкочастотной вибрации стали применять установку в ресивере продольно-горизонтальных проницаемых диафрагм. В результате появлялись двухярусные монолитные гибкие ресиверы. Продольно-горизонтальные диафрагмы усложняют и удорожают конструкцию ГО, делают ее более тяжелой,

во она необходима как противовибрационные элементы. Наряду с низкочастотной имеет место и высокочастотная вибрация, которая обуславливает усталостное разрушение материала ГО.

Кроме рассмотренных конструктивных схем гибкого ограждения существует много и других. На французских СВП, например, с успехом используется гибкое ограждение камериоцилиндрического типа (рис. 9.10). Оно состоит из группы цилиндрических эластичных камер, открытых снизу, с индивидуальным подводом к ним воздуха от газгенераторов. Дополнительно к этим камерам по наружному периметру ВП устанавливается ограждающее тонкое покрытие.

Французская фирма «Бертен», разработавшая камериоцилиндрическое ГО считает, что этот тип ГО отличается рядом преимуществ перед вышерассмотренными английскими схемами а именно:

- улучшается поперечная и продольная жесткость СВП;
 - облегчается преодоление препятствий;
 - уменьшается чувствительность к потерю давления в зоне ВП при повреждении внешнего гибкого ограждения или одной из камер;
 - уменьшается протяженность и упрощается трассировка воздушных каналов благодаря независимой подаче воздуха в камеры (каждая камера питается от своего компрессора); это к тому же уменьшает потери давления в воздушных каналах, что позволяет уменьшить требуемую мощность газгенераторов.
- Современные ГО во многом еще не отвечают комплексу требований, предъявляемых к ним, и в ряде стран непрерывно ведутся поисковые работы по улучшению конструктивных схем гибких ограждений, поскольку их совершенствование непосредственно связано с улучшением ходовых и мореходных качеств СВП.

Материалы ГО

9.1.1

Материал ГО должен быть легким, эластичным, прочным на растяжение, вибростойким и технологически удобным для выполнения различных видов его соединения и крепления к жесткому корпусу и между собой.

Распространение получили трехслойные материалы типа обрешеченных тканей или тканей с двухсторонним покрытием из различных синтетических материалов. Используются, например, нейлоновые ткани с неопреном или хлорвиниловым покрытием, а также териленовые ткани с неопреном или полкучуртановым покрытием. Общая толщина получаемых при этом трехслойных водонепроницаемых составляет 0,8—2,2 мм при массе от 1,0 до 2,4 кг/м².

Износ ГО особенно при эксплуатации СВП только на воде больше всего связан с усталостными явлениями в его материале,

обусловленными вибрацией гибкого ограждения. Типичной формой износа ГО являются трещины во внешних слоях покрытия и расслоения материала. Процесс расслоения при высокочастотной вибрации идет чрезвычайно быстро. Поэтому особенно важно, чтобы используемые материалы обладали высокой прочностью на расслоение, и в этом направлении сосредоточены поиски получения нужных материалов для ГО.

Срок службы ГО составляет пока примерно половину того времени, которое считается достаточным по экономическим соображениям. Сегментные элементы нижнего яруса служат, например, 200—250 ч вместо 500 положенных.

Повышение долговечности и надежности ГО является достаточно сложной проблемой, решение которой, очевидно, возможно при комплексном сочетании мероприятий, направленных на улучшение конструктивных схем ГО в целом и отдельных его узлов путем применения легкосплавных сплавов, исключении участков повышенной жесткости, сведении к минимуму металлического крепежа, а также направленных на улучшение качества основного материала ГО, изучение и устранение причин возникновения вибрации ГО.

Архитектурно-конструктивные особенности СВП

§ 9.4

Английские СВП

9.4.1

Главными архитектурно-конструктивными элементами английских СВП являются корпус, гибкое ограждение, надстройка, ходовая рубка, движительные и газгенераторные комплексы, оперение (вертикальные и горизонтальные воздушные клин-стабилизаторы, рули). Компоновка этих элементов и определяет архитектурные особенности СВП (рис. 9.11, 9.12). Корпус представляет собой водонепроницаемую конструкцию поплавкового типа. Для обеспечения неоплаваемости, прочности и жесткости в корпусе установлены поперечные и продольные водонепроницаемые переборки. Над корпусом размещено пространство ресивера, сегментное сверху воздухопроницаемое покрытие, называемое верхней палубой или крышкой ресивера; крышка ресивера поддерживается каркасной конструкцией, опирающейся на палубу корпуса.

Надстройкой называется на крыше ресивера (рис. 9.12, а) или непосредственно на главной палубе корпуса (рис. 9.12, б; в; г), в последнем случае пространство жесткого ресивера размещается с боков надстройки или даже окружает ее полностью.

Компновка по типу схемы, приведенной на рис. 9.12, а, применяется в случае, когда большие емкости надстройки не требуются, а принятое давление в ВП относительно невелико.

одновременно палубой непотопляемости, которая возвышается над основным днищем на 700—800 мм.

На рис. 9.13 изображена схема обобщенного устройства условного СВП, на которой показаны характерные компоновочные особенности для отечественных судов.

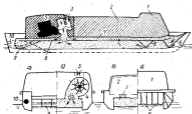


Рис. 9.13. Схема светового СВП: а — вид сбоку; б — сечение по вентилятору; в — сечение и район пассажирского салона; 1 — вид сверху; 2 — водонепроницаемая палуба; 3 — пассажирский салон и служебно-бытовое оборудование; 4 — водоналивник; 5 — главный двигатель; 6 — второе дно с гидравлическим приводом ВП и отсеканием элементов; 7 — носовая воздушная камера; 8 — кормовая воздушная камера; 9 — кормовые гребные винты; 10 — кормовые гребные винты.

Скевомы СВП, эксплуатируемые за рубежом, несколько отличаются от отечественных по схеме обобщенного расположения. Судно английской постройки типа HM2, например, отличается тем, что авиационная установка и вентиляторы расположены двумя группами — в носу и корме, а главный вход (и выход) и пассажирский салон — через корму. Другое относительно крупное СВП — HM5 (водная масса 73 т) имеет уже более существенные отличия. Пассажиры на этом судне размещены в трех салонах: в носовом и кормовом салоне первого яруса и в салоне второго яруса в средней части судна за ходовой рубкой. Машинное отделение расположено в средней части.

Полуамфибийные СВП

9.4.3

Первое крупное полуамфибийное судно на воздушной подушке — автомобильно-пассажирский паром VT1 ($D = 85$ т) — было построено в Англии в 1969 г. Принципиальная схема его обобщенного устройства показана на рис. 9.14. Конструктивная особенность

корпуса этого СВП определяется наличием коротких водонезащищенных килей-скегов, улучшающих устойчивость движения судна при ветровой погоде и позволяющих использовать более эффективных двигателей — гребных винтов. В остальном СВП VT1 по своему устройству и схеме формирования ВП близко к амфибийным СВП английской постройки.

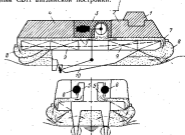


Рис. 9.14. Полуамфибийные СВП.

1 — рубка; 2 — носовой салон; 3 — машинное отделение; 4 — кормовой салон; 5 — вентилятор; 6 — главный гидравлический двигатель; 7 — жесткий ровер; 8 — главный вентилятор; 9 — носовая воздушная камера; 10 — сепаратор.

Главные двигатели, двигатели и вентиляторы СВП

§ 9.5

Как скоростные суда, СВП отличаются высокой энерговооруженностью. Для современных СВП энергооборуженность достигает 110 кВт на 1 т водоизмещения, а иногда и более. Обеспечение высокой потребной мощности в условиях жестких массогабаритных требований особенно для амфибийных СВП возможно лишь применением газотурбинных двигателей. Они в основном и используются в качестве главных двигателей на современных амфибийных СВП. Высокоскоростные дизели применяются лишь на относительно небольших СВП светового типа с умеренными скоростями (до 30 уз).

Создание газотурбинных двигателей для СВП как в зарубежной, так и отечественной практике развивается по линии конвертации авиационных турбин. В Англии и США широко используются конвертированные для морских условий авиационные

газовые турбины мощностью от 500 до 3700 кВт с удельной массой 0,20—0,40 кг/кВт, удельным расходом топлива (керосина) — 0,360 кг/кВт·ч и расходом воздуха от 4 до 6,8 кг/кВт·с.

Энергетическая установка на современных СВП представляет собой сложный газотурбинный двигатель-двигательный комплекс (ГТДДК), состоящий из газотурбинного двигателя, системы передач (вала, редукторы, муфты), движителей и вентиляторов (магнетителей). Обычно ГТДДК выполняется по совмещенной схеме, как единая энергетическая установка, при которой движитель и вентилятор приводятся в действие от одного и того же двигателя (см. рис. 9.11 и 9.14). Хотя в этом случае требуется применение сложных узловых и раздаточных редукторов, считается, что совмещенная схема является наиболее рациональной, поскольку позволяет сократить количество главных двигателей (и тем самым уменьшить размеры и объем машинного отделения), улучшить распределение суммарной мощности на движители и поддержание судна на воздушной подушке в зависимости от условий плавания, упростить системы забора воздуха и газонахлова, системы управления, контроля и сигнализации.

Тем не менее на ряде современных СВП (американские амфибийные СВП типа «Джеф» и скеговые типа SES-100, французские амфибийные СВП типа N500 и др.) движители и вентиляторы имеют отдельные двигатели. Это, очевидно, обусловлено высокой агрегатной мощностью используемых двигателей, которыми располагали фирмы, а возможно, были и другие соображения, оправдывающие принятые автономные системы передачи мощности на движители и вентиляторы. Автономная система привода позволяет обойтись без сложных раздаточных редукторов и при полной независимости работы вентиляторов повышает надежность подъемного комплекса.

Суммарная мощность главных двигателей, работающих на подъем и движение, на современных СВП возмещением 100—200 т и скоростью 40—92 уз составляет 9,5—12,5 тыс. кВт при числе газотурбинных двигателей от четырех до шести.

В зависимости от общей компоновки СВП, определяемой прежде всего назначением судна, от числа двигателей, движителей вентиляторов, а также в зависимости от схемы передачи мощности энергетическая установка на СВП размещается следующим образом:

в одном машинном отделении, располагаемом в средней или кормовой части судна;

в двух машинных отделениях, располагаемых в носу и корме СВП;

в трех машинных отделениях: два в середине по бортам, одно — в корме;

в четырех машинных отделениях: по бортам в носовой и кормовой частях судна.

На скеговых СВП с дизельной установкой и намерной схемой образования воздушной подушки машинное отделение размещается, как правило, в кормовой части.

В последние годы уделяется большое внимание проблеме создания крупнотоннажных грузопых океанских СВП со скоростью 100 уз и более (см. табл. 11.1). Отметим, однако, что создание крупнотоннажных быстрходных СВП будет зависеть от того, насколько успешно решится проблема создания практически применимой судовой энергетической установки сверхмощной мощности.

В качестве движителей на современных СВП в зависимости от их типа применяются воздушные винты (пропеллеры) с фиксированным или регулируемым шагом (ПРВП) и реактивные воздушно-реактивные движители на амфибийных СВП, гребные винты и водометные движители — на неамфибийных СВП.

Воздушные винты по сравнению с другими различными видами воздушно-реактивных движителей являются наиболее эффективными. Поэтому они и признаются основным типом движителей для амфибийных СВП и являются объектом совершенствования в делах повышения их КПД.

Воздушные винты на СВП по сравнению с самолетными работают в менее благоприятных условиях: относительно малая скорость СВП при большой потребной тяге (особенно на гребях сопротивления), широкий диапазон скоростей вращения в рабочих режимах, работа в неравномерном воздушном потоке и т. д. С учетом этих особенностей воздушные винты на СВП должны иметь относительно большие диаметры, большие дисковые отношения, регулируемый шаг, соответствующую профилировку и т. д.

Как отмечалось ранее, массогабаритные параметры воздушных винтов растут значительно быстрее по сравнению с ростом возмещения и скорости, и это сдерживает создание скоростных СВП большого водоизмещения.

Эффективность воздушных винтов повышается при использовании соосных винтов, вращающихся в разные стороны. В этом случае при умеренной ширине лопастей удается получить большее дисковое отношение, а также устранить некомпенсированные реактивные моменты. Хорошо спроектированный соосный винт может обеспечить почти двойную тягу. Однако применение соосных винтов заметно усложняет передачу мощности к ним.

Повышение эффективности воздушных винтов достигается также применением насадок (винт в насадке). Отношение статической тяги к площади винта ($\Delta H/M^2$), определяющее эффективность воздушного винта, существенно возрастает (до четырех раз), если применить насадку. Однако насадки для винтов большого диаметра трудноисполнимы и технологическом отношении и зачастую утяжеляют движительную установку. Поэтому насадка

имеет ограниченное использование и не применяется для впадов диаметром больше 4—5 м. Необходимо также отметить, что падка эффективна на скоростных судах при скорости примерно до 80 уз, а при более высоких скоростях она может оказаться невыгодной.

В качестве магнетателей воздуха в ВП на СВП применяются осевые и центробежные вентиляторы. В принципе выгоднее осевые вентиляторы, способные обеспечить необходимую производительность при меньших размерах. Однако они склонны к поломке, т. е. к срыву работы при переменной производительности, когда она становится меньше некоторой величины. При помощи инпор-вентилятора падает, в воздушную подушку перестает «держаться» судно. СВП становится неустойчивым в движении на волнении. Поэтому в настоящее время больше находят применение центробежные вентиляторы, работающие без поломки и способные при меньших окружных скоростях создать большое давление. Центробежные вентиляторы устанавливаются или с горизонтальным положением оси вращения крыльчатки, или с вертикальным в зависимости от его расположения на судне, схемы привода от двигателя и схемы формирования ВП. Поступление воздуха к вентилятору осуществляется через цилиндрические вертикальные шахты непосредственно к входу инпорного вентилятора (см. рис. 9.11) или же через каналы-заборники, в которых воздушный поток имеет один-два поворота в своем направлении (см. рис. 9.13); последнее значительно хуже с точки зрения потери давления. Однако вентиляционные цилиндрические шахты занимают полезный объем в надстройке и затрудняют рациональное расположение основных помещений, особенно если на судне несколько вентиляторов.

Для скеговых СВП требуется значительно меньшая производительность вентиляторов по сравнению с амфибийными. Об этом можно судить по величине удельных расходов воздуха на 1 т массы СВП, т. е. по величине Q/D , $m^3/c\tau$. Для скеговых судов значение этих величин лежит в пределах 0,5—1,0 $m^3/c\tau$, а для амфибийных СВП — 5,0—10 $m^3/c\tau$. Соответственно этому и потребные мощности для вентиляторов на скеговых судах значительно меньше.

Простая характеристика вентиляторов по их удельной массе и удельной мощности может быть для первого приближения оценена величинами: $G_0/Q = 0,6 \div 0,8 \text{ кг}/m^3/c$, $N_0/Q = 2,6 \div 3,3 \text{ кВт}/m^3/c$, где G_0 и N_0 — масса и мощность вентилятора соответственно.

При подборе или расчете воздухоматетателя (вентилятора) должны соблюдаться следующие условия:

1. Давление, создаваемое вентилятором, должно превышать давление в подушке на величину потерь давления в воздухопроводной системе (потери на входе в шахту вентилятора, при расхо-

хождению воздуха в диффузоре вентилятора и в ресивере, при переходе из ресивера в ВП).

2. Производительность вентилятора, соответствующая требуемому давлению, должна быть равна или несколько больше расхода воздуха из воздушной подушки при максимальном значении коэффициента полезного действия вентилятора.

Достаточный запас по давлению H и производительности Q при постоянной (расчетной) частоте вращения ротора вентилятора n , обеспечит необходимые значения подъемных характеристик СВП в более широком диапазоне эксплуатационных условий.

Рабочая точка A на кривой $\bar{H}(\bar{Q})$ инпоррасходной характеристики вентилятора (рис. 9.15) определяет его напор H и производительность Q , которые должны соответствовать давлению в ресивере p_0 и расходу воздуха из подушки. При этом точка A должна находиться в зоне наибольших значений КПД вентилятора на нисходящей ветви кривой инпорной характеристики $\bar{H}(\bar{Q})$. Последнее связано с условием обеспечения устойчивой работы вентилятора.

При движении СВП по волнению расход воздуха из подушки будет периодически меняться, и это оказывает влияние на работу воздухоматетательной системы. Точка A будет перемещаться влево (при уменьшении расхода) или вправо (при увеличении расхода), определяя на кривой $\bar{H}(\bar{Q})$ рабочий диапазон изменения основных характеристик.

Широкий диапазон периодических колебаний значений \bar{H} и \bar{Q} отрицательно сказывается на устойчивости работы вентилятора, вызывает нежелательные перегрузки вентиляторного двигателя. Целесообразно поэтому увеличить передаточное отношение между ресивером и подушкой (этого можно добиться увеличением гидравлического сопротивления при переходе воздуха из ресивера в подушку), что улучшает демпфирующие свойства подъемной системы,

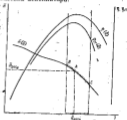


Рис. 9.15. Типичная инпоррасходная характеристика центробежного вентилятора при $n = const$. A — рабочая расчетная точка, BC — диапазон колебаний Q и H в эксплуатационных условиях СВП.

