

Г.Ф. ДЕМЕШКО

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

Амфибийные суда на воздушной подушке

В 2-х книгах

2

*Рекомендована Комитетом по высшей школе
Министерства России в качестве учебника для
студентов судостроительных специальностей
вузов*



**Санкт-Петербург
"СУДОСТРОЕНИЕ"
1992**

Рецензенты: проф. В. А. Зуев (кафедра судостроения Новосибирского политехнического института), Ю. П. Семёнов (гл. конструктор ЦМКВ "Авант", СПб).

Demesko G. F.

Ships Design. Air Cushion Vehicles: - Textbook. In 2 books. B. 2. - StPb: Shipbuilding, 1992. - 329 p., ill.

An account of the methodological principles of the ACV (air cushion vehicles) design is given in this textbook. ACV is considered to be a complex technical system. The algorithms of calculation are given here for the design of the whole ship as well as for her functional sub-systems (lift, propulsion and skirt systems, structural design). The methods used in the ships weight calculations, recommendations on the provision of the ships stability, exploitation safety, ships general arrangement are indicated here. The monography contains plenty of factual data concerning the already built ships and is intended for students of the shipbuilding higher educational establishments and for specialists.

Домешко Г. Ф.

Проектирование судов. Амфибийные СВП: Учебник. В 2-х кн. Кн. 2. - СПб: Судостроение, 1992. - 329 с., ил.

В учебнике изложены методологические основы проектирования амфибийных СВП. Судно рассматривается как сложная техническая система. Приведены расчетные алгоритмы для проектирования судна в целом и для компоновки его функциональных подсистем (подъемного и прогулочного комплексов, жесткого корпуса, ГО). Даны способы расчета натурных судов рекомендовано обосновать устойчивость, безопасность эксплуатации, компоновку судна. Монотипизация содержит большое количество фактического материала по построенным судам. Она предназначена для студентов высших учебных заведений и специалистов.

А 2705140300-01
048(01)-92 без объявл.

ББК 39.12

Глава 6. НАЗНАЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЖЕНИЙ ОБЛАСТИ ВП

§ 6.1. Гибкие ограждения ВП.
Назначение, условия эксплуатации,
требования к ним

История развития ГО на СВП начинается с 1980 г. Для улучшения проходимости, например, английского СВП **SKRNOT** было оснащено гибкой водонепроницаемой конструкцией типа фартука ("юбка" - по-английски „skirt“), которая навешивалась по всему периметру его ВП. В связи с этим резко уменьшилось количество выходящего из-под СВП воздуха, поскольку теперь он выходит только через зазор под кромкой гибкого полотна. Это позволило поднять жесткий корпус над подстилающей поверхностью и эффективно преодолевать препятствия или борозды волн, пропуская их без лишних ударов при движении аппарата над неровной поверхностью или взволнованным морем. Такая конструкция в дальнейшем была названа гибким ограждением (ГО) воздушной подушки.

За прошедшие десятилетия эта конструкция претерпела множество модификаций, усовершенствований, привлекая к себе внимание изобретателей во многих странах мира. Однако и по сегодняшний день ГО, являясь одним из важнейших компонентов СВП, остается наиболее изученной и наиболее удачной его конструкцией.

Гибкие ограждения, выполненные из высокопрочных воздухомонерицированных эластичных материалов, есть податливая конструкция, предназначенная для защиты жесткого корпуса над твердой или водной поверхностью, которая обладает устойчивостью формы, расположена под корпусом СВП и отделяет область воздуха повышенного давления от окружающей атмосферы или расширяет эту область на секции (зонах). ГО работает как пневмоконструкция с большим числом швов замкнутых и пульсирующих нагрузок, удерживая под давлением судна область внешнего давления, и действует как упругая система, способная сглаживать динамические воздействия неровностей водной поверхности, обеспечивать устойчивость аппарата (судна) по тангажу и крену. Для пропуска воды поверхностью поверхности над днищем судна, ГО должно обладать способностью отклоняться: основная его часть - внутри под днищем судна, корпусная - наружу из-под дна, бортовые части - вбок и вдоль судна в направлении кормы. В то же время ГО должно обладать большим числом степеней свободы из-за характерной для СВП склонности к движению с большими углами дрейфа, с раскачиванием.

ГО области ВП призвано идеально отслеживать возмущаемую поверхность воды или неровности твердого дна, что обеспечивает не только отсутствие контактирования с подстилающей поверхностью, но и постоянное расхождение воздуха из ВП по ее периметру. Конструкция его должна быть такой, чтобы противостоять нагрузкам от действия сил, вызываемых потоками подвизанного магнетитом воздуха, выполняющим наддувные конструкции и область ВП, и сил гидродинамической природы, которые возникают из-за контактирования с поверхностью воды.