связан у вентилятора пульсацией его исторнорасходных характеристик. На изменение аэродинамических характеристик поддушки, а следовательно и вентилятора, существенное влияние оказывает расходонапорная характеристика гибкого ограждения.

Основные данные по вентиляторным установкам СВП, вопросы проектирования и расчета элементов подъемной системы судов на воздушной подушке изложены в работах [40, 42, 71].

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ОСНОВЫ ГИДРОАЭРОМЕХАНИКИ СВП

Глава 10

Гидроаэромеханика СВП охватывает большой круг чрезвычайно сложных вопросов, связанных с изучением физических особенностей статики и динамики СВП и определенным внешним сил и моментах, действующих на судно в различных его состояниях в зависимости от скорости движения.

Сложность гидроаэромеханики СВП по сравнению с задачами гидродинамики водонесущих судов и аэродинамики самолетов связана с особенностями принципиальной схемы поддержания СВП, которые обуславливают сложность явлений, происходящих вокруг движущегося судна на воздушной подушке, вызванное наличием вязких сил, несвойственных другим судам.

Судно на воздушной подушке является произвольным телом. При своем движении судно взаимодействует и переносит большие массы воздуха, что вызывает появление внешних сил инерционной природы, таких как импульсные сопротивления, силы Корюлюса, возникающие при циркуляции СВП и др. В этом состоит одна из особенностей аэродинамики СВП.

Другая существенно важная особенность СВП — условие движения этих судов на границе раздела двух сред: воды и воздуха, оказывающихся при этом в сложном взаимодействии. Под воздушной водой деформируется, образуется впадина. Впадина, перемещаясь с судном, создает волну. Окружающее судно вода препятствует истечению воздуха из поддушек и частично в виде брызг захватывается воздушным потоком. Воздушно-брызговой поток, образующийся вокруг судна, существенным образом изменяет форму обтекания судна набегающим потоком встречного воздуха. В свою очередь набегающий (астремный) поток влияет на характер истечения воздуха из поддушек и т. д. Взаимодействие воды и воздуха вокруг движущегося СВП является сложным нестационарным процессом динамического характера. Оно зависит от мно-

гих факторов и в первую очередь от дальности ВП, высоты подъема судна над водой и скорости его движения. Поэтому качественная и особенно количественная оценка теоретическим путем сил, действующих на движущееся СВП, весьма затруднительна.

Следует отметить еще одну особенность — деформацию гибкого ограждения при контакте его с водой. Возникает сложнейшая задача гидроаэромеханики: определить внешние гидроаэродинамические усилия, зависящие от формы тела при условии, что сама форма тела зависит от этих усилий.

Быстроходным амфибийным СВП свойственна консервативность внешних сил гидроаэродинамической и аэродинамической природы. Это также является особенностью судов на воздушной подушке. Аэродинамическая разгрузка или аэродинамическая подъемная сила составляет от 10 до 15% массы судна и оказывает существенное влияние на параметры воздушной подушки, расход воздуха, возможное сопротивление и т. д.

Отмеченные особенности СВП затрудняют теоретические решения ряда практически важных вопросов, связанных с их проектированием, и требуют широкой постановки экспериментальных исследований как в общем плане для получения систематизированных опытных данных, так и в частных случаях конкретного проектирования.

Теоретически наиболее полно решены задачи статики СВП по определению характеристик подъемного комплекса и статической устойчивости. Задачи динамики, наоборот, разработаны недостаточно, особенно такие наиболее сложные вопросы, как стабилизация движения по курсу на волнении, качка, ходкость на волнении. Эти и другие вопросы являются предметом серьезных научных исследований, которые доступны лишь крупным научным центрам.

В настоящей главе приведены краткие элементарные сведения по основным теориям СВП, знание которых необходимо на первоначальной стадии разработки проекта.

Статика СВП

§ 10.1

Статика СВП как раздел аэрогидромеханики этих судов рассматривает условия устойчивого равновесия судна в резкие моменты (парения) над твердым дном и над водой или в режиме равномерного прямолинейного движения судна над жестким дном или над такой водой при гонде без ветра. В ней излагаются приближенные методы расчета параметров подъемного комплекса, поперечной и продольной устойчивости СВП. Расчетные формулы приводятся в зависимости от составления аэродинамической схемы образования ВП, конструктивного типа ее ограждения и типа акранной поверхности (твердая поверхность, вода).

Основные подъемные характеристики СВП

10.1.1

Основными подъемными характеристиками СВП являются высота подъема над опорной поверхностью h , расход воздуха из подушки Q и избыточное давление воздуха в подушке p_0 . Значение этих величин определяет размеры СВП, мореходность и мощность, которую для расчетного подъема судна над водой.

В различных исследованиях и расчетах характеристики подъемного комплекса обычно представляют в виде безразмерных параметров: $\rho = p_0/p_a$ — коэффициент давления, $\bar{Q} = Q/FV_0$ — относительный расход воздуха, $\bar{h} = h/\sqrt{S_0}$ — относительная вы-

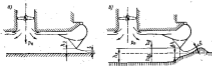


Рис. 10.1. Камерное СВП: а — в режиме выезда над жестким экраном; б — в режиме выезда над водой.

сота подъема, где p_a , p_0 — давление в ресивере и подушке соответственно, Па; S_0 — площадь воздушной подушки, m^2 ; F — площадь расходного отверстия, m^2 ; V_0 — средняя скорость истечения, м/с.

Высота подъема, давление и расход воздуха — взаимосвязанные характеристики: любые две принятые характеристики определяют значение третьей. За основную исходную величину обычно принимают значение давления воздуха в воздушной подушке, руководствуясь определенными соотношениями (см. п. 11.1.1). Принимают также и значение величины h_0 и расход воздуха определяют расчетным путем в зависимости от p_0 и \bar{h} .

Аналитические выражения взаимосвязи рассматриваемых величин определяются характером истечения воздуха из ВП, обусловленного аэродинамической схемой ее образования.

Рассмотрим аналитические зависимости между основными подъемными характеристиками для камерной и сопловой схем истечения воздуха из ВП эффициентных СВП.

Камерная схема. Схемы истечения воздуха из ВП камерных СВП в режиме выезда над твердым экраном и водой показаны на рис. 10.1, а, б.

Среднюю скорость истечения воздуха из подушки, как из резервуара с небольшим давлением в атмосферу, если полагать од-

наковым его удельным объемом ($1/\gamma_{\text{уд}} \approx 1/\gamma_{\text{уд}0}$) и пренебречь трением, можно определить по формуле

$$V_0 = \sqrt{\frac{2p_0}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}} \quad (10.1)$$

где p_0 — давление в ВП, Па; γ — удельный вес воздуха, $kg/m^3 \cdot s^2$; g — ускорение силы тяжести, m/s^2 ; ρ — плотность воздуха, kg/m^3 .

Подставив в формулу (10.1) $\rho = 1,25$, получим

$$V_0 \approx 1,27 p_0^{0,5} \quad (10.2)$$

Расход воздуха определим по выражению

$$Q = \Pi m \alpha V_0 \quad (10.3)$$

где Π — диаметр истечения воздуха, т. е. наружный периметр подушки, м; $\alpha = f/h$ — коэффициент сужения истекающего потока; f — наименьшая толщина выходящего из подушки слоя воздуха (рис. 10.1), м.

Значение коэффициента сужения для случая выезда СВП над твердым экраном в расчетах принимают в пределах $\alpha = 0,6-0,8$ в зависимости от конструктивного выполнения профиля нижней кромки ограждения ВП (с острыми кромками или округленными).

Подставив в (10.3) значение V_0 , получим

$$Q = 1,27 \alpha \Pi p_0^{0,5} \quad (10.4)$$

где α_0 — коэффициент сужения истекающего потока в режиме выезда СВП над твердым экраном; $h_0 = h$ — высота подъема СВП над твердым экраном.

Из формулы (10.4) получаем выражение для определения высоты подъема СВП над твердым экраном

$$h_0 = \frac{Q}{1,27 \alpha_0 \Pi p_0^{0,5}} \quad (10.5)$$

Величина среднего давления в подушке также из формулы (10.4) найдется по выражению

$$p_0 = 0,62 \frac{Q^2}{(\alpha_0 \Pi h_0)^2} \quad (10.6)$$

Формулы (10.4)—(10.6) выражают взаимосвязь между основными подъемными характеристиками СВП и могут быть использованы в инженерных расчетах для режима выезда СВП над твердым экраном; формулы можно использовать для приближенной оценки подъемных характеристик и в режиме установившегося движения СВП над экраном.

В режиме выезда СВП над водой картина истечения воздуха и количественное соотношение подъемных характеристик

изменяются. Под подушкой СВВП образуется впадина, объем которой примерно соответствует объему воды массой, равной массе судна, т. е.

$$W_{\text{вв}} \approx D \rho_r, \quad (10.7)$$

в глубине

$$h_{\text{вв}} \approx D \rho_r S_{\text{вв}}, \quad (10.8)$$

где $S_{\text{вв}}$ — площадь воздушной подушки, м².

Высота всасывания СВВП над уровнем гладкой воды h_0 (см. рис. 10.1,б) меньше высоты всасывания h_1 над твердым экраном. Она может быть определена приближенным соотношением

$$h_0 \approx h_1 - h_{\text{вв}} \approx h_1 - D \rho_r S_{\text{вв}}. \quad (10.9)$$

По аналогии с формулой (10.3) расход воздуха можно определить по выражению

$$Q = \Pi (h_0 + \Delta h) \alpha_0 V_c, \quad (10.10)$$

где $\alpha_0 = \frac{h_0}{(h_0 + \Delta h)}$ — коэффициент сужения толщины потока истечения; $(h_0 + \Delta h)$ — зазор между водой и нижней кромкой ограждения подушки по ее периметру (наибольшая толщина воздушного слоя истечения).

В расчетах можно принимать (при давлении в паскалах):

$$\alpha_0 = 0,7 \alpha_c; \quad (10.11)$$

$$\Delta h = (0,06 + 0,07) \rho_w \gamma_w. \quad (10.12)$$

В режиме движения СВВП над водой вследствие инерционных свойств воды глубина впадины под судном уменьшается с увеличением скорости движения. При числе Фруда $Fr > 1,5$ она становится практически незначительной величины и высоту подъема судна над уровнем спокойной воды можно считать равной той же величине, что и в случае движения его над твердым экраном, т. е. $h_0 = h_1$. Таким образом, для приближенного расчета подъемных характеристик СВВП при установившемся движении над водой можно пользоваться вышеприведенными зависимостями для случая движения над твердым экраном, но коэффициент сжатия потока истечения принимать по зависимости (10.11).

Слоновая схема. Подъем и формирование воздушной подушки СВВП над твердым экраном можно представить по схеме, показанной на рис. 10.2. При определенном давлении в ресивере воздух на сошла вначале толстый струя и пробилась под днище и за пределы судна в атмосферу. Когда воздух тонким слоем распространится под значительную часть площади днища аппарата, он начинает подниматься благодаря набивочному аэростатическому

давлением под днищем. Воздух, продолжая поступать под днище, образует воздушную подушку и поднимает аппарат (судно) на расчетную высоту h_0 .

В связи с избыточным давлением в воздушной подушке сплошной поток воздуха в нижней своей части охлаждается и приобретает криволинейное очертание (рис. 10.2), превращаясь в воздушную завихренную (огражденную) воздушной подушкой. При истечении воздуха из сошла возникает реактивный импульс, который создает дополнительную подъемную силу, хотя и незначительную по своей величине (до 5% Dg).



Рис. 10.2. Фазы подъема слонового СВВП.

P_0 — давление ВР; P_1 — атмосферное давление.

В теоретических исследованиях сплошной поток обычно идеализируется. Форму его принимают в виде дуги окружности с радиусом R , равным высоте подъема АВВП над экраном h_0 , а толщину t одинаковой по всей дуге тока, равной ширине сошла b (рис. 10.3). Несмотря на условность такого подхода, теоретическое решение дает удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными, если при выборе основных уравнений учитывать основные подъемных характеристик и геометрических параметров слонового устройства принять наиболее близкий к действительному закон распределения скоростей и давлений по ширине выходного сошла сошла. В современных аналитических расчетах чаще принимают экспоненциальный закон распределения скоростей по толщине потока (рис. 10.3).

Теоретические исследования оплового истечения на экран проводились как у нас (В. И. Ханжонков, В. В. Кличко, Г. Ю. Степанов и др.), так и за рубежом (Чаплин, Стентон Джонс, Спрэд, Коэн и др.). Практически наиболее приемлемыми расчетными методами являются способы, разработанные Стентоном Джонсом, В. И. Ханжонковым, В. В. Кличко.

В соответствии с этими разработками для расчета подъемных характеристик пользуются формулами

$$\bar{p} \approx \rho_0 / \rho_p \approx 1 - e^{-Cz}; \quad (10.13)$$

$$Q \approx Q / F V_c \approx 1/\kappa (1 - e^{-Cz}), \quad (10.14)$$

где β — коэффициент давления; p_0 — давление в воздухе; p_2 — давление в ресивере; s — основание натуральных логарифмов; C — коэффициент, в соответствии с эмпирической теорией должен быть равен двум. Для реальных условий результат получается ближе к действительным значениям при $C = 1,67$ (при движении над твердым экраном). В расчетах СВП с гибким отражением принимается $C = 1,5$; κ — коэффициент, учитывающий

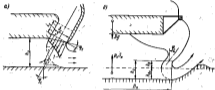


Рис. 10.3. Сопловое СВП: а — в режиме вакуума над жестким экраном; б — в режиме вакуума над водой.

1 — угол скорости соплового потока; 2 — экран давления в сопловом потоке; 3 — вертикальная составляющая силы.

влияние на подъемные характеристики угла наклона сопла φ_0 и отношение тангенса соплового потока к высоте подъема h/h_0 .

Коэффициент определяется по выражению

$$\kappa = h/h_0 (1 + \sin \varphi_0); \quad (10.15)$$

Q — секундный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; $F_0 = \Pi d$ — площадь выходного сечения сопла, м^2 ; Π — периметр соплового канала, м ; d — ширина сопла по нормальному сечению, м ; $V_c = (2p_0/p)^{1/2}$ — средняя скорость истечения воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

Для определения подъемных характеристик СВП необходимо иметь исходные данные, в качестве которых принимаются: высота подъема над экраном h_0 , давление в ресивере p_2 , угол наклона сопла φ_0 (обычно $\varphi_0 = 45^\circ$), площадь воздушной подушки $S_{\text{пл}}$, коэффициент потерь в живом зресе ограждения $k_{\text{ж}}$.

Основными средними величинами являются давление в подушке p_0 , подъемная сила $P = p_0 S_{\text{пл}}$, расход воздуха Q .

Особенности и примеры расчета сил поддержания и потребного расхода воздуха для СВП с различными схемами образования ВП и ее секционирования подробно рассмотрены в книге [42].

Статическая устойчивость СВП

10.1.2

Амфибийные СВП камерного типа и с одноконтурной сопловой схемой без секционирования воздушной подушки являются устойчивыми судами.

Возникновение угла крена на камерных СВП практически не изменяет распределения давления по ширине подушки и точка приложения равнодействующей сил давления и поддержания перемещается не имеет. В результате пара действующих на судно сил (сила массы судна и сила поддержания) создает не восстанавливающийся, а наоборот, дополнительный кренящий момент $M_{\text{кр}} = -DgZ \sin \theta$ (рис. 10.4); при этом возникает дрейф судна в сторону крена и создается опасный случай зарывания корпуса судна в воду.

На СВП с одноконтурной сопловой схемой при крене увеличивается реактивная сила истекающего воздуха в той части кольцевого сопла, которая приблизилась к экрану (воде). Но этого бывает недостаточно для восстановления равновесия, и судно продолжает крениться. Когда накренившийся борт совсем близко подходит к воде (рис. 10.5), сопловой поток по направлению наименьшего сопротивления устремляется внутрь подушки. Вследствие эжекторного эффекта соплового потока под накренившимся бортом давление понижается, что ухудшает устойчивость, создает условие для зарывания борта в воду.

Устойчивость обеспечивается при двухконтурной сопловой схеме. В этом случае воздушный поток из внутреннего сопла принимает измененное направление воздушных струй, выходящих из внешнего сопла, выжмывая их во внешнюю сторону (рис. 10.6). В результате увеличивается давление в зоне между сопловыми потоками, повышается подъемная сила в области накренившегося борта. Одновременно с этим радиус соплых потоков в районе приподнятого борта увеличивается, что уменьшает перепад давлений между рядами сопел и снижает воздушное давление. Крен судна выравнивается.

На современных амфибийных СВП с гибким ограждением основным конструктивным мероприятием, направленным на улучшение устойчивости, является секционирование воздушной подушки.

На рис. 10.7 показана схема действия сил на СВП с продольно-поперечным секционированием ВП, находящегося в режиме движения над твердым экраном.

Благодаря сопловому потоку воздуха из канала, расположенного в диаметральной плоскости, воздушная подушка разделяется на две изолированные секции. Можно принять в расчет, что давление в одной секции ВП не зависит от изменения давления в другой. Это предположение является практически приемлемым, если ресивер будет также соответственно разделен на секции, давление

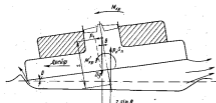


Рис. 10.4. Схема сил, действующих на клиновое СВП при крене.

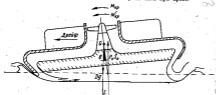


Рис. 10.5. Схема сил, действующих на СВП с одноконтурной содовой складкой при крене.