Характерные условия, в которых эксплуатируется ГО, следует особо остановиться на следующих аспектах их функционирования:

- постоянная нагруженность эластичных конструкций ГО распределенным избыточным давлением воздуха, приемлемым в зависимости от внешних условий статический или динамический характер и действующий на ГО со стороны ВП или внутри его замкнутых объемов, наполняемых воздухом, поступающим от магнетитов;
- контакт с водой при движении судна над ее поверхностью; на возмущенном море - воздействие ударов о волны на скоростях, достигающих до 80 уз, вынуждающее циклическими динамическими нагрузками с переменными частотами колебаний;
- обдувание струями воздуха, скорость в которых достигает нескольких десятков метров в секунду, увеличивающих о поверхности на воде брызги, а при выходе на берег - песок или галька;
- истарение нижних кромок ГО о бетонных стеновых плоскостях;
- контактирование и удары о встречные предметы, ледовый покров или торосы, грунт и растительность при движении над твердой поверхностью;
- эксплуатация ограждений в составе судна в широком диапазоне температур окружающего воздуха ($-40 \dots +40^\circ\text{C}$);
- разрушающее действие морских солей и присутствующих в воде нефтепродуктов.

Помимо надежности и проходимости ГО определяют мореходность, продольную, поперечную и вертикальную устойчивость, характеристики ходкости, качки, управляемости, энергооборуженности и надежности СВП. Одним из важнейших требований является устойчивость формы ГО, которое как пневмоконструкция под действием внутреннего давления

воздуха принимает наибольший объем. Форма ГО, выходящая изгибными воздействиями, должна стремиться к восстановлению после прекращения этих воздействий. Поскольку на СВП действуют силы в моменты, кренящие, дифференцирующие или стремящиеся переместить его по вертикали, форма и конструкция ГО должны быть такими, чтобы содействовать повышению ответных сил в моменты, восстанавливающих первоначальное положение судна. Для исключения смещения центра давления вверх или потерек судна, приводящего к его опрокидыванию и (или) перекачиванию, требуется, чтобы ГО при контакте с поверхностью или препятствием как можно меньше смещалось (под сушу и наоборот). Такой контакт должен в большей степени приносить к складыванию ГО по вертикали и в меньшей степени к смещению по горизонтали. Контактрование должно быть сведено к минимуму в любых условиях эксплуатации, т.е. и на гладкой, и над неровной поверхностями. Это является гарантией минимального сопротивления движению на такой воде, на волнении и на суше. Следствием способности ГО к рациональному распределению его вертикальной жесткости по периметру судна приводит к снижению вертикальных перегрузок. Таким образом, пневмоконструкция ГО должна рассматриваться как пневморессора. Минимизация контактирования ГО с внешней поверхностью обусловлена требованиями не только жесткости и мореходности, но и его ресурса, ибо снижаются затраты, связанные с усталостными нагрузками материала ГО, особенно низких кромок. Необходимо также добавить, что из-за несовершенства конструкции ГО, быстрой изнашиваемости материала, связанной как с жесткими условиями эксплуатации, так и с отсутствием подподачи для его изготовления материала, ресурс ГО остается неизменно малым. По этой причине конст-

рукция ограждения должна быть легко заменяемой и ремонтопригодной.

Сама конструкция ГО или специальные приспособления должны максимально подматывать бризгообразование.

Таким образом, требования к ГО обусловлены как условиями эксплуатации СВП и функционирования ГО, так и требованиями придавая судну свойства и качества, делавших его надежным и конкурентоспособным транспортным средством. По крайней мере только после освоения СВП гибкими ограждениями, в большей или меньшей степени отвечающими перечисленным выше требованиям, эти суда стали амфибийными, мореходными, всепогодными и в значительной мере универсальными.

§ 6.2. Типы ГО, применяемые на АСВП

Использование эластичной массы для удержания ВП под линией на BRN 1 и попытка дальнейшей реализации данной идеи на этом и других судах и аппаратах поставили перед конструкторами ряд очень сложных задач, решение которых в той или иной мере продолжается до сих пор.

Первый круг проблем касался обеспечения создаваемым ограждением плавучести, устойчивости формы и мореходности; второй — придания судну, оснащаемому ГО, свойств, которые с экономической и энергетической точки зрения по своим показателям не уступали бы аппаратам и судам, не имеющим ГО.