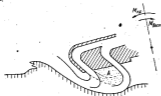


Рис. 10.6. К устойчивости двухконтурного содового СВП. А — зона конического давления.

в которых будет независимо самостоятельным, вследствие скоростного напора перемещающихся масс воздуха.

При крене или дифференте судна давление воздуха в секции ВП под опущенной частью корпуса понижается. Это приводит к тому, что солевой поток воздуха, когда выходящее сечение сола находится близко у экрана, разбивается об опорную поверхность, и значительная часть его устремляется внутрь поддушки. В приподнятой части корпуса, наоборот, давление в поддушке снижается в связи с удалением сола от экрана и уменьшением пере-

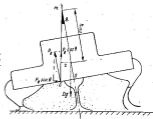


Рис. 10.7. Схема действия сил на СВП в режиме вытеснения над экраном.

пада давления; по толщине солового потока из-за уменьшения его кривизны. В результате общий центр давления ВП смещается от диаметральной плоскости в сторону крена. Вертикальная составляющая подъемной силы $P_x \cos \theta$ и сила массы судна D образуют восстанавливающий момент, который может быть записан в виде общезвестной метacentрической формулы остойчивости

$$M_x = DgZ = gDh_{m\theta}, \quad (10.16)$$

где $h_{m\theta}$ — условная метacentрическая высота.

Аналогичную формулу можно написать и для случая крена СВП над водой (рис. 10.8).

Из рис. 10.7, 10.8 видно, что метacentрическая высота ($h_{m\theta}$ или $h_{m\theta}$) легко может быть определена из треугольника O_1P_1C , если известна ордината смещения центра давления ВП $y_0 = OC$. Определение этой ординаты, по существу, и составляет содержание расчета по остойчивости СВП.

Критерием устойчивости амфибийных СВП может служить относительное смещение центра давления при крене судна на 1° , т. е. величина

$$\frac{\Delta z}{z} 100\% = \frac{\Delta z_{100}}{z_0} \% \quad (10.17)$$

Считается, что необходимый восстанавливающий момент будет обеспечен, если эта характеристика лежит в пределах 0,3—0,6% на 1° крена.

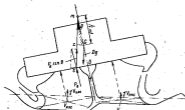


Рис. 10.8. Схема действий сил на СВП в режиме полета над водой.

Положение ЦТ, обеспечивающее положительную устойчивость амфибийных СВП, когда гибкое ограждение не касается твердого дна, определяется условием

$$z_g < \frac{R_{\text{л}}}{2qV^2} \quad (10.18)$$

где $R_{\text{л}}$ — средняя высота подъемного гибкого ограждения над экраном в наклонном положении.

Устойчивость амфибийных СВП хорошо обеспечивается водонепроницаемыми шнеками и в начальной стадии проектирования не оценивается.

Вопросы устойчивости СВП подробно рассмотрены в работах [15, 42].

Сопротивление движению СВП § 10.2

Сопротивление амфибийных СВП 10.2.1

Составляющие сопротивления. Полное сопротивление СВП может быть представлено в виде суммы основных его составляющих

$$R = R_a + R_{\text{волн}} + R_z + R_{\text{ост}} + R_{\text{доп}} \quad (10.19)$$

где R_a — воздушное или гидродинамическое лобовое сопротивление; $R_{\text{волн}}$ — импульсное сопротивление; R_z — волновое сопротивление; $R_{\text{ост}}$ — остаточное сопротивление; $R_{\text{доп}}$ — дополнительное сопротивление при волнении.

Воздушное сопротивление. Воздушное сопротивление вычисляется по формуле

$$R_a = C_x \frac{\rho V^2}{2} S_{\text{экв}} \quad (10.20)$$

где C_x — коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от обтекаемости судна. Для обычных СВП его принимают в пределах $C_x = 0,4-0,5$; V — суммарное значение скорости судна и встречного ветра, м/с; $S_{\text{экв}}$ — площадь наибольшего поперечного сечения СВП, м².

При расчете составляющей R_a сопротивление элементов оперения СВП, аэродинамические рули, кили-стабилизаторы рекомендуется считать отдельно исходя из условия, что сопротивление поверхностей этих элементов определяется воздействием на них высокой скоростью воздушного потока от винтов.

Импульсное сопротивление. Эта составляющая обусловлена инерционными свойствами масс воздуха, которые захватываются вентилятором и перемещаются вместе с судном. Величина импульсного сопротивления определяется теоретическим выражением

$$R_{\text{имп}} = \rho V Q \quad (10.21)$$

где Q — производительность вентилятора, м³/с; V — скорость судна, м/с; ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Часть импульсного сопротивления проявляется сразу же на входе воздуха в нагнетательную шахту, на стенках которой создается разность давлений: на носовой половине ее поверхности образуются участки повышенного давления, а на носовой — разрежения (рис. 10.9). Таким образом, импульсное сопротивление зависит и от конструктивного оформления всасывающей части вентиляторной шахты.

Импульсное сопротивление изменяется по линейному закону и на высокоскоростных судах может составлять существенную долю от полного сопротивления (до 30—35%).

Волновое сопротивление. Волновое сопротивление у СВП, движущегося над водой, обусловлено деформированием водной поверхности под воздействием воздушной подушки. Таким образом, движущееся СВП можно рассматривать как перемещающийся источник давления, вызывающий образование волны на поверхности воды. Именно по этой модели и был дан ряд теоретических решений для практического определения волнового сопротивления. Механизм воздействия волны на судно через воздушную подушку

и возникновения в результате этого воздействия тормозящей силы, называемой волновым сопротивлением, отдельными исследователями трактуется по-разному. Например, Я. И. Войтунский волновое сопротивление рассматривает как результат перераспределения давлений воздуха вокруг СВП, вызванного волновой поверхностью воды под судном (и вокруг него). Такой подход и в принципе является наиболее строгим и правильным, однако использовать его практически весьма сложно. Более простое решение получают, когда волновое сопротивление рассматривается как результат взаимодействия поверхности и днаца судна в предположении, что

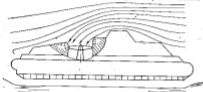


Рис. 10.9. Схема образования виртуального сопротивления.

СВП при движении имеет дифферент на корпус и его дноид параллельно волновому склону. В этом случае равнодействующую сил нормального давления на днище можно приближенно считать вектором, замыкающим силую треугольник, вертикальная сторона которого соответствует массе судна, а горизонтальная — волновому сопротивлению.

Исходя на такой предпосылки волновое сопротивление для практических целей можно определять по формуле

$$R_w = \alpha D q, \quad (10.22)$$

где α — минимальный угол волнового склона при расчетной скорости судна.

Очевидно, что значение угла α может быть определено только по результатам модельных испытаний и, если будет известна зависимость $\alpha = f(Fr_L)$, нетрудно рассчитать волновое сопротивление для различных скоростей движения СВП.

По результатам экспериментально-теоретических исследований водообразования и волнового сопротивления сделаны следующие выводы:

1. Для амфибийных СВП, как коротких судов, характерна поперечная система волн. При увеличении отношения L/B довол-

нительно повышается система расходящихся волн и волновое сопротивление увеличивается.

2. Волновое сопротивление увеличивается с увеличением давления в воздушной подушке.

3. Величина волнового сопротивления находится в определенной зависимости от числа Фруда $[R_w = f(Fr_L)]$. Наиболее выгодный режим наступает при $Fr > 0,6-0,7$. Начиная с этих относительных скоростей волновое сопротивление постоянно убывает благодаря свойству жерзости воды: она не успевает деформироваться при высоких скоростях, и волны по мере увеличения скорости становятся меньше, волновое сопротивление падает.

Характерные кривые изменения относительного волнового сопротивления в зависимости от числа Фруда показаны на рис. 10.10, а. Как видно из этого графика, кривые волнового сопротивления имеют несколько «горбов» при выходе судна на расчетный режим движения. Наибольший «горб» на кривой сопротивления имеет место примерно при $Fr = 0,32$. Положение судна в момент выхода при разных числах Фруда показано на рис. 10.10, б.

Волновое сопротивление является главной составляющей полного сопротивления в режиме выхода на малых числах Фруда. Она может приближаться по абсолютному значению к полному сопротивлению при расчетной скорости судна. Поэтому очень важно при проектировании СВП определить волновое сопротивление в режиме разгона.

Достоверное определение его, к сожалению, возможно лишь экспериментальным путем. Приближенную оценку значения можно сделать по формуле Ламба

$$R_w = D \frac{3\rho_a}{\rho_{\text{л}}} \left[1 - \cos \left(\frac{g^2 L^3}{V^3} \right) \right], \quad (10.23)$$

где D — масса судна, кг; ρ_a — избыточное давление в подушке, Па; ρ — плотность воды, кг/м³; g — ускорение силы тяжести; L_w — длина ВП, м; V — скорость судна, м/с.

Эта формула достаточно точно отражает наличие ряда «бугров» на кривой сопротивления при разбеге судна, последний из которых соответствует числу $Fr_L = 0,563$.

Формула (10.23) получена из рассмотрения плоской системы поверхностных давлений, и ее целесообразно применять для определения волнового сопротивления скетовых СВП, поскольку скети, ограничивая волны под днищем с борта по фронту, определяют плоский характер движения жидкости.

Для амфибийных СВП волновое сопротивление чаще определяют по зависимости В. П. Волынского

$$R_w = A \left(\frac{1}{Fr} + \frac{L}{B} \right) \frac{\rho_a^2 V^2}{\rho_{\text{л}}^2 g^2}, \quad (10.24)$$

где A — коэффициент, определяемый по графику В. П. Большакова (см. гл. 11, рис. 11.2).

Определяем волновое сопротивление при числе Фруда по ширине подушки $Fr_s > 1,0$, т. е. при установившемся режиме движения может быть также вычислено по приближенной формуле [38]

$$R_w = 1,2 \frac{D}{R_s} \frac{F_s}{\rho} (Fr_s)^{-0,5}. \quad (10.25)$$

Все приведенные выше расчетные формулы относятся к режиму движения СВП на глубокой воде. На мелководье волновое сопротивление возрастает и тем больше, чем меньше относительная глубина H/L_w и выше скорость. Однако волновое сопротивление на мелководье растет до определенного предела. Как показали опыты, рост R_w наблюдается при увеличении относительной глубины до 0,2—0,15; при дальнейшем уменьшении H/L_w волновое сопротивление не изменяется. В практических расчетах учет влияния мелководья производится обычно увеличением коэффициента сопротивления, соответствующего глубокой воде, в 1,5—2 раза.

Остаточное сопротивление. В состав остаточного сопротивления входят все трудно определяемые составляющие, обусловленные бризгообразованием, реактивным воздействием потока воздуха, выходящего из подушки, контактом гибкого ограждения с водой, его замыканием водой при волнении и другими подобными явлениями.

Определение значений этих составляющих затруднительно даже при модельных испытаниях, так как природа их различна, они обусловлены одновременно и силами вязкости, и поверхностным натяжением, и весомостью, а моделирование их пересчет результатов испытаний возможен лишь по закону-то одному критерию, например по числу Фруда. В связи с этим на результат пересчета оказывает заметное влияние масштабный эффект. Поэтому масштаб моделей должен быть по возможности крупным. В целях получения наиболее достоверных результатов пересчета прибегают к испытанию полуватертурных моделей.

Важнейшим проектно-геометрическим параметром СВП, во многом определяющим величину остаточного сопротивления, является относительный зазор, т. е. отношение величины воздушного зазора A_s между нижней частью ГО и уровнем воды к длине подушки L_s . При этом большую роль играет и конструктивный тип самого гибкого ограждения. При более совершенном ограждении, например двухтрубном ГО с поперечно-расчлененным нижним ярусом, относительный зазор может быть принят минимальным по своему значению, и это будет выгодно с точки зрения уменьшения затрат мощности на подъем и поддержание судна. При менее продвинутом ГО или без гибкого ограждения во избежание

большого бризгообразования и замыкания бортов или поверхности ограждения относительный воздушный зазор принимают возможно наибольшим. По опыту эксплуатации английских СВП можно считать приемлемыми следующие значения величины воздушного зазора в зависимости от конструктивного типа ограждения ВП:

Без ГО	$A_s = 0,05 + 0,04L_s$
Гибкий ресор с гибким соплом	$A_s = 0,008 + 0,015L_s$
Двухтрубные ГО	$A_s = 0,005 + 0,006L_s$

В диапазоне эксплуатационных скоростей остаточное сопротивление для эвфрейбных СВП составляет 20—35% полного сопротивления.

Дополнительное сопротивление на волнении. Эта составляющая практически целиком определяется сопротивлением гибкого ограждения, хотя несомненно и собственно волновое сопротивление СВП, и индукционное сопротивление будут как-то изменяться в условиях движения СВП на волнении.

При проектировании СВП величину $R_{\text{ост}}^{\text{мод}}$ определяют по результатам модельных испытаний.

Практическая приближенная оценка этого сопротивления в начальной стадии проектирования может быть произведена по способу, изложенному в гл. 11.

Сопротивление скелетов СВП

10.2.2

В отличие от эвфрейбных скелетов СВП имеют постоянный контакт с водой, и в состав волнового сопротивления, кроме отмеченных в уравнении (10.19), входят еще одна составляющая — сопротивление трения.

Сопротивление трения у скелетов СВП — одна из основных составляющих. Значение $R_{\text{тр}}$ составляет от 30—40% полного сопротивления. Определяют $R_{\text{тр}}$ по общепринятому выражению

$$R_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho v^3}{2} S, \quad (10.26)$$

где $\zeta_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}1} + \zeta_{\text{тр}2}$ — коэффициент сопротивления трения; $\zeta_{\text{тр}1} = \frac{1}{0,45} \frac{1}{(Re_s)^{0,25}}$ — коэффициент трения гладкой пластины; $\zeta_{\text{тр}2}$ — коэффициент надбавки на шероховатость; можно принимать $\zeta_{\text{тр}2} = 0,55 \cdot 10^{-2}$; S — смоченная поверхность скелетов, м^2 .

В первом приближении суммарную смоченную поверхность двух скелетов можно определить по формуле

$$S = 2L_s \left[\frac{R_s}{\cos \beta} + \left(T_{\text{ГО}} - \frac{R_s}{\gamma} \right) \right], \quad (10.27)$$

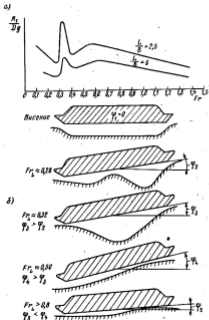


Рис. 10.10. Волновое сопротивление СВП: а — кривые относительного сопротивления; б — схема волнообразования и углы дифферента при разбеге СВП.

где $L_{\text{вп}}$ — длина ВП, м; $B_{\text{вп}}$ — расчетная ширина skeg, м; β — угол внешней изогнутости skeg, град.; $T_{\text{ср}}$ — средняя осадка skeg, м; p_0 — среднее давление воздуха в ВП, Па; γ — удельный вес воды, Н/м³.

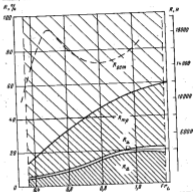


Рис. 10.11. Диаграмма составляющих волнового сопротивления СВП типа «Орлов»: K_x , $K_{x\text{вп}}$, $K_{x\text{ср}}$, $K_{x\text{ост}}$ — относительные сопротивления (в процентах от D/g) соответственно: волновое, амплитудное, треное и остаточное в зависимости от числа Фруда; — — — кривая полного сопротивления $K = 1/Frc$.

Воздушное сопротивление и сопротивление импульсное рассчитываются так же, как и для амфибийных СВП по формулам (10.20) и (10.21).

Волновое сопротивление, как уже упоминалось выше, можно рассчитывать по формуле Ламба [см. формулу (10.23)].

Остаточное сопротивление у skegных СВП обусловлено не только теми причинами, которые отмечались для амфибийных СВП, но и сопротивлениями формы skegов, а также и выступающими частями (гребные валы, крошительки, рули). Величину остаточ-

ного сопротивления определяют по модельным испытаниям или по балансу прототипу.

В приближенных расчетах волновое сопротивление вклада объединяют с остаточным и вычисляют их совместно, как одну составляющую (см. а. 11.2).

Для кривой волнового сопротивления стеговых СВП характерно наличие большого «горба» сопротивления (при $F_{г. вол} \approx 0,5$), при котором сопротивление нередко превышает расчетное значение на полном ходу.

На рис. 10.11 приведена кривая полного сопротивления ССВП типа «Орион» и диаграмма состава этого сопротивления в зависимости от числа Фруда.

Проектирование СВП проводится стадиями последовательных приближений и в методическом плане не имеет особых отличий от проектирования других типов судов. Но проект СВП включает круг совершенно специфических вопросов, связанных прежде всего с проектированием подъемного комплекса, и это коренным образом отличает его от проектов других типов судов тем более, что инженерное решение этих вопросов на стадиях эскизного и технического проектов связано с проведением большого комплекса испытаний на крупномасштабных моделях.

Наряду с общими основными характеристиками проектируемого судна (одни из которых задаются, а другие определяются в процессе проектирования) для СВП характерны также первоначально важные параметры, как площадь воздушной подушки, среднее давление в подушке, производительность вентилятора, потребная мощность для подъема, типовой шумность, суммарная энергооборуженность и др. Вместе с водонизменением определению этих параметров производится в первую очередь в самом начале проектирования.