Действительно, использование ГО на СВП привело к необходимости учитывать следующие обстоятельства:

— появление дополнительного раздела нагрузок, составляющего до 5% от полной массы судна;

- высокая стоимость конструкции ГО (5...6% от строительной стоимости судна);
- высокие эксплуатационные затраты, связанные с текущими расходами на ремонт и замену вышедших из строя элементов ГО (из-за их повреждаемости, приводящей не только к необходимости ремонта, но и к аварийным ситуациям);
- дополнительное профитное сопротивление движению из-за увеличения габаритов судна;
- частичное ухудшение расходно-моторных характеристик ВП, создаваемой и удерживаемой податливыми конструкциями (по сравнению с таковыми у аппаратов и судов, где ВП создается и удерживается жестким сольным аппаратом или жесткими бортовыми стенками поддульной камеры);
- увеличение возвышения центра тяжести судна над опорной поверхностью на величину, равную высоте ГО, усложнившее обеспечение остойчивости.

Учитывая условия эксплуатации, требования к ГО и перечисленный выше круг проблем, появление которых для СВП вызвано установкой ГО, исследователи постоянно занимаются совершенствованием ограждений области ВП [40], [180], [185]. Отметим только те их типы, которые оказались надежными, экономичными и получили наибольшее распространение:

- 1) ГО с гибким наддувным ресивером (верный ярус) и поперечно-расчлененными лавесными (съемными) элементами (шквальный ярус) (рис.6.1);
- П) ГО с разомкнутым ресивером (верный ярус) и сегментными элементами (шквальный ярус);
- III) ГО многокамерное, состоящее из нескольких закрепленных на жестком днище судна камер, каждая из которых заготавливается во форме усеченного конуса (конусные ГО);
- IV) комбинированные ГО (комбинация 1 и III типов);

У ограждений I типа по периферии жесткого корпуса судна проходит гибкий ресивер, заполненный воздухом от нагнетателя. В поперечном сечении он представляет собой комбинацию двух сегментов наддуваемых круговых цилиндров, которые в нижней части смыкаются между собой по касательной, а каждый второй конец сегмента, находясь в верхней части гибкого ресивера, присоединяется к жесткому корпусу, замыкаясь таким образом периметр поперечного сечения ресивера. В местах присоединения гибкого ресивера к жесткому корпусу последнему передаются усилия, возникающие из ГО. Гибкий ресивер легко деформируется в вертикальном направлении, что делает его сходным с ресивером наземного транспортного средства. Введением оттяжек или прошивальной диафрагмы (рис.6.2) можно значительно уменьшить вертикальную жесткость гибкого ресивера, который в зависимости от количества усмиряющихся оттяжек или диафрагм может быть выполнен двух-, трех- и многорукавым.

К гибкому ресиверу (рис.6.3) присоединяются составляющие шквальный ярус ГО лавесные, поперечно-расчлененные (съемные) элементы, как правило, открытые со стороны ВП, прижимаемые боковыми стенками друг к другу (и тем сохраняющие свою форму) и способные отделиться под действием внешней силы от обшивки ВП. При нагнетании или потере НЗ сечение элементы под давлением воздуха, выходящего изнутри каждого из них, смыкаются и закрывают образующиеся отверстия, значительно уменьшая его и давая возможность судну продолжать движение без существенного снижения эксплуатационных характеристик.

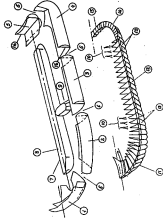


Рис. 6.1. Гибкое сегментированное устройство ВП 1 типа с гибким надувным ресивером в латерально-расположенных лямках (сильными) элементами: 1 - носовая секция надувного ресивера; 2 - скуловая секция ресивера; 3 - бортовой участок надувного ресивера; 4 - угловая секция надувного ресивера; 5 - корпусная секция ресивера; 6 - угловая секция надувного ресивера; 7 - шарнирно-надувного ресивера; 8 - стыковое соединение секций ресивера; 9 - продольное сегментированное устройство ВП 10; 10 - продольное сегментированное устройство ВП 10; 11 - носовая лямка (сильная) элемент; 12 - подмышечная лямка (сильная) элемент; 13 - стандартная лямка; 14 - угловая лямка; 15 - корпусная лямка; 16 - продольная лямка в надувном ресивере



Рис.6.2. ГО 1 типа с двухкамерным гибким резонатором: 1 - верхний ярус; 2 - нижний ярус; 3 - диафрагма; 4 - отверстия в полотняном резонаторе для прохода воздуха; 5 - НЗ