Специфичными для разработки проекта СВП являются проектирование элементов тубового ограждения, компоновка агрегатов энергетического оборудования, проектирование двигательных комплексов, обеспечение остойчивости и управляемости и решение ряда других важных вопросов.

Теория проектирования СВП еще далеко не совершенна, чтобы с помощью аналитических зависимостей и уравнений, связывающих основные проектные характеристики СВП, можно было обосновано, на базе обобщенных критериев, определить оптимальной

сочетание архитектурно-конструктивной схемы, геометрических параметров, массы судна, мощности, скорости, транспортной эффективности. Поэтому в настоящее время целесообразным оказывается метод последовательных приближений с расчетом основных характеристик проектируемого СВП одновременно по ряду его вариантов. При правильном использовании статистических данных и совместном решении уравнений основных зависимостей графоаналитическим способом можно получить результат, близкий к оптимальному.

Выбор главных элементов СВП в начальной предпроектной стадии проектирования проводится обычно тремя приближениями.

В первом приближении замечаются варианты проектируемого судна, реально возможные в конкретных условиях проектирования в зависимости от требований заказчика. По каждому варианту, используя наиболее устойчивые статистические зависимости, определяют ориентировочное значение водонизменения, параметра подушки, главных размеров. По прототипу или статистическим данным устанавливается энергооборуженность, определяется суммарная мощность энергетической установки, предварительно выбираются главные двигатели. Затем выполняются предварительные эскизы общего вида и планировки основных помещений, что позволяет проверить соответствие полученных размеров условиям размещения. При необходимости размеры корректируются.

Во втором приближении на основе полученных главных элементов проектируемого СВП по каждому варианту проекта более тщательно определяется водонизменение с разбивкой его по отдельным составляющим массам, положение ЦТ по длине и высоте. Рассчитывается мощность подъема, выбираются параметры нагнетателей вентиляторов. Затем вычисляют сопротивления движению, уточняется суммарная мощность и состав энергетической установки. Проверяются условия остойчивости и мореходности, производится расчет строительной стоимости.

Совместным графоаналитическим решением уравнений масс, мощности, мореходности и остойчивости при различных значениях давления воздуха в подушке, а затем построением своего графика зависимости водонизменения, суммарной мощности и строительной стоимости от давления в подушке определяют примерно оптимальный вариант проектируемого судна.

На основе полученных оптимальных значений водонизменения, мощности и давления воздуха в подушке уточняются главные размеры, окончательно выбираются двигатели и вентиляторы, определяются элементы тубового ограждения. Более тщательно прорабатываются компоновочные чертежи общего расположения и прорабатывается принципиальная конструкция корпуса. Для разных случаев нагрузки составляются уравнения сил и момен-

тов, действующих на СВП во время движения, в результате решения которых уточняется необходимая центровка и окончательного определяется размещение основных и расходных грузов.

В процессе приближения производятся проверочные расчеты общей и местной прочности, корректируются размеры конструктивных связей, и, если они явно отклоняются от принятых во втором приближении, необходимо пересчитать и уточнить значение массы металлического корпуса и проверить наличие элементов этой составляющей на основные характеристики СВП.

К третьему приближению относятся также ряд расчетов по статике и динамике СВП.

Проектирование амфибийных СВП

§ 11.1

Характерные значения в зависимости для амфибийных СВП

11.1.1

Относительная скорость. Современные СВП имеют скорость от 40 до 90 уз. В проектах СВП для постройки в ближайшие годы рассматриваются скорости до 110 уз. При относительно малой массе и длине этих судов указанные скорости обуславливают весьма высокую скоростной режим движения. Число Фруда, являясь по водозащитному для отдельного СВП, достигает 9,5, а по длине — 3,5 и более. Для большинства эксплуатируемых в настоящее время амфибийных СВП относительные скорости характеризуются числами Фруда в интервале $F_{rL} = 4,5-6$ для $F_{rD} = 1,75-2,75$. При проектировании СВП используются в основном число Фруда, определяемое по длине судна.

Энерговооруженность. Отношение полной мощности энергетической установки к водозащитному для эксплуатируемых СВП находится в пределах 22—125 кВт на 1 т водозащитки. Энерговооруженность СВП зависит не только от скорости судна и импульсивного качества двигателей, как это имеет место, например, на СПК, но и от параметров подъемного комплекса, в частности, от среднего давления ВП и зазора между нижней кромкой отражения и опорной поверхностью, которые определяют расход воздуха и потребляемую мощность для вентиляторов. Если исходить из теоретических предположений, а именно комплексного параметра, определяющего изменение суммарной энерговооруженности, должно быть принято произведение числа Фруда на относительный зазор в свету, т. е. $N/D = f(F_{rL}, h/L_0)$. Однако отсутствие достоверных данных по величине относительного зазора в свету для построенных СВП исключает возможность использования статистических данных для получения по этой зависимости надежной формулы, пригодной для использования на ранних стадиях проектирования.

Энерговооруженность СВП, если ее рассматривать в зависимости от числа Фруда (рис. 11.1), хотя и проявляет обитую закономерность роста с увеличением относительной скорости, но отличается большим разбросом, который тем больше, чем больше относительная скорость.

На базе этой зависимости при учете основных характеристик построенных СВП ($D, V, L_0 \times V_0$) можно сделать лишь два об-

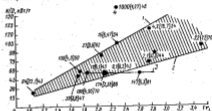


Рис. 11.1. Энерговооруженность СВП в зависимости от числа Фруда.

1 — нижняя граница N/D ; 2 — верхняя граница N/D ; 3 — расстояние зазора $N/D = 54$ кВт/т; 4 — СВП для Арктики (проект), $N/D = 187$ кВт/т. Числа в скобках: первое — скорость, второе — водозащитка, третье — диаметр, четвертое — диаметр в свету, пятое — скорость, т.

щих выводов, которые полезно учитывать в начальной стадии проектирования:

наибольшую энерговооруженность, до 120 кВт/т, имеют малые СВП $D = 2-5$ т при высоких значениях чисел Фруда (2,8 и более). Эти СВП отличаются большим отношением L/D (до 22 m^2/t);

наиболее крупные эксплуатируемые СВП ($D = 150-200$ т) при скорости от 70 до 88 уз ($F_{rL} = 1,8-2,6$) имеют примерно одинаковое значение энерговооруженности, равное в среднем 54 кВт/т. Отношение L/D для этих судов великое и находится в пределах 2,6—6,3 m^2/t .

Особенно большой энерговооруженностью отличается СВП водозащитным 1000 т (рис. 11.1, точка 4). Это СВП (проект) предназначено для Арктики. Можно предположить, что для повышения производительности над ледяными торосами и в целях предотвращения сильного отражения по сравнению с обычными СВП предусмотрен существенно увеличенный зазор в свету. Давление в подушке также увеличено. Оно равняется 7900 Па, что в 2,5—

3 раза больше, чем давление в подушке обычных СВП. При высоком давлении и большом зазоре в свету резко увеличивается расход воздуха и мощность подъема судна. Таким образом, крайне высокая энергоэффективность объясняется большой мощностью вентиляторов в связи с особыми условиями эксплуатации СВП.

На существующих СВП мощность, затрачиваемая на подъем, составляет 33—40%, иногда 50% суммарной мощности или соответственно — 50—67%, иногда 100% мощности, затрачиваемой на движение.

Тяговооруженность. Тяговооруженностью СВП называется отношение суммарной тяги двигателей к потребляемой мощности T/N , Н/кВт. Эта величина для построенных СВП составляет 8—10%. Большие значения тяговооруженности относятся к малым СВП, в меньшие — к большим судам. Максимальное значение тяговооруженности должно обеспечивать преодоление «сроста сопротивления» при разбеге СВП на тихой воде с ускорением 0,05.

Среднее давление в ВП (\bar{p}_0). Среднее давление для СВП по зарубежному опыту рекомендуется в начале проектирования принимать по зависимости [42]

$$\bar{p}_0 = k(D)^{0,75}, \quad (11.1)$$

где \bar{p}_0 — среднее давление в воздушной подушке, Па; D — расчетная масса, т; k — коэффициент пропорциональности, принимаемый для пассажирских СВП в пределах 900—1050.

Крайне высокое значение среднего давления в подушке увеличивает расход воздуха, волновое сопротивление (особенно на выходе) и брызгообразование (а следовательно, и потребляемую мощность подъемного и движительного комплекса), а также обуславливает более «жесткий» ход СВП на волнении, что приводит к увеличению вертикальных ускорений, снижающих комфорт пребывания на судне.

Низкое давление в подушке приводит к увеличению габаритных размеров судна и его массы.

Таким образом, среднее давление в подушке является параметром, который не может назначаться произвольно, а должен определяться как результат комплексной оптимизации основных элементов и параметров проектируемого СВП в зависимости от условий мореходности, инерго- и тяговооруженности, от типа ГО, конструкции и материала корпуса и т. д.

В приведенной выше зависимости (11.1), рекомендуемой для использования в начальной стадии проектирования, коэффициент пропорциональности можно принимать равным 1500—2000, т. е. в 1,5—2 раза больше, если проектируемое СВП имеет какое-то специальное назначение, когда не предъявляются высокие эко-

номические требования и допускаются повышенные ударные перегрузки при ходе на волнении.

В стадии эскизного проектирования, когда проводится модельные испытания, для пересчета результатов с модели на натуру пользуются зависимостью

$$P_0 = \bar{p}(D)^{0,75}, \quad (11.2)$$

где $\bar{p}_0 = p_0(D)^{0,75}$ — относительное давление.

Значение коэффициента \bar{p}_0 для большинства построенных СВП лежит в пределах 550—700, хотя в ряде случаев снижается почти до 300 (N.500—300, «Сорюмент» — 320) или же достигает 800 и более.

Отношение главных размеров ВП ($\lambda_0 = L_0/B$). Величина отношения λ_0 влияет на сопротивление движению, мощность подъема, остойчивость, компоновочную схему и на ряд других航行-инных и эксплуатационных качеств СВП. Для построенных СВП отношение λ_0 колеблется в пределах от 1,0 до 2,6. Нижний предел λ_0 обеспечивает наименьшие затраты мощности на подъем и движение, но в ряде случаев затрудняет конструктивно-компоновочные решения, ухудшает мореходность и проходимость над участками суша, обуславливает некоторые неудобства при эксплуатации, например швартовочные операции.

Рекомендуется принимать $\lambda_0 = 2+2,4$, но необходимо иметь в виду, что критерием выбора этого параметра является требование обеспечения остойчивости и мореходности.

Высота гибкого ограждения ($A_{ГО}$). Высота ГО определяется требуемой мореходностью и по этим соображениям должна приниматься равной высоте расчетной волны 3%-ной обеспеченности. Однако по требованию обеспечения остойчивости выбранная высота ГО должна удовлетворять следующим условиям [42]:

$$\left. \begin{aligned} A_{ГО} &< 0,15 + 0,17B_0; \\ \frac{B_0}{m + A_{ГО}} &> 3, \end{aligned} \right\} \quad (11.3)$$

где B_0 — ширина воздушной подушки, м; B_0 — амплитуда ЦТ, измеренная от нижней кромки гибкого ограждения, м. Расчет ГО неферных судов на воздушной подушке рекомендуется выполнять по методике В. В. Кличко.

Определение массы и выбор главных размеров СВП в первом приближении

11.12

Для определения массы проектируемого СВП в первом приближении следует воспользоваться статистическими данными по укрупненным статьям нагрузки.

Для СВП зарубежной постройки характерны следующие показатели (в процентах от полного водоизмещения) [42]:

Полная нагрузка	24—34
Топливо на 3,5 ч хода	15—9
Полная нагрузка наке топливе	33—43
Корпус с оборудованием	42—49
Энергетическая установка	9—14

Как видно из приведенных данных, наиболее устойчивым показателем (с расхождением 4%) является относительное значение суммарной массы.

Таким образом, массу судна можно представить как величину, зависящую от $(P_{TP} + P_{EM})$.

$$D = \frac{P_{TP} + P_{EM}}{0,35 + 0,43} = 2,3 + 2,6(P_{TP} + P_{EM}). \quad (11.4)$$

Поскольку масса топлива в начале проектирования неизвестна, ее следует представить в виде зависимости от водоизмещения, воспользовавшись формулой

$$P_{TP} = 0,06Dg_{TP} \frac{r}{V}, \quad (11.5)$$

где g_{TP} — удельный расход топлива в двигательном режиме работы энергетической установки. В первом приближении для газотурбинной установки можно принять $g_{TP} = 0,35$ кг/кВт·ч; r — дальность плавания на скорости полного хода, м; миль; V — эксплуатационная скорость, уз.

Подставив P_{TP} в (11.4), получим

$$D = 2,3 + 2,6(P_{TP} + 0,06Dg_{TP}r/V). \quad (11.6)$$

Решив уравнение (11.6) относительно массы, при среднем значении коэффициента перед скобкой, равном 2,45, найдем

$$D = \frac{2,45P_{EM}}{1 - 0,14(0,06g_{TP}r/V)}. \quad (11.7)$$

Располагая массой судна и заданной скоростью, по прототипу и аналогичным, приведенным в параграфе 11.1.1, необходимо выполнить следующие:

определить среднее давление в воздушной подушке и ее площадь ($S_0 = gD/P_0$);
 задать отношение $\lambda_0 = L_0/B_0$, и, приняв во внимание, что $S_0 \approx 0,95L_0B_0 \approx 0,95\lambda_0B_0^2$, определить ширину ВП ($B_0 = \sqrt{1,025V^2/S_0\lambda_0}$) и ее длину ($L_0 = \lambda_0B_0$);

задать типом ГО, определить его высоту и способом схематической прорисовки тубного ограждения по периметру воздушной подушки и профилю поперечных сечений определить длину и ширину корпуса СВП;

по числу Фруда, пользуясь прототипом и статистическими данными, выбрать предположимую энергооснащенность и по ней найти требуемую суммарную мощность энергетической установки; выбрать главные двигатели; наметить (принять) количество и расположение двигателей и вентиляторов; выполнить предположимую прорисовку общего расположения.

Убедившись в принципиальной возможности размещения груза, пассажиров и основного энергетического оборудования в принятых размерах корпуса, можно переходить ко второму приближению определения главных элементов проектируемого судна.

Определение главных элементов СВП во втором приближении

11.1.3

Одной из первых задач второго приближения является уточнение нагрузки судна с разбивкой ее по отдельным частям и определению положения ЦТ по длине и высоте СВП.

Полная масса СВП представляется в виде суммы отдельных ее составляющих по схеме

$$D = P_k + P_{k, \text{в}} + P_m + P_{k, \text{с}} + P_{k, \text{р, в}} + P_{TP} + P_{EM} + P_{\text{г}} + P_{\text{п}} + P_{\text{а}} + P_{\text{м}} + \Delta D. \quad (11.8)$$

Масса перевозимого груза $P_{k, \text{г}}$ и масса экипажа с запасами питьевой воды и продовольствия $P_{k, \text{п}}$ относятся к группе достоверных элементов уравнения (11.8), не зависящих от основных элементов и параметров СВП, и их нетрудно определить по условию задания.

Из остальных составляющих нагрузки СВП наиболее значительны массы корпуса с оборудованием P_k , энергетической установки P_m и топлива P_{TP} , и очень важно в самой начальной стадии проектирования определить их возможно точнее.

Масса корпуса P_k . В состав P_k входит металлический корпус с фундаментами и подкреплениями $P_{k, \text{с}}$, дельные вещи $P_{k, \text{д}}$, изоляция $P_{k, \text{и}}$, окраска и покрытие палуб $P_{k, \text{о}}$, и оборудование $P_{k, \text{об}}$. Массу P_k и ее составляющие надежнее всего определять по прототипу. При отсутствии прототипа можно воспользоваться приближенными формулами, полученными по статистическим данным, например приведенным в [42].

$$P_{k, \text{с}} \approx 0,022W_{\text{с}}, \quad (11.9)$$

$$P_{k, \text{д}} \approx 1,4P_{k, \text{с}} \approx 0,031W_{\text{с}}, \quad (11.10)$$

где $P_{k, \text{с}} = P_k - P_{k, \text{об}}$ — голый корпус, т. е. масса, соответствующая подразделу «А» в судостроительных расчетах нагрузки; $W_{\text{с}}$ — суммарный объем корпуса с надстройкой, м³.

Объем W_k определяется по предельной схеме общего расположения по зависимости

$$W_k = H_{\text{макс}} S_k + W_p, \quad (11.11)$$

где S_k — площадь ВП, м²; $H_{\text{макс}}$ — высота корпуса на миделе, м; W_p — объем застройки с ходовой рубкой, м³.

Масса корпуса без оборудования (голый корпус) может быть приближенно определена и по формуле, также приведенной в [42],

$$P_{k-д} = (0,175 + 240/d_k) D, \quad (11.12)$$

где d_k — среднее давление в воздушной подушке, Па; D — водоизмещение, кг.

Масса оборудования $P_{об}$, входящая в состав массы корпуса P_k , при отсутствии прототипа для пассажирских СВП может быть оценена по приближенной зависимости

$$P_{об} = 0,018\Pi, \quad (11.13)$$

где Π — число пассажиров.

Масса механиком энергетического оборудования СВП $P_{мв}$. В эту величину включаются главные вентиляторы, воздушные винты, редукторы, валы, воздухоочистительное устройство и другие элементы энергетической установки. Она определяется по выражению

$$P_{мв} = g_m N_{мв}, \quad (11.14)$$

где $N_{мв}$ — полная установочная мощность энергетической установки, кВт; $g_m = P_{мв}/N_{мв}$ — относительная масса энергетического оборудования, кг/кВт.

Значение g_m следует принимать по прототипу или разным 2,18 кг/кВт.

Масса топлива и масла $P_{тм}$. Эта величина может быть определена по зависимости [42]

$$P_{тм} = 1,358 k_1 g_m r / V_s N_s 10^3 + \Delta P_{тм}, \quad (11.15)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий наливки на расход масла $k_1 = 1,05$; k_2 — коэффициент, учитывающий навигационный запас топлива на запуск двигателя, подход и выход из перта. Для внутренних водных путей принимают $k_2 = 1,05$, для морских условий $k_2 = 1,1$; r — заданная дальность плавания, м. миль; V_s — эксплуатационная скорость судна уз; N_s — эксплуатационная мощность, кВт.

Масса гибкого ограждения $P_{ГО}$. Эта величина ориентировочно определяется по зависимости [42]

$$P_{ГО} = 0,007 S_k A_{ГО}. \quad (11.16)$$

Масса электрооборудования. Данная величина также ориентировочно может быть определена по зависимости

$$P_{э} = k_{э} D, \quad (11.17)$$

где $k_{э}$ — коэффициент, зависящий от мощности потребителей, системы проводки, типа генераторов и кабелей, типа и мощности радиостанции и т. п.

Для морских судов принимается [42]

$$k_{э} = 0,02 \text{ при } D < 100 \text{ т; } k_{э} = 0,03 \text{ при } D > 100 \text{ т.}$$

Масса судовых систем $P_{с.с.}$ принимается равной 0,035D, масса жидких грузов $P_{ж.г.}$ — равной 0,03D и масса по грузам «снабжение, расходные материалы» $P_{сж-равн}$ — равной 0,065D.

В результате расчета составляющих масс судна, во втором приближении уточняется водоизмещение и, если это необходимо, корректируются размеры и давление в воздушной подушке.

После этого следует перейти к уточнению потребной мощности энергетической установки.

Мощность энергетической установки. Основными слагаемыми общей потребной мощности для амфибийных СВП является мощность, необходимая для движения судна с заданной скоростью $N_{дв}$, и мощность для создания воздушной подушки $N_{в}$. Кроме того, часть мощности энергетической установки расходуется на вспомогательные нужды (привод различных механизмов, работа навигационных генераторов, обеспечение работы различных систем и т. п.) и теряется в передаточных системах (валы, редукторы), а системах воздухоочистительных устройств. В результате изменения атмосферных условий речь идет о изменении температуры засасываемого воздуха на режим работы газовых турбин и т. д.

Таким образом, уравнение суммарной потребной мощности может быть представлено в виде

$$N_{\Sigma} = (N_{дв} + N_{в}) + N_{всп}, \quad (11.18)$$

где $(N_{дв} + N_{в}) = N$ — основная потребная мощность.

Учитывая, что газотурбинные двигатели имеют длительный ресурс при работе с нагрузкой, не превышающей 0,9 их полной мощности, а наиболее экономичный режим движения амфибийных СВП соответствует скорости, близкой к полной расчетной, принимают

$$N_{\Sigma} \leq 90\% N_{\text{полн.}}$$

Поскольку $N_{всп} = 11\% N_{\Sigma}$ и примерно 12,5% N , получаем

$$N = N_{дв} + N_{в} \leq 80\% N_{\text{полн.}} \quad (11.19)$$

Таким образом, полную мощность энергетической установки следует принимать из расчета

$$N_{\text{max}} = 1,25N, \quad (11.20)$$

где N — основная потребная мощность на подъем и движение СВП в спецификационных условиях режима эксплуатации проектируемого СВП, кВт.

Основная потребная мощность и скорость судна при волномоторном движении рассчитываются для двух режимов эксплуатации:

на скорости длительного полного хода на тяжелой воде на волнении 2—3 балла;

на скорости хода при спецификационном волнении и ветре при движении на неблагоприятных курсовых углах к волне.

В начальной стадии проектирования можно ограничиться одним расчетом режимом — движением на расчетном встречном волнении и ветре, соответствующим заданной мореходности.

Мощность (в киловаттах), необходимая для движения СВП, определяется по формуле

$$N_{\text{max}} = \frac{R_{\text{max}}^0 V}{\eta_{\text{дв}}} 10^{-3}, \quad (11.21)$$

где R_{max}^0 — полное сопротивление на волнении, Н; V — скорость судна, м/с; $\eta_{\text{дв}}$ — КПД двигателя.

КПД воздушных винтов, которые обычно используются в качестве движителей на амфибийных СВП в предварительных расчетах для диапазона скоростей от 28 до 56 м/с, можно определить по эмпирической приближенной зависимости

$$\eta_{\text{дв}} = 79,2V \cdot 10^{-4} + 0,18, \quad (11.22)$$

где V — скорость судна, м/с.

Полное сопротивление на волнении представляется в виде суммы аэродинамического R_a^0 , импульсного $R_{\text{имп}}^0$, волнового $R_{\text{в}}^0$, остаточного $R_{\text{ост}}^0$ и доволнового сопротивления на волнении, т. е.

$$R_{\text{max}}^0 = R_a^0 + R_{\text{имп}}^0 + R_{\text{в}}^0 + R_{\text{ост}}^0 + R_{\text{в}}^{\text{до}} \quad (11.23)$$

Для приближенного расчета полного сопротивления задаются несколькими значениями (минимум — тремя) скоростей, для каждой скорости находят число Фруда $Fr_L = V/\sqrt{gL}$ и в табличной форме также для каждой скорости определяют (в дН) следующие величины:

аэродинамическое сопротивление

$$R_a^0 = 0,05C_x \rho (V + V_s)^2 S_{\text{max}}, \quad (11.24)$$

где $C_x = 0,4 + 0,5$ — коэффициент профильного сопротивления; ρ — плотность воздуха ($\approx 1,25$), кг/м³; V_s — скорость встречного ветра, приближенная по шкале Бофорта для заданного волнения, м/с; $S_{\text{max}} \approx B_s H_{\text{max}} + A_{\text{ГО}}$ — площадь полного поперечного сечения СВП, м²;

циркуляционное сопротивление

$$R_{\text{имп}}^0 = 0,103\rho Q (V + V_s), \quad (11.25)$$

где Q — объемный расход воздуха, м³/с, определяемый по пересчету с прототипа ($Q = Q_{\text{пр}} m^{0,75}$) или по приближенным формулам; $m = \sqrt[3]{D/D_{\text{прот}}}$ — коэффициент подобия.

В первом приближении полный расход воздуха (в л с) в условиях движения СВП на волнении может быть определен по следующим формулам [15]:

$$Q_{\text{пр}} \approx 0,05 \sqrt{\frac{S_{\text{в}} D g}{\pi \rho}}; \quad (11.26)$$

$$Q_{\text{пр}} \approx 0,75 S_{\text{в}} \sqrt{h_{\text{ГО}}}, \quad (11.27)$$

где D — масса судна, кг; $S_{\text{в}}$ — площадь ВП, м²; ρ — плотность воздуха, кг/м³; g — ускорение силы тяжести, м/с²; $h_{\text{ГО}}$ — высота гибкого ограждения, м;

волновое сопротивление [15]

$$R_{\text{в}}^0 = A_{\text{в}} \frac{\rho^2 V^4}{\pi g}, \quad (11.28)$$

где $A_{\text{в}}$ — коэффициент, определяемый по графику (рис. 11.2) в зависимости от $(1/Fr_L)^4$ и $h_{\text{в}}$; $h_{\text{в}}$ — давление в ВП, Па; γ — удельный вес воды, Н/м³;

остаточное сопротивление

$$R_{\text{ост}}^0 = \tau_{\text{ост}} m^2, \quad (11.29)$$

где $\tau_{\text{ост}}$ — остаточное сопротивление прототипа при равных числах Фруда; $m = \sqrt[3]{D/D_{\text{прот}}}$ — коэффициент подобия.

В случае отсутствия прототипа величину остаточного сопротивления приближенно можно оценить по графикам систематических испытаний буксирных моделей, приведенных, например, в монографии [42]; один из таких графиков приведен на рис. 11.3. Приближенно остаточное сопротивление можно определить по зависимости

$$R_{\text{ост}}^0 = (0,002 + 0,003) D g; \quad (11.30)$$

дополнительное сопротивление на волнении

$$R_{\text{волн}}^{\text{доп}} = r_{\text{волн}}^{\text{доп}} v^3, \quad (11.31)$$

где $r_{\text{волн}}^{\text{доп}}$ — коэффициент дополнительного сопротивления, принимаемый по прототипу; m — коэффициент подобия.

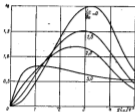


Рис. 11.2. Зависимость волнового сопротивления воздушной подушки от числа Фруда

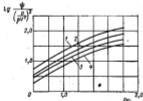


Рис. 11.3. Кривые постоянных значений относительного дополнительного сопротивления $R_{\text{волн}}^{\text{доп}}/Dg$ водном СВП с коэффициентом подобия 10.

1 — 1,00; 2 — 1,00; 3 — 0,81; 4 — 0,808; 5 — 0,786 — значение коэффициента.

При отсутствии прототипа дополнительное сопротивление можно определить через его относительное значение по формуле

$$R_{\text{волн}}^{\text{доп}} = 0,102 (R_{\text{волн}}^{\text{доп}}/Dg) Dg, \quad (11.32)$$

где $R_{\text{волн}}^{\text{доп}}/Dg$ — относительное значение дополнительного сопротивления на волнении, определяемое по графику (рис. 11.4) в зависимости от числа Фруда и отношения расчетной высоты волны к высоте гребня ограждения.

По результатам расчетов полного сопротивления $R_{\Sigma}^{\text{доп}}$ и мощности на движенье $N_{\text{доп}}$ (по формуле (11.21)), проделанных для нескольких значений скоростей, строится смещенный график $R_{\Sigma}^{\text{доп}} = f(V)$ и $N_{\text{доп}} = f(V)$, по которому и определяется полное сопротивление и потребная мощность на движенье при заданной скорости (рис. 11.5). Однако необходимо убедиться в том, что движители (воздушные винты), применяемые для проектируемого судна по конструктивно-габаритным характеристикам, способны реализовать

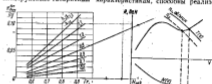


Рис. 11.4. Относительное дополнительное сопротивление на волнении в зависимости от числа Фруда и отношения расчетной высоты волны к высоте гребня ограждения.

Рис. 11.5. Смещенный график $R, T, N = f(V)$.

дать полученную мощность и обеспечить необходимую суммарную тягу $T_{\Sigma} \geq R_{\Sigma}^{\text{доп}}$ при заданной скорости. Для этого следует провести расчет движителя (см., например, [15]) и нанести на смещенный график кривую суммарной тяги винтов $T_{\Sigma} = f(V)$.

Смещенный график кривых наметки $R_{\Sigma}^{\text{доп}}, T_{\Sigma}$ и $N_{\text{доп}}$ в зависимости от скорости позволит достаточно обстоятельно решить задачу по определению необходимой мощности на движенье СВП с заданной скоростью или, наоборот, определить достижимую скорость судна при мощности двигателя, намеченного для использования на проектируемом судне.

Мощность (в киловаттах), необходимая для создания и поддержания воздушной подушки, приближенно определяется по формуле

$$N_{\Sigma} \approx \frac{Q \rho_0}{\eta_{\Sigma}}, \quad (11.33)$$

где Q — секундный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$, определяемый по формулам (11.26) и (11.27) или по прототипу; $\rho_0 = 1,3 \rho_{\text{в}}$ — давление в ресивере, Па; η_{Σ} — среднее дилатение в ВП, Па; $\eta_{\Sigma} = 0,5 + 0,65$ — КПД нагнетательной установки, учитывающий потери в вентиляторе и воздушных каналах и соелах.

Для определения N_0 можно также воспользоваться формулой Деккера*

$$N_0 = \frac{0,1640}{\gamma_0} \left(1 + \frac{L_0}{R_0}\right) \sqrt{D} V_0 \quad (11.34)$$

Полная мощность энергетической установки в соответствии с зависимостью (11.20) определяется по выражению

$$N_{\text{стан}} = 1,25(N_{\text{пр}} + N_0) \quad (11.35)$$

Проектирование skeговых СВП

§ 11.2

Характерные величины и зависимости для skeговых СВП

11.2.1

Скорость движения. Абсолютная и относительная скорости skeговых СВП существенно ниже по сравнению с амфибийными. Для большинства построенных ССВП скорость движения лежит в пределах 25–40 уз при $F_{rL} = 1,0-1,4$. Однако ряд экспериментальных ССВП имеет более высокие скорости, достигающие 80 уз при $F_{rL} \approx 2,7$. На весьма высокие скорости (до 130–135 уз) рассчитываются и перспективные крупнотоннажные транспортные ССВП океанского плавания водоизмещением до 10 тыс. т.

При небольших размерах ССВП большие скорости обуславливают высокой скоростью режим движения водонезаполненных skeгов ($F_{rL} > 2,5$), вследствие чего резко возрастает их сопротивление. Для таких ССВП характерна весьма высокая энергооборуженность и значное значение коэффициентов буксировочного gD/R и пропульсивного gD/R качества. Так, для ССВП НМ5 ($D = 73$ т, $V = 40$ уз, $N = 2350$ кВт) пропульсивное качество $K_p = 6,8$, а для экспериментального ССВП SES 100 В ($D = 100$ т, $V = 79$ уз, $N = 11\,000$ кВт) коэффициент $K_p = 3,6$. Наоборот, при больших размерах skeговых судов, несмотря на высокие значения абсолютных скоростей, скоростной режим движения по числу Фруда оказывается умеренным или не особенно высоким ($F_{rL} < 2$), и в результате энергооборуженность падает, а пропульсивное качество заметно возрастает. Так, ССВП водоизмещением 10 000 т при скорости $V = 115$ уз и мощности 367 500 кВт (проект) имеет $K_p = 16$ (1) (табл. 11.1).

Энергооборуженность. Для ССВП, как и для других судов, этот показатель ($N_{\text{стан}}/D$) зависит от скорости, массы и пропульсивного КПД двигателя. В начальной стадии проектирования энергооборуженность ССВП может быть приближенно определена по графику (рис. 11.6). При составлении графика использованы

статистические данные и результаты проектных расчетов, проведенных за рубежом.

Среднее давление в воздушной подушке. В связи с тем, что расход воздуха у skeговых судов происходит через относительно малый периметр воздушной подушки (только через носовое и кормовое гребные ограждения), среднее давление в ней может быть выше в принципе больше, чем для амфибийных СВП. Так,

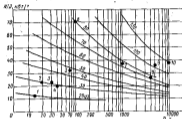


Рис. 11.6. Изменение энергооборуженности ССВП в зависимости от водоизмещения в скорах

1 — «Бразилия» 2 — НМ-20КП; 3 — «Сантафи» 4 — «Альбатрос» 5 — 3000,5 ($V = 45$ уз) 6 — 1501 = 100 т ($V = 33$ уз); 7 — проект ($V = 74$ уз); 8 — проект ($V = 75$ уз); 9 — проект ($V = 120$ уз); 10 — проект ($V = 120$ уз).

зарубежные специалисты в проектно-исследовательских проработках перспективных ССВП принимают эту величину от 5000 до 30000 Па при относительном давлении $p_0 = p_0(D)^{1/3}$ от 400 до 1200. При этом некоторые фирмы считают, что оптимальное давление определяется отношением $p_0/L_0 = 235$ Н/м².

Для существующих ССВП давление p_0 лежит в пределах 2000–4000 Па, отношение p_0/L_0 — в пределах 90–200 Н/м², а относительное давление $p_0 = 700-1100$.

Выбор среднего давления воздуха p_0 для проектируемого ССВП в конечном итоге производится в зависимости от площади воздушной подушки S_0 , которая определяется размерами судна, необходимыми для размещения пассажиров, груза и энергетического оборудования на объемах погруженной части skeгов $V_{\text{ск}}$. Оно может быть определено по выражению

$$p_0 = \frac{gD - \gamma V_{\text{ск}}}{S_0} \text{ Па.} \quad (11.36)$$

* Размеры в формуле: D — т; p — кг/см²; V — м; K — кВт.