Рис.6.3. Открытый НЗ в составе ГО 1 типа: 1 - издувной гибкий резонатор; 2 - НЗ; 3 - колымаги для крепления НЗ; 4 - колымаги для крепления НЗ секционированных ГО; 5 - жаровня; 6 - НЗ секционированного ГО; 7 - диафрагма в секционированных ГО; 8 - антиаварийный оттяжка (может быть диафрагма); 9 - направленный участок боковых стенок НЗ; 10 - жесткий экран; 11 - поперечное сечение НЗ

Воздух из гибкого резонатора в ВП может поступать или непосредственно, или через съемный элемент. В обоих случаях в уплотнение материала, образующего гибкий резонатор, делаются для этого щели, круглые или овальные отверстия и т.д. Гибкий резонатор (см. рис.6.1), расположенный по периметру днища судна, к которому он прикрепляется, в носовой части и в местах скруглений в кормовой части приобретает сложную торособразную (пространственную) форму, которая сочетается с жестким корпусом по линиям притыкания. Последние наносятся на теоретические чертежи ГО и корпуса. Двухкамерная по форме этого типа ГО делает его более податливым, позволяет пропускать незначительные по высоте и по длине прокатывания или волны без отклонения всего ГО, а то время как гибкий резонатор, являясь значительно более жестким, чем НЗ, отклоняется лишь при встрече с препятствиями предельной высоты.

Соотношение высоты гибкого резонатора и высоты НЗ в долях от полной высоты $h_{ГО}$

различия и в процентном отношении колеблется от 70/30 до 30/70. Чем больше высота НЗ, тем податливее ГО и тем меньше простот сопротивления движению судна на взволнованном море по сравнению с тихой водой. На примере английского СВП SRM 6 (рис.6.4) видно, насколько существенно увеличивается скорость движения судна в одних и тех же условиях взволнованного моря при увеличении относительной высоты НЗ по отношению к высоте ГО от $h_{НЗ}/h_{ГО} = 0,3$ до $h_{НЗ}/h_{ГО} = 0,5$.

При этом наблюдается снижение или сокращение на том же уровне значений вертикальных перегрузок (в долях от гравитационной постоянной g) при одной и той же скорости хо-



Рис.6.4. Скорость движения и характеристики мореходности английского СВП SRN96 ($D_n = 87$)

в зависимости от высоты нерегулярной волны;
 —х— $h_{nz}/h_{го} = 0,3$; - - - $h_{nz}/h_{го} = 0,5$
 (числовые значения — вертикальные перегрузки в районе носа СВП в баллах от g)

да, но при значительно увеличившейся высоте преодолеваемой волны. Также улучшается, однако, достигается в ущерб проходимости и поперечной устойчивости судна при его наклонении. Повышение НЗ в условиях эксплуатации и характеристики судна зависят кроме этого от угла наклона $\theta_{го}^*$ наружной образующей стенки элемента к горизонту. Наряду с увеличением площади ВП S_n увеличение угла наклона $\theta_{го}^*$ приводит, как показано в [188], к снижению сопротивления от замыкающего ГО на тихой воде.

Сочетание гибкого ресивера и открытых НЗ используется в качестве периферийного ГО на бортовых участках и в носовой части периметра ВП. Как уже отмечалось, в корме под влиянием встречных волн и препятствий ГО

должно становиться из области ВП, поэтому здесь используются закрытые НЗ, имеющие образующие стенки как с наружной стороны ВП, так и с внутренней ее стороны (рис.6.5). Таким образом удается избежать загребания воды при контакте кормы с поверхностью воды. Как видно из рисунка, НЗ приобретает форму глянскирующей по воде поверхности, что способствует снижению сопротивления движению как на тихой воде, так и на волнении. Другие виды кормовых секций ГО, их нижней части показаны в [118], они также имеют глянскирующую форму.