Основные характеристики

Характеристика	«Орион»	«Орион»	«Росток»
Длина наибольшая, м	22,1	24,7	25,3
Ширина наибольшая, м	2,85	5,1	5,7
Пассажиропоемность, чел.	48	80	80
Длина, т	5,2	8,75	9,0
Полезная масса, т	15,7	21,3	20
Надежность эксплуатационная, л. с.	235	2x520	2x520
Скорость максимальная (эксплуатационная), уз	20/18	20/29	20/27
Воздушная подушка:			
длина L_p , м	21,3	23,1	20,8
ширина B_p , м	3,2	4,5	4,0
отношение L_p/B_p	6,66	5,13	5,21
площадь S_p , м ²	67	104	86
давление p , Па	1800	2700	2800
Расход воздуха Q , м ³ /с	5,5	12,0	10,7
Снеги:			
высота $H_{сн}$, м	0,45	0,70	1,5
ширина $B_{сн}$, м	0,325	0,50	0,9
Полезный коэффициент ВП $\eta_{\text{ВП}}$	0,88	0,89	0,734
Энергооснащенность N/D , кВт/т	12,5	24,3	19,5
Число тонн водозмещения на одного пассажира, т/чел.	0,285	0,294	0,200
Коэффициент utilization водозмещения:			
по длине $\eta_{\text{дл}}$	0,280	0,317	0,223
по частоте грузоподъемности $\eta_{\text{гр}}$	0,216	0,230	0,180
Продуктивное качество $K_{\text{п}} = \frac{DV}{100V}$	-7,5	6,7	7,5

Относительная длина воздушной подушки. Для существующих ССВП относительная длина воздушной подушки $\lambda = L_p/B_p$ колеблется в больших пределах (от 1 до 8). Наиболее приемлемым значением этого отношения следует признать $\lambda = 2,5-5$. Увеличение относительной длины ВП позволяет уменьшить волновое сопротивление и улучшить ходовые качества, но затрудняет обеспечение необходимой поперечной устойчивости и общей продольной прочности; последнее может привести к увеличению массы металлического корпуса. При движении в условиях волнения валиние удлиненное ССВП обладает большим сопротивлением.

В реальных условиях проектирования оптимальное значение отношения λ выбирается в результате испытания крупномасштабных моделей.

Таблица II.1

пассажирских судов СВП

Проект СССР	Проект СССР	ИММАТ (Англия)	8042 (США)	1196 (США)	Проект (США)
23,5	25,6	15,5	27,2	26,1	152,4
7,0	7,9	9,1	5,80	14,5	65,5
120	150	82	До 200	До 450	СВП грузопоем
48,5	15	~8,7	~29,3	~50	7500
2x1000	2x1000	2x1000	2x1000	2x2000	10 000
—70	—31	1x180	40/35	2x370	500 000
		35/29	48/41		—/120
20,0	23,5	~12,7	—22	20,8	—
5,0	5,0	~4,5	~7,35	~11,0	—
4,0	4,5	~2,75	~3,0	~2,5	—
100	110	58,4	~140	~240	—
2670	2670	2460	~380	~3700	11 300
19,2	19,5	—	—	—	—
1,5	1,5	~1,0	~1,5	—	—
1,0	1,0	~0,75	~1,25	—	—
0,725	0,724	0,725	~0,755	—	—
20,1	27,9	22,6	22,2	20,9	26,8
0,406	0,354	0,311	0,265	0,297	—
0,314	0,240	0,247	0,260	0,260	0,725
0,222	0,226	0,229	0,271	0,270	—
~5,0	~6,3	5,5	5,8	9,8	~36

Относительные размеры снегов. Снеги выполняются в основном две функции: ограждать воздушную подушку с бортов и обеспечивают необходимую поперечную устойчивость судна. Исходя из этих назначений снегов и определяют их размеры.

В результате исследований, проведенных Д. Н. Васильевым, В. К. Зоростровым и В. В. Шаталовым, установлено, что размеры снегов зависят только от λ , p , \bar{h} и не зависят от V и D .

Здесь $\lambda = L_p/B_p$ — относительная длина подушки; $\bar{h} = h_p/(D)^{1/3}$ — относительное давление воздуха в ВП; $\bar{h}_m = h_m/B$ — относительная поперечная метacentрическая высота; B — ширина судна, м; V — скорость, м/с; D — масса ССВП, т.

При фиксированных значениях относительной метацентрической высоты \bar{h}_m отношение суммарной ширины скегов к ширине ВП может быть представлено как многозначная функция в зависимости от λ и \bar{p} .

$$\frac{2\bar{b}_s \bar{b}_s}{B_s} = f(\lambda, \bar{p}) \text{ при } \bar{h}_m = \text{const.} \quad (11.37)$$

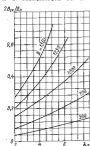


Рис. 11.7. Изменение относительной ширины скегов в зависимости λ при фиксированном значении \bar{p} .

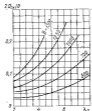


Рис. 11.8. Изменение относительного водозащитного положения скегов в зависимости от λ .

Аналогичной зависимостью выражается и значение отношения суммарного водозащитного скегов к водозащитному судна, т. е.

$$\frac{2D_{cs}}{D} = f(\lambda, \bar{p}) \text{ при } \bar{h}_m = \text{const.} \quad (11.38)$$

И относительная ширина скегов, и относительное водозащитное возращают с увеличением λ и тем быстрее, чем больше \bar{p} . При постоянных значениях λ и \bar{p} ширина и водозащитные скегов увеличиваются с ростом значения \bar{h}_m .

Для обеспечения необходимой остойчивости ССВП рекомендуется удовлетворять условие

$$\bar{h}_m > 0,5. \quad (11.39)$$

Кривые зависимостей (11.37) и (11.38) при $\bar{h}_m = 0,5$ приведены на рис. 11.7 и 11.8. Пользуясь этими графиками, при известных

значениях B_s , \bar{p} и D (а они определяются в первую очередь), легко найти значение ширины скегов B_{cs} и их водозащитные D_{cs} .

Ориентиром для проектирования ССВП и проектные проробки, приближенно можно принимать $\frac{2D_{cs}}{D} = 0,2$ для речных судов (при $p_s = 2 + 2,5 \cdot 10^6$ Па) и $\frac{2D_{cs}}{D} = 0,4$ для морских (при $p_s = 3 + 3,5 \cdot 10^6$ Па).

Водозащитное скегов, определяемое по их средней осадке и положению вставки (при статическом положении судна на полукне), составляет $-0,15D$ и более для пассажирских ССВП и $-0,1D$ и более для грузовых.

Высота скегов выбирается из условия мореходности. Она должна приниматься не менее высоты волны 3%-ной обеспеченности при заданной мореходности.

По некоторым зарубежным рекомендациям, высоту скегов следует принимать из условия

$$H_{cs} > 0,075L_s. \quad (11.40)$$

Для ССВП, сделанных по которым приведены в табл. 11.1, высота скегов составляет

$$\left. \begin{aligned} H_{cs} &= 0,02 + 0,03L_s \text{ для речных ССВП;} \\ H_{cs} &= 0,068 + 0,075L_s \text{ для морских ССВП.} \end{aligned} \right\} \quad (11.41)$$

Расход воздуха. Расход воздуха из воздушной подушки у скеговых судов значительно меньше, чем у шифбланных, и потребная мощность, и производительность вентилятора также намного меньше. Тем не менее определение этой величины, необходимой для подбора вентилятора и определения потребной суммарной мощности энергетической установки, является важным вопросом проектирования ССВП, решать который необходимо в самой начальной стадии разработки проекта.

В настоящее время отсутствуют теоретически обоснованные и надежные способы определения необходимой производительности вентилятора.

Используются обычно эмпирические и полумпирические формулы, многие из которых получены с учетом действия «волнового воронки», вытесняющего воздух на подушку.

Наиболее близкий к действительному результату дает формула Е. П. Ринкова

$$Q = k k_1 B_s \frac{h_s}{2} V, \quad (11.42)$$

где $k = 0,5$ — коэффициент, характеризующий частичную стабильность ССВП на волнении; $k_1 = 0,7$ — коэффициент,

учитывающий снижение скорости судна на волнении; h_n — высота расчетной воды. Ее следует принимать равной $H_{из}$; V — скорость движения судна, м/с.

Расход воздуха может быть оценен по формуле

$$Q = \frac{10^6 N_p \eta_{в}}{P_{в}} \quad (11.43)$$

где N_p — мощность подьема, кВт; $P_{в}$ — давление в воздушной подушке, Па; $\eta_{в}$ — коэффициент полезного действия газотепловой системы вентилатора, воздушных каналов. В первом приближении можно принять $\eta_{в} = 0,5-0,6$.

Мощность подьема (в киловаттах) может быть выражена зависимостью

$$N_p = 10^{-4} h_n g D \quad (11.44)$$

где h_n — высота подьема, на обеспечение которой расходуется мощность вентилатора; D — масса судна, кг.

Определение полной массы и выбор главных размеров ССВП в первом приближении

11.2.2

Как в случае проектирования амфибийных СВП, для определения массы ССВП в первом приближении следует воспользоваться статистическими данными по нагрузке судов.

Для отечественных и зарубежных пассажирских ССВП характерны следующие значения основных групп нагрузки в процентах от полной массы:

Корпус с оборудованием	32—42
Энергетическая установка	15—20
Запас топлива и масла	3—9
Полная нагрузка	18—31
Декапит (полная нагрузка плюс топливо)	23—36

Приведенные данные показывают, что наиболее интересующие нас коэффициенты утилизации водозмещения по полезной нагрузке и декепиту не отличаются стабильностью. Тем не менее, как и в случае амфибийных СВП, для определения водозмещения в первом приближении следует воспользоваться выражением

$$D = \frac{P_{вп} + P_{вк}}{\gamma_{вк}} \quad (11.45)$$

где $\gamma_{вк} = \frac{P_{вп} + P_{вк}}{D}$ — коэффициент утилизации водозмещения.

Для морских пассажирских ССВП значение коэффициента приближенно можно оценить по выражению

$$\gamma_{вк} = 0,217 P^{0,15} = 0,152 \quad (11.46)$$

где P — заданное количество пассажиров.

Формулой (11.46) можно пользоваться для судов с количеством пассажиров от 50 до 300, дизельными установками, скоростью 30—40 уз и дальностью пробега 200—250 м. миль.

В других случаях следует ориентироваться на прототип. Определив значение $\gamma_{вк}$, расчет следует вести по формуле (11.45) в том же порядке, как это было рассмотрено в п. 11.1.2. Для выражения массы топлива через водозмещение следует воспользоваться формулой

$$P_{тв} = 0,054 D \frac{L}{B} \quad (11.47)$$

если на проектируемом судне предполагается дизельная установка. Вместо уравнения (11.6) для решения принимается зависимость

$$D = \frac{1}{\gamma_{вк}} (P_{вп} + 0,054 D \frac{L}{B}) \quad (11.48)$$

Определение $P_{вп}$ для пассажирских ССВП рекомендуется производить из расчета массы одного пассажира, равной 0,09 т.

После определения массы с учетом изложенного в п. 11.2.1, необходимо выполнить следующее:

в зависимости от заданной скорости оценить энергооборуженность (по графику на рис. 11.6 или по прототипу) и по ней определить требуемую суммарную мощность $N = (N/D)D$, выбрать необходимый двигатель;

задать давление воздуха в воздушной подушке, определить относительное давление и длину ВП из соотношения $P_{вк}/P_{ат} = 100 + 240 N/M^2$,

из выражения (11.36), приняв $\mu'_{вк} = 0,1D$, определить площадь воздушной подушки, а затем ее ширину ($B_0 = S_0/L_0$) и убедиться, что отношение L/B_0 не выходит из рекомендуемых пределов 2,5—5;

по графикам на рис. 11.7 и 11.8 определить минимальное значение ширины и водозмещения швект, а по зависимостям (11.40) и (11.41) выбрать их высоту;

выполняется предельная проработка архитектурно-компоновочной схемы с общим расположением всех основных и вспомогательных помещений судна. На основе этой проработки уточняются принятые размеры подушки, ее параметры, размеры швект.

Приведенная схема последовательности выбора основных параметров ВП и элементов судна пригодна при наличии близкого прототипа и опыта проектирования. При других обстоятельствах трудно рассчитывать на удачное решение с первого раза и поэтому целесообразно расчеты по выбору основных характеристик проектируемого ССВП вести одновременно в нескольких вариантах.

Для этого необходимо задать минимум тремя значениями относительных давлений (например, $P_{в1} = 750$, $P_{в2} = 1000$ и $P_{в3} =$

— 1250) и каждое из них рассмотреть для нескольких значений относительной длины воздушной подушки. Следует принять также минимум три значения λ_{00} , охватывающих реально возможные значения отсчетов L_0/B_{00} . Можно принять, например, $\lambda_{00} = 2,5$, $\lambda_{00} = 4$ и $\lambda_{00} = 6$.

В результате получаем девять сочетаний P_0 и λ_{00} , для которых необходимо определить размеры воздушной подушки, водоизмещение и основные размеры skeg. Расчет следует вести в табличной форме по схеме, приведенной в табл. 11.2. Расчет несложный и не занимает много времени, но в результате его проведения удобно отобрать три из девяти вариантов для дальнейшего исследования в целях достижения оптимального решения задачи по разработке проекта.

По данным расчета необходимо построить график изменения всех расчетных величин в зависимости от λ_0 (рис. 11.9, а) и выбрать

Таблица 11.2

Расчетная схема выбора основных параметров воздушной подушки скегового судна в первом приближении

Расчетные формулы	P_1			P_2			P_3		
	λ_{01}	λ_{02}	λ_{03}	λ_{01}	λ_{02}	λ_{03}	λ_{01}	λ_{02}	λ_{03}
$P_0 = P_0 \sqrt{D_0} \text{ Па}$	P_{01}			P_{02}			P_{03}		
$\frac{2D_{00}}{D} = f(D_0, P_0) = A$	A_1	A_2	...	...	...	...	A_3	A_3	
по графику рис. 11.8									
$2D_{00} = AD, \text{ кг}$	$2D_{001}$	...	...	...	...	...	...	$2D_{003}$	
$S_{00} = \frac{(D - 2D_{00})g}{P_0}, \text{ м}^2$	S_{001}	S_{002}	...	...	...	...	S_{003}	S_{003}	
$B_0 = \sqrt{2S_{00}g}, \text{ м}$	B_{01}	B_{02}	...	...	...	...	B_{03}	B_{03}	
$L_0 = \lambda_0 B_0, \text{ м}$	L_{01}	L_{02}	...	...	...	...	L_{03}	L_{03}	
$\frac{2R_{00}}{B_0} = f(D_{00}, P_0) = B$	B_1	B_2	...	...	...	...	B_3	B_3	
по графику рис. 11.8									
$2R_{00} = B D_{00}, \text{ м}$	$2R_{001}$	...	...	...	...	...	$2R_{003}$	$2R_{003}$	
$M_{00} = 0,075 L_0 B_0, \text{ м}$	...	...	...	...	...	...	...	...
или принять $M_{00} = \text{const}$									
$R_{00} = P_0 \gamma, \text{ м}$	R_{001}	...	...	R_{002}	...	...	R_{003}	...	
$N_0 = k_0 \lambda_0^2 S_{00}, \text{ Вт}$	N_{01}	N_{02}	...	...	...	...	N_{03}	N_{03}	
$Q = \frac{N_0 \eta}{P_0}, \text{ м}^3/\text{с}$	Q_1	Q_2	...	...	...	...	Q_3	Q_3	

к основной проработке общего расположения судна, которая позволит установить приемлемые значения B_0 и λ_0 с точки зрения наилучших компоновочных решений. Желательно рассмотреть не менее трех вариантов возможных схем общего расположения, включая, например, число пассажирских кресел в поперечных рядах, расположение машинного отделения по длине судна и т. д.

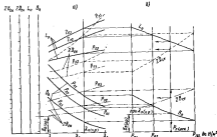


Рис. 11.9. Изменение размеров ВП и skeg в зависимости от P_0 и λ_0 и расчетному давлению основных характеристик СВП: а — D_0 , L_0 , $2D_{00}$, $2R_{00}$, R_{00} ; б — B_0 , L_0 , $2R_{00}$, R_{00} при постоянном λ_0 (принято)

Таким образом, будут приняты три значения отсчетов λ_0 , которые можно обозначать λ_{01} , λ_{02} и λ_{03} . Для этих фиксированных значений λ_0 с упомянутого графика, построенного по результатам вариантного расчета, следует снять значения расчетных величин и построить кривые их изменения в зависимости от давления (рис. 11.9, б). По этим кривым легко найдутся все расчетные характеристики (D_0 , $2B_0$, $2D_{00}$ и др.) для соответствующих значений ширины или длины ВП по принятым вариантам общего расположения.

Определение основных проектных характеристик СВП во втором приближении

11.2.3

Во втором приближении уточняется масса проектируемого судна по ее основным разделам, производится приближенный расчет сопротивления движению для различных скоростей при фиксирован-

ных значениях главных размерений, а также предварительный расчет двигателей, уточняется суммарная мощность и состав энергетической установки, разрабатывается эскиз теоретического чертежа, уточняется общее расположение и определяется центровка судна.

Масса ССВП. Как и для обычных судов, различают несколько видов массы проектируемого ССВП, характеризующих составом его нагрузки. При проектировании обычно рассматриваются следующие массы.

1. Строительная масса — масса полностью готового судна, без какого-либо переменного груза на нем. В состав этой массы входят корпус с оборудованием, судовые устройства и системы, энергетическая установка, электро- и радиоборудование.

2. Масса порожнего судна D_0 — масса порожнего судна в его эксплуатационном состоянии, когда на нем находится экипаж, провизия, снабжение и так называемые складные грузы, представляющие собой остатки воды, масла и топлива в корпусах и трубопроводах различных общесудовых и машинных систем; основные запасы топлива, воды и масла отсутствуют.

3. Масса порожнего судна с полными запасами топлива, транцой и балластом — масса судна, полностью готового начать транспортные операции по перевозке груза и пассажиров.

4. Полная масса судна D , состоящая из его массы «порожнем» D_0 , массы полных запасов топлива, воды и масла $P_{\text{топ}}$ и массы перевозимого груза $P_{\text{гр}}$. Последние две массы образуют так называемый дедефет судна.

Наиболее сложной задачей расчета полной массы проектируемого судна является определение строительного воднименения по разным нагрузкам:

$P_{\text{с-д}}$ — стальной корпус, включающий $P_{\text{с-к}}$ — металлический корпус, $P_{\text{ф}}$ — фундаменты и подкрепления, дельные вещи, $P_{\text{окр}}$ — окраску, $P_{\text{изол}}$ — изоляцию и $P_{\text{с-кр}}$ — покрытия; $P_{\text{об}}$ — оборудование пассажиров жилых и служебных помещений; $P_{\text{с-у}}$ — судовые устройства, в том числе и устройство по ограничению воздушной подушки; $P_{\text{с-с}}$ — судовые системы; $P_{\text{м}}$ — машинная установка; $P_{\text{э}}$ — электрооборудование; $P_{\text{с-св}}$ — внешняя связь, радиолокационное штурманское оборудование.

Масса «голого корпуса». Из приведенных статей нагрузки наиболее значительными являются $P_{\text{с-д}}$ и $P_{\text{гр}}$. Поэтому в первую очередь именно эти нагрузки следует определить с наибольшей достоверностью, что на ранней стадии проектирования, к сожалению, возможно лишь при наличии близкого прототипа.

При отсутствии прототипа для определения массы «голого корпуса» можно воспользоваться формулой (11.12), но с введением в нее поправочного множителя

$$P_{\text{с-д}} = k_{\text{из}} \left(0,175 + \frac{240}{\rho_{\text{в}}} \right) D. \quad (11.14)$$

Поправочный коэффициент следует брать по зависимости

$$k_{\text{из}} = 0,09 \sqrt[3]{\rho_{\text{в}}} \quad (11.50)$$

где $\rho_{\text{в}}$ — давление в воздушной подушке, Па.

В зарубежной практике проектирования ССВП применяется формула

$$P_{\text{с-д}} = \left[\frac{k_1}{(\rho_{\text{в}}/L_{\text{д}})^{0,75} D^{0,75}} + \frac{k_2 D^{1,5}}{(\rho_{\text{в}}/L_{\text{д}})^{0,75}} \right] D, \quad (11.51)$$

где D — полная масса ССВП, т; $\rho_{\text{в}}$ — давление в воздушной подушке, кг/м².

Для крупнотоннажных ССВП в формуле (11.51) принимают следующие значения коэффициентов: $k_1 = 9,75$, $k_2 = 0,0344$.

Для небольших пассажирских ССВП с массой до 100 т значение коэффициента k_2 является переменной величиной и для его ориентировочной оценки можно пользоваться зависимостью

$$k_2 \approx 8,5 \frac{D^{0,9}}{(\rho_{\text{в}}/L_{\text{д}})^{0,75}} - B, \quad (11.52)$$

где $B = 7,15$ — для речных ССВП; $B = 6,1$ — для морских ССВП прибрежного плавания. Коэффициент $k_1 = 0,0344$.

Масса энергетической установки. Эта составляющая для ССВП с дизельными установками мощностью до 2,0 тыс. кВт определяется по формуле (11.14) при значении коэффициента $g_{\text{д}}$ = 7,9 + +10,6 кг/кВт. Нижний предел $g_{\text{д}}$ целесообразно принимать для речных ССВП, а верхний — для морских при наличии отдельного двигателя для привода вентилятора.

Для крупнотоннажных ССВП с газотурбинными установками ориентировочно можно принимать $g_{\text{д}}$ = 2,3 кг/кВт.

Массы остальных составляющих можно принимать по зависимости для амфибийных СВП или по зависимостям для СПК.

Относительные величины составных масс для некоторых типов отечественных ССВП приведены в табл. 11.3.

Центровка ССВП. После расчета составных масс для полноты массы проектируемого ССВП, если это требуется, следует откорректировать размеры подушки и skegга, а затем определить положение ЦТ по длине (от транца) и высоте (от основной), в дальнейшем необходимо проверить положение ЦТ и по ширине (от ДП), поскольку несимметричное расположение отдельных составляющих масс может ухудшить поперечную остойчивость судна.

Модельные и натуральные испытания показывают, что положение ЦТ по длине судна заметно влияет на величину сопротивления, а также на мореходность, и это следует учитывать при разработке общего расположения судна.

Таблица 11.3
Относительная величина основных нагрузок, составляющих полную массу ССВП отечественной постройки

	Обшивка		Оружие		Оборудование		Прочие на 100 т	
	%D ₀	%D	%D ₀	%D	%D ₀	%D	%D ₀	%D
Корпус в том числе:	56,8	35,0	58,0	30,00	54,5	47,5	56,0	30,9
всплывающий корпус	47,9	29,5	47,5	32,5	43,5	30,0	42,6	27,4
оборудование помещений	4,65	2,87	5,31	3,87	3,63	2,82	6,66	4,29
стационарные устройства	2,15	1,32	2,27	1,00	3,51	2,05	2,65	2,41
и системы	2,19	1,35	2,83	1,93	2,28	1,75	4,25	2,80
защитные устройства	25,6	14,6	24,00	16,8	20,4	15,0	22,7	14,55
Электробоорудование	5,5	3,28	4,60	3,14	7,26	5,66	8,25	5,03
Всплывающее устройство	0,34	0,15	0,28	0,19	0,20	0,15	1,00	1,1
Жидкие грузы	3,19	3,2	7,06	4,82	0,20	0,29	2,41	1,99
Снабжение, имущество, запасы	6,28	3,81	3,25	2,22	5,2	4,05	3,38	2,32
Масса авиационной техники	2,67	1,68	2,82	1,68	1,83	1,5	5,85	3,78
Всплывающее устройство судна D ₀	100	62	100	66,3	100	77,7	100	65,0
Дальше	61,5	38,0	45,7	31,7	38,6	22,3	51,7	34,9
Полная водоизмещающая масса, т	13,7		31,5		40		53	

ССВП при расчетном режиме движения на воздушной подушке должны иметь некоторый дифферент на корму, при котором обеспечивается наиболее благоприятное сочетание факторов, обуславливающих хорошую ходкость и мореходность.

Оптимальный ходовой дифферент для проектируемого судна может быть определен лишь в результате испытанной крупномасштабных самоходных или буксирных моделей.

Задачей росетной ходовой посадкой судна, подобной посадке модели, при наличии масштаба Божжана по skeggs и координат точки приложения равнодействующей сил давления ВП внутрию найти необходимое положение ЦТ. Тщательный расчет центровки при заданном дифференте судна обычно производится на стадии разработки технического проекта.

В предэксплуатационной и эксплуатационной стадиях разработки проекта в отношении абсолютной центровки и угла дифферента можно ориентироваться на статистические данные по эксплуатируемым ССВП.

Для скеговых судов отечественной постройки значение относительной центровки $\bar{x}_c = x_c/L_{cp}$ (от транца) лежит в пределах 0,433—0,493, а углы ходового дифферента на корму соответственно в пределах 0,5—1,0° при абсолютной разности осадок носа и кормы $d \approx 0,2 \div 0,4$ м.

Для ССВП массой 40—60 т при давлении в воздушной подушке 3500—400 Па и числе Фруда $Fr_1 = 1,0$ в первом приближении можно принимать $x_c = 0,48 \div 0,49$ с ходовым углом дифферента на корму $\varphi = 1,0 \div 1,1^\circ$.

Сопротивление движению ССВП. Приближенный расчет полного сопротивления движению снегового СВП можно произвести по уравнению

$$R = R_{тр} + R_{ост} + R_a + R_{ост} \quad (11.53)$$

где $R_{тр}$, $R_{ост}$, R_a — соответственно сопротивление трения, импульсное сопротивление и аэродинамическое (воздушное), кгс; $R_{ост}$ — остаточное сопротивление, кгс.

Сопротивление трения вычисляется обычным путем, импульсное и воздушное сопротивления — по формулам (11.24) и (11.25), а остаточное, состоящее в основном из волнового сопротивления, определяется по эмпирической формуле, предложенной В. В. Шаталовым [84],

$$R_{ост} = k_{ост} \frac{\rho V^3}{2} L_a B_a \left(\frac{S_a}{V L_a} \right)^{1,5} \left(\frac{L_a}{B_a} \right)^{-0,3} \left(1 + \frac{\rho D_{0a}}{\rho_a L_a B_a} \right)^2 \quad (11.54)$$

Обозначив в формуле (11.54) $L_a B_a$ через S_a , L_a/B_a — через λ , получим

$$R_{ост} = k_{ост} \frac{\rho V^3}{2} S_a \left(\frac{S_a}{V L_a} \right)^{1,5} \lambda^{-0,3} \left(1 + \frac{\rho D_{0a}}{\rho_a L_a B_a} \right)^2 \quad (11.55)$$

где V — скорость расчетная, м/с; ρ — массовая плотность, кг·с/м³; S_0 — площадь воздушной подушки, м²; $D_{0\alpha}$ — водоизмещение skegga, кг; $\zeta_{ост} = \frac{2W_{ост}}{\rho V^3 S}$ — коэффициент остаточного сопротивления; S — смоченная поверхность skegga, м²; γ — удельный вес воды, кг/м³·с³.

Коэффициент остаточного сопротивления принимается к расчету на основании результатов модельных и натурных испытаний.

Достаточно устойчивая кривая среднестатистической зависимости $\zeta = f Fr_{\zeta}$ аппроксимируется формулой, по которой и можно определять значение $\zeta_{ост}$

$$\zeta_{ост} \cdot 10^5 = 0,6 Fr_{\zeta}^{-2} + 0,45. \quad (11.56)$$

Формула (11.56) дает практически удовлетворительный результат применительно к ОСВП с характеристиками, лежащими в пределах $L_0/B_0 = 2,9 \div 6,4$; $\rho_0/I_{0\alpha} = 90 \div 350 \text{ Н/м}^2$ и $L_0/B_0 \alpha > 10$.

Расчет сопротивления следует вести в табличной форме одновременно для нескольких скоростей, что позволяет построить кривую $R = f(V)$, необходимую для определения реально достижимой скорости при выбранной мощности и зависимости от таковой характеристик двигателя.

Мощность энергетической установки. Как и для амфибийных СВП, мощность энергетической установки ОСВП выбирается на условия обеспечения движения судна с заданной скоростью $N_{дв}$ создания воздушной подушки N_0 и работы вспомогательных потребителей $N_{всп}$. Кроме того, должен быть предусмотрен некоторый запас мощности, гарантирующий получение спецификационной скорости и необходимой также для обеспечения регламентированного моторесурса дизелей, быстро изнашивающихся в условиях частых перегрузок.

Основная потребная мощность $N_{дв} + N_{всп}$, рассчитанная для режима движения из спокойной воды, должна быть увеличена, по крайней мере, на 8—10% для СВВП внутреннего плавания и на 15—20% для судов морского плавания.

Мощность $N_{дв}$, необходимая для движения судна, во втором приближении предельной стадии проектирования определяется через величину полного сопротивления по общепринятому выражению $N_{дв} = \frac{RV}{10^3}$ кВт. Полное сопротивление на этой воде рассчитывается по уравнению (11.53). Значение пропульсивного КПД выбирается в зависимости от типа выбранного двигателя.

Для СВВП морского плавания на скоростях 20—40 уз целесообразно использовать гребные винты, отличающиеся высоким КПД ($\eta_p \approx 0,68$). При скоростях более 40 уз следует применять суперкавитирующие гребные винты или водометы. В приближен-

ных расчетах мощности, когда двигатель еще не рассчитан, КПД суперкавитирующего винта для скоростей от 40 до 80 уз можно принимать по зависимости

$$\eta_{ска} = 55(12,9 - V^{0,2}) \cdot 10^{-2}, \quad (11.57)$$

где V — расчетная скорость, м/с.

Для водометных двигателей приближенное значение КПД в зависимости от скорости можно определять для диапазонов скоростей от 30 до 60 уз по выражению

$$\eta_{вм} = 0,165(V^{0,4} + 0,55), \quad (11.58)$$

где V — скорость, м/с.

Коэффициент полезного действия водометных двигателей на невысоких скоростях (27—32 уз) заметно ниже по сравнению с гребными винтами, но они удобны в условиях ограниченных осадок и находят широкое применение на речных СВВП.

Мощность, потребляемая вентилятором, определяется по ранее приведенным формулам (11.43) и (11.44).

Форма корпуса СВВП. Во втором приближении предельной проработки проекта необходимо составить эскиз эвнергетического чертежа, сделать по нему предварительные расчеты плавучести и начальной остойчивости, определить положение центра тяжести и значение поперечного метацентрического радиуса.

Специфика формы корпуса skegговых СВП определяется его П-образным очертанием поперечного сечения, обусловленного наличием узких водоизмещающих корпусов — skegгов, объединенных основным корпусом поперечного типа.

Днище основного корпуса плоское, в носовой части по продольному сечению имеет «слово» и подъем к форштевню, что необходимо для обеспечения мореходности и установки носового гибкого ограждения воздушной подушки. В плане корпус имеет прямоугольную форму, несколько закругленную в носовой части. Корпус обрезают (траншеями).

Водоизмещающие skegги, как правило, имеют несимметричную остроскопую форму поперечного сечения с прямыми вертикальными наружными бортами и плоскоклеватым днищем с углом внешней килеватости 30° и более. Но встречается и другая, плавная форма очертания skegгов по наружной стороне. Внутренние стенки бортов skegгов делаются или вертикальными, или несколько наклонными к ДП с плавным переходом к днищу основного корпуса. На рис. 11.10 показаны типовые формы поперечного сечения skegгов.

Выбор формы skegгов должен соответствовать требованиям обеспечения необходимой остойчивости, ходкости, мореходности и технологичности; важным является также требование в части обеспечения общей поперечной прочности.

Особенное внимание следует уделять проектированию обводов носовой части скегов. Основным является требование обеспечения мореходности. Объем и форма носовой части скегов при встрече судна с волной должны создавать избыточные гидроста-

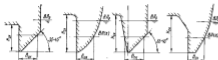


Рис. 11.10. Форма заборного обвода скегов.

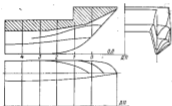


Рис. 11.11. Схема обвода носовой оконечности корпуса СВП типа «Росвет».

тические и гидродинамические силы настолько, чтобы исключить «выпрыгивание» судна в воду и возможное при этом его опрокидывание.

В кормовой части скегов с внутренней стороны иногда делают местное плавное уширение, обусловленное необходимостью размещения водометных движателей. Для размещения машинной установки уширение скегов делается и в надводной части с наружной стороны.

На рис. 11.11 приведена схема обвода корпуса СВП типа «Росвет».

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адресно СПК 125
Архитектура гласисов 15
— СПК 215
— СПК 163
- База крыльевые 141
Базальского формула 178
Басова формула 167
Белла-Вадуева СПК 116
Белла-Родеса СПК 116
Блокмана формула 163
Боллакова формула 237
- Ведомый экспериментальный катер 158
Вибрация гибкого ограждения 215, 213
Вилетто 35
Время разгона СПК 131, 134
Высота борта 53
— воды 3% обеспеченности относительная 157
— гибкого ограждения 247
— метадинамические условия 227
— корпуса 179
— крыльевые стоек 191
— надстройки 173
— поддона СВП над гладкой поверхностью 228
Высота палубы СВП над торцами шпангоута 227
— — — относительная 226
— редана 47, 71
- Гибкое ограждение воздушной подушки 265, 210
Гласисы бороздчатые 11, 33, 56
— «глубокие» V 13, 66
— «зашипованные» 11
— «вертикальные» Хеймана 11
— пассажирские 15
— реданные 11, 42
— спирально-голые 17
— трехлопастные 11
Гласисована 10, 14
Глубина погружения подводного крыла 94, 190
— — — относительная 190
«Горб» сопротивляемый 15, 131, 132
Гудена формула 134
Гука крыльевые системы 100
- Давление в воздушной подушке средняя 227, 246, 257
— на подводном крыле при обтекании 60
Дельта 177
Делера формула 256
Дельфинирование 27
Деметриды формула 174
Длина носовая за подводными крыльями 181
— носовая за подводным крылом 192
— максимальная относительная СПК 167
— пути разгона СПК 132
— средняя СПК 168
- Задачи технические 58
Запас водометных 178
- Кантование подводного крыла 47
Катера 18
— прогулочные 16
— служебно-разведочные 16
— спортивно-гидроски 17
— туристские 16
Качество гидроаэродинамическое 27, 29, 43, 54, 134
— — — проточное 55, 156
Ква СПК 260, 261
Качество гласисов 30, 66, 57
— подводных крыльев 93
Кларко 129
Кокерета СПК 203, 210
Корнукова формула 175
Коэффициент аэродинамического сопротивления 225
— аэродинамический поверхности 89
— дельта 81, 226, 230
— дельта-коэффициент нагрузки 28, 29, 30, 34
— запаса мощности 157
— момента гидродинамических сил 28, 34
— минимального сопротивления 89
— остаточного сопротивления 270
— подводной силы 82, 132, 189
— расхода воздуха в воздушной подушке 226, 226
— — — при зашипованном подводного крыла 105
— — — остаточного момента СПК 82
— — — силы сопротивления 82, 85
— — — трения 239