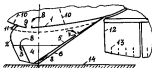


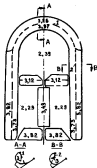
Рис.6.5. Вариант кормового НЗ ГО: 1 — гибкий ресивер; 2 — задняя образующая стенка НЗ; 3 — кормовая щель для выхода воздуха; 4 — вертикальная формообразующая диафрагма НЗ; 5 — глянскирующая стенка НЗ; 6 — клапан, прижимаемый к стенке 5 и служащий для подвода воздуха, омываемого нижней кромкой ГО; 7 — отверстия для выхода воздуха в клапан 6; 8 — поток воздуха; 9 — отверстия в полотнище гибкого ресивера для выхода воздуха в НЗ; 10 — антиабразивная оттяжка; 11 — кованые для крепления НЗ киль; 12 — продольный секционизирующий ВП киль; 13 — диафрагмы, формирующие НЗ секционизирующего киль; 14 — жесткий экран

Движение на волнении часто сопровождается интенсивной кавитационной качкой, что приводит к значительному контактированию кормы с водой. Для умерения качки, как показывает опыт эксплуатации, желательно уменьшать вертикальную жесткость корызового ГО, для чего гибкий ресивер может выполняться многосуставным, с меньшим чем в носу и по бортам перепадом давлений между внутренним объемом и объемом ВП и также расчленением корызового участка гибкого ресивера на изолированные отсеки, которые отделены друг от друга глухими несвязанными одна с другой перегородками. Это позволяет участкам корызового ГО перемещаться вертикально один относительно другого подобно клавишам рояля.

Закрывные (глухие) НЗ устанавливаются и на угловых участках периметра ГО в местах перехода от борта к корме (см. рис. 6.1), что связано с большими углами прореза и с риском АСВП, движущегося при наличии бокового ветра на волнении.

Рассматриваемый тип ГО помимо описанной выше периферийной его части (см. рис. 6.1) имеет еще и секционированную область ВП ограждения. Она препятствует перетеканию воздуха из напорной секции в сторону отверстия, образующегося под поднятым бортом (или оконечностью), в результате чего в опущенной секции давление понижается по сравнению с секцией на поднятом борту (или оконечности). Влияет конструкция секционированного ограждения приведен на рис. 6.2 б (см. 3.6.5), а реализация разделения ВП на секции показана на примере аэтильного СВП SR.M 4 (рис. 6.6), где, кроме того, приведены численные значения избыточного давления воздуха на различных участках ВП и отсеков гибкого ресивера в килопаскалях. Видно, что перепад давлений между областью ВП

Рис. 6.6. Схема ГО СВП SR.M 4 в плане: 1 - диафрагма, предотвращающая завальное сужение; 2 - анти-вибрационная диафрагма; 3 - невозвратный клапан



и гибким ресивером у секционированных ограждений принимается меньшим, чем между ВП и периферийным гибким ресивером. Давление в носовой части гибкого ресивера (торцевой его части) устанавливается меньшим, чем в бортовой его части, что способствует амортизации ударов встречных волн.

Поведение ГО на волнении, устойчивость, устойчивость формы и сама форма поперечного сечения гибкого ресивера в значительной степени определяются вынужденной перепадом давлений между внутренним объемом гибкого ресивера и областью ВП, характеризующимся коэффициентом $K_p = P_p / P_n$.

Гибкие ограждения I типа в плане, помимо композиции, представленной на рис. 6.7, где кроме форм

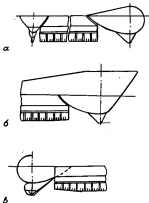


Рис. 6.7. Схематическая схема ГО I типа: а - продольное сечение СВП; б - сечение по ДП (нос); в - сечение по ДП (корнь)

поперечных сечений ГО в носу, на бортовом участке и в корне, можно видеть способ стыковки периферийных и секционированных ВП ограждений.

ГО данного типа находятся в процессе развития и совершенствования с 1965 г. Появив-

шись на судах английской фирмы ВНС SR № 5 и SR № 6, они использовались затем на английских SR № 4, BH.7, AP.1-68, американских LACV-36, JEFFB, LCAC, японских MV.PP-5, MV.PP-15, канадских Voyageur, Viking, [158], их основные характеристики отражены в табл. 6.1.

Наряду с рассмотренным типом ГО обширным исследованием и проверке на натурных объектах подвергались ГО, схема которых изображена на рис. 6.8. Такие ГО были разработаны английской фирмой Hovercraft Development Limited (HDL) в середине 60-х годов; хотя их относят к самостоятельному, II типу ГО, они имеют много общего с тем типом, который только что анализировался. У них, как видно, общий гибкий резонатор является несимметричным, поэтому давление ГО оказывается более податливым, чем ГО I типа, так как здесь нет перепада давлений между резонатором и областью ВП. Гибкий резонатор в поперечном сечении представляет собой круговую полусферу, верхняя часть которой крепится к жесткому корпусу непосредственно, а нижний конус с жестким корпусом соединен, как оттяжки, боковыми стенками НЗ, называемыми в этом случае сегментами