- сужением течения потока источника 228
- утолщения водонапорной 262
- утолщения по длине 133
- по массе насосов 154
- Коэффициент утолщения по массе насосов судна 154
- Штормы 49
- Кривая Энгельса-183
- Кривая профиля поддона крыла 80, 87
- Кривоугольный котел 115
- Крыло поддона негидравлическое 195
 - гидравлическое 140, 170, 185, 190
 - дутьевое 94, 98, 140
 - малогабаритное 92, 132, 161, 187, 191
 - полугабаритное 94
 - супергабаритное 90
 - трансзвуковое 94, 140
 - упрямое 99
 - эластичное 98
 - V-образное 94, 134, 187
 - Шерты 116
- Крылья (крыло) Пива 162
 - Купера 162
 - СПК «Камчатка» 97
 - РТ-50 94
- Дликатная формула 89
- Длина формулы 227
- Длиферта СПК 114
- Длина СПК 202
- Длина сканна 61
 - выходы 63
 - сканна 62, 68
 - средней кривизны 79, 87
 - формулы 61
- Дюверноса формула 34
- Масса гласера 43
 - СПК 248, 262, 296
 - СПК 155, 168, 174
 - сканна корпуса 266
- Момент сопротивления СПК 235
 - СПК 116
 - гидравлической силы 33
 - реактивный 82
- Мореходность 36
 - гласера 35, 69
 - СПК 82, 143
- Молодцы 17
- Мощность энергетической установки гласера 56
 - — СПК 228, 251, 291, 292, 299
 - — СПК 194, 197
- Нагрузка удельная 54, 181

- Объемные гласерирующие элементы источника вихревой водности 22
- крыла обтекает поверхность воды 85
 - — вихревыми параллельно-струйным потоком 80
- Отражение подводящей струйки гласера 205, 210
- Осадки на трапе 34
- Особенности гласера 37
 - СПК 231, 268
 - СПК 135, 187, 191
- Отношение длиннок размерной гласера 45
 - — СПК 247
 - — СПК 161, 172

Пива 9

- Пива поддона крыла 159
 - сканна СПК 169
- Проект судна 89
 - гидравлический 40, 150
 - гидравлический 120
 - актовый 41, 150
- Площа крыльев системы 192

Работы на воду 35

- Работа крыла 181
- Работы сканна 168
- Расположение концевых отделов СПК 160
- Расход воздуха в воздушной струе 227, 253, 264
 - — — относительный 226, 229
- Роски переходной 18
- Роски 212, 216
- Роскометрование 36
- Росков формула 261
- Росков крыла 193
- Росковость 35

Сканна пасажирский СПК 168

- СПК аэродинамический тип с камерой сканна ферросплавной воздушной струею 264, 278, 280
 - — с сканной камерой ферросплавной воздушной струею 263, 268, 269
 - — полуаэродинамический 268
 - сканна типа 205, 207, 217
- Сканна (канна) воздушного сопротивления СПК 204, 262
 - золотого сопротивления СПК 235, 236, 238
 - гидравлическое поддона 9, 24
 - гидравлическое 9
 - динамического сопротивления 26

- Сканна (канна) воздушного сопротивления СПК 235, 238
 - крыла поддона 82, 91
 - золотого сопротивления 238, 250, 259
 - золотого сопротивления 24, 26, 34, 130, 134, 234, 252, 268
 - сопротивления поддона крыла 82
 - — трапе 26, 34, 239
- Система крыльевая 109
 - сканна 109
 - сканна 110
 - сканна 110, 146
- Скорость бездвигательного обтекания максимума 90
 - гласера 85
 - источника воздуха из воздушной струею сканна 226
 - СПК 244, 256
 - трапе СПК 132
- Снос потока 83
- Скютри 17
- Скоростное воздушное 234, 262
 - золотое 235, 256, 258
 - динамическое 27
 - индуктивное 235, 258
 - индуктивное 84
 - остинное 228, 253, 270
 - сканна 15, 26, 34, 62, 130, 134, 234, 252, 259
- Сопотокание трапе 26, 34, 259
- Тепловая крыльевая сканна 116
- Температура гласера СПК 290
- Температурность СПК 246
- Угол (угол) сканна 25, 34, 67, 78, 82
 - аэродинамический 80, 87
 - канна 39, 57
 - канна 66
 - канна подводящей сканна 80, 87
 - канна дифферента 15, 131
- Удлинение канна относительное 28, 34
 - поддона крыла 83, 161
- Установка энергетическая 154, 158

Формы котел 114

- Форма сканна гласера 10, 57, 73
 - СПК 216, 238
 - — СПК 194

- поддона крыла 78, 85, 89, 98
- сканна 67
- сканна поддона крыла 183
- Фурла число по удлиненности 10, 56
 - — по длине 226
 - — по сканна 183
 - — по сканна 83

Характеристики геометрические крыла 78

- гидравлическое гласера 37
- сканна СПК 244, 256, 258, 259
- СПК 117, 118, 122, 123, 128, 129
- сканна сканна крыльевой сканна 112, 113, 114
- гидравлическое поддона крыла 80
- Характеристики сканна 11
- Характеристики сканна 79
- Характеристики сканна 80

Характеристики сканна 158

- Центр давления СПК 234
 - сканна гласера 44, 65
 - СПК 161
 - СПК 163
- Центровка относительная 49
- Центровка поддона струею 261

Число канна 87

- Фурла по удлиненности 10, 56
 - — по длине 226
 - — по сканна поддона крыла 183
 - — по сканна 83
- Число формулы 183

Штормов формула 209

- Шерты крыла 196
 - СПК 117
- Шерты гласера 47
 - сканна сканна 33
 - сканна СПК 169
- Штормовы борта 69
 - сканна сканна 59
 - сканна 65, 155
 - — в сканна сканна 49
- Штормов дифферента 26

Энергетическая установка 154, 158

- Энергетическая установка 154, 244, 256
- Энергетическая установка 163

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамовский С. А. Транспортные машины на воздушной подушке. М., Наука, 1961.
2. Азурман Г. А., Казаря В. С. Нормирование остойчивости морских судов на подвижных кряжях. — Судостроение, 1973, № 5, с. 45—49.
3. Акулиничев В. И., Митинский М. Ф., Калашников Н. И., Власов В. К. Развитие газоподъемных докапитальных комплексов судов на воздушной подушке и на подводных кряжах. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1969, № 4, с. 101—125.
4. Антонов Л. Катер — суд 1960. — Катер и яхта, 1971, № 1 (29), с. 3—7.
5. Антонов Д. Кабарданы, шхероты, галеры. — Катер и яхта, 1974, № 5, с. 43—47.
6. Бандер Х. Различные туристские и спортивно катера. Л., Судостроение, 1976.
7. Бак Ф. Проектирование в расете вентиляторов. М., Углекондлат, 1958.
8. Басин А. М., Афанасьев В. М. Газоподъемная судна. М., Рендат, 1961.
9. Басин А. М., Тавочкин Е. Г. Системы стабилизации движения СПК. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1969, № 11, с. 39—68.
10. Басин А. М., Бураков В. М. Морское судно на аэродинамически управляемых кряжах. Чабурук. — Судостроение, 1971, № 10.
11. Басин А. М. Приближенные оценки поперечной устойчивости морского СПК. — В кн.: Труды ЦНИИМФ. Л., Транспорт, изд. 196, 1973, с. 25—32.
12. Басин А. М., Пузырев М. Н., Тавочкин Е. Г. Промысловые газоподъемные подводные кряжи для повышения мореходности СПК. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1969, № 4, с. 53—63.
13. Басин А. М. Катер с аэродинамикой. — Катер и яхта, 1976, № 6 (46), с. 12—15.
14. Бегун Ю. Ю., Корсаков В. М. Судно на воздушной подушке. Л., Судостроение, 1962.
15. Бегун Ю. Ю., Дачинко В. К., Камышев В. А. и др. Основы теории судна на воздушной подушке. Л., Судостроение, 1970.
16. Беликов В. И., Назаров Л. А., Мисин М. Б. Транспортные суда на подводных кряжах. М., Транспорт, 1964.
17. Богданов А. И., Вайкарский Ю. И. Результаты экспериментального исследо-

вания кавальной остойчивости судового СВП при движении на такой воде. — В кн.: Труды ЦНИИМФ. Л., Транспорт, 1975, вып. 106.

18. Бунаков М. М. Оценка основных параметров корпуса на трайлономную устойчивость газоподъемных катеров. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1969, вып. 124.
19. Бунаков М. М. Катер на яхтах. — Катер и яхта, 1976, № 2 (24).
20. Бунаков М. М. Исследование сопротивляемости газоподъемных судов. — Катер и яхта, 1974, № 2 (18), с. 40—42.
21. Власов А. М. Катер-шхеротный катер. — Катер и яхта, 1968, № 15, с. 35—37.
22. Власов Д. И., Зорин В. К., Назаров В. В. Обоснование главных размерений судов на воздушной подушке. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1972, вып. 179, с. 3—15.
23. Вейсберг В. В. Глубоководный — ката и шхероты. — Катер и яхта, 1973, № 4 (44), с. 40—55, 5 (45), с. 48—50.
24. Вейсберг В. В. Динамика дельта-всплывания катеров на кряжах. — Катер и яхта, 1976, № 5 (27), с. 28—33.
25. Вейкарский Ю. И. и др. Справочник по теории корабля. Л., Судостроение, 1962.
26. Вейкарский Ю. И. Справочник по теории движения судна. — Л., Судостроение, 1964.
27. Волгодон Д. В., Овсянник Б. А. Морской катер на подводных кряжах. — Л., Судостроение, 1970, № 3.
28. Гуркин В. А. Газовый шхерот. — Катер и яхта, 1974, № 5 (27), с. 24—26.
29. Демченко В. А. Определены оптимальные подмосковные СПК на кавальной судна проектирования. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1973, вып. 231, с. 166—187.
30. Демченко В. А. Определены наклон металлопластикового корпуса судна на подводных кряжах. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., 1971, вып. 159, с. 123—124.
31. Горюх Н. Т., Соколов В. Г. Газоподъемная быстродвижная судна. Л., Судостроение, 1966, 1972.
32. Ермаков Н. М. К вопросу повышения транспортной эффективности газоподъемных СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1973, вып. 231, с. 5—11.
33. Зайцев Н. А., Макашев А. И. Обоснование судна на подводных кряжах. Л., Судостроение, 1967.
34. Зайцев Г. П., Курочкин В. В. Влияние уменьшения веса кряжовых устройств на ходовые качества СПК. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1967, № 9, с. 54—63.
35. Зайцев Г. П. Корабль на подводных кряжах с водонепроницаемой установкой. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1969, № 13 (1), с. 107—123.
36. Зайцев Г. П. О выборе типа кряжового устройства для обеспечения корабля на подводных кряжах. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1972, № 11, с. 3—15.
37. Зайцев Г. П. Вопросы развития кораблей на подводных кряжах. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1972, № 6, с. 31—41.
38. Зайцев Г. П., Соколов Ю. А. Суд на воздушной подушке. Л., Судостроение, 1971.
39. Зайцев Г. П., Семеновский С. П. Суд на подводных кряжах и воздушной подушке. Л., Судостроение, 1976.
40. Назаров В. И. О рациональном выборе характеристик вентиляторов СВП. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1970, вып. 153.
41. Исаев Е. К. Обоснование характеристик пускобросов судна на воздушной подушке своего типа водонапорными около 60 т. — В кн.: Труды ЦНИИМФ. Л., Транспорт, 1973, вып. 58, с. 65—74.
42. Колосов В. А., Косарев А. И., Литвинов В. А. и др. Особенности проектирования судов с кавальной подводными движками. Л., Судостроение, 1974.

43. Корытов Н. В. Суда и аппараты на воздушной подушке. М., Воениздат, 1964.
44. Крыжовник Л. М. Ходовые газоструйные суда. — Судостроение, 1962, № 8, с. 36—42.
45. Крыжовник Л. М. О гидродинамике многокорпусных газоструйных судов. — Катера и яхты, 1968, № 14, с. 55—61.
46. Кароткин В. М. Оценка эффективности регулирования кильевой силы подводного крыла. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1972, вып. 179, с. 128—132.
47. Курнов А. Г., Неллерский А. Д., Никитин Ю. Н. Газоструйные установки быстрозаходных судов. Л., Судостроение, 1969.
48. Лева Радко. Водух — источник скорости. — Катера и яхты, 1972, № 3 (87), с. 12—19.
49. Лева В. З. Подводные суда прибрежного плавания. Л., Судостроение, 1975.
50. Ломанов А. А. Подводные и полуподводные аппараты. М., Машино, 1962.
51. Машков М. А., Руднев Л. А., Соловьев Ю. М., Фанер З. А. Двухкорпусные быстрозаходные суда. Л., Судостроение, 1973.
52. Машков М. А. Г. Проблемные регионы. — Катера и яхты, 1968, № 11, с. 40—43.
53. Мартынов А. Н. Газоструй. М., Речфлот, 1940.
54. Мельников Э. В. Перспективы развития судов с динамическим принципом поддержания. — Судостроение, 1974, № 11, с. 6—9.
55. Мельников Э. В., Цой Л. Г. Перспективы использования амфибийных судов на воздушной подушке за рубежом. — Судостроение, 1976, № 4, с. 16—19.
56. Морозов В. Н. Некоторые результаты исследований по созданию СПК со скоростями хода свыше 100 узлов. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1971, № 1, с. 30—48.
57. Морозов В. А. Расчет проточных и двухкорпусных газовых судов. — Катера и яхты, 1974, № 6 (82), с. 26—42.
58. Морозов В. А. Выбор обвода остроскулового газоструйного катера. — Катера и яхты, 1977, № 2, с. 22—23, 31.
59. Муртов В. С., Яременко О. В. Морские суда на подводных крыльях. — М., Морской транспорт, 1962.
60. Овчинко Н. В. Современное состояние в технике развития судов на воздушной подушке за рубежом. — Судостроение, 1974, № 2, с. 13—22.
61. Павленко Г. С. О проектировании судна на подводных крыльях. — Судостроение, 1968, № 11, с. 5—9.
62. Павленко А. С., Соколов С. В. «Воздушная смазка» дельты катера. — Катера и яхты, 1973, № 4 (32), с. 10—17.
63. Павленко А. С., Соколов С. В. Исследования гидродинамических характеристик газоструйных катамаранов. — Катера и яхты, 1975, № 1 (80), с. 40—44.
64. Папка А. Проектирование катеров. Л., Судостроение, 1963.
65. Патер де Каби. Быстрозаходный катер. Л., Судостроение, 1962.
66. Пономев Г. И. Комплексная методика определения гидродинамических характеристик подводного крыла СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1967, вып. 103, с. 4—23.
67. Прушин М. И. О продольной стабилизации кораблей в штиле. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1969, № 3, с. 3—25.
68. Романов А. Л., Щербина Л. С. Моторы лодки. Л., Судостроение, 1972.
69. Садовский В. В. Оценка несущей водопланющей ластоворского судна на подводных крыльях в поперечной плоскости проектирования. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1974, вып. 211, с. 56—60.
70. Садовский В. В. Некоторые вопросы проектирования общего расположения ластоворского СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1975, вып. 231, с. 12—24.
71. Садовский Ю. М. Классификация и основные данные амфибийных установок СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1976, вып. 251.

72. Садовский Ю. А. Исследования проблемы подвеса корпуса судна на воздушной подушке. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1967, № 12, с. 45—58.
73. Садовский Ю. А. Проектирование и строительство судна на подводных крыльях. — В кн.: Судостроение за рубежом, 1968, № 20, с. 25—31.
74. Бешелев Г. Ю. Гидродинамическая теория аппаратов на воздушной подушке. М., Машино, 1962.
75. Ткачев В. И., Заваров А. М. Легкие газоструйные установки быстрозаходных судов. М., Транспорт, 1973.
76. Тулубинский В. М., Есипов С. В. Методика расчета устойчивости склочных судов на воздушной подушке. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1974, вып. 211, с. 120—124.
77. Фес В. О гидродинамике катера с трехконтурными обводами. — Катера и яхты, 1972, № 1 (83), с. 32—34.
78. Каваларов В. И. Аэродинамический аппарат на воздушной подушке. М., Машиностроение, 1972.
79. Хейфец Я. Л. Катера на дельтах крыла. — Катера и яхты, 1974, № 4 (86), с. 19—24.
80. Шаров В. А. Исследования устойчивости жонки судна на подводных крыльях СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1967, вып. 100, с. 26—31.
81. Чистова Е. И. Зарубежные суда на воздушной подушке. — В кн.: Труды ЦИНИСВТ. М., Транспорт, 1975, вып. 117.
82. Чухачев А. Г. Катер с обводами нового типа, ознакомиться — стрелкам. — Катера и яхты, 1974, № 3 (85), с. 23—25.
83. Чухачев А. Г. Строительство морских судов. — Катера и яхты, 1974, № 4 (86), с. 45—49.
84. Шапкин В. В. Расчет оптимального расположения склочного СПК. — В кн.: Материалы по обмену опытом НТО СП. Л., Судостроение, 1975, вып. 163.
85. Шапкин В. В. Гидродинамика газоструйных. — Катера и яхты, 1967, № 12, с. 28—31.
86. Шенфельд Л. А., Келлер В. И. Некоторые вопросы гидродинамики подводных крыльев. — В кн.: Труды ЦАГИ, 1968, вып. 1103.
87. Шенфельд Л. А. Методы теории подобия и размерностей и задачи гидродинамики судна. Л., Судостроение, 1970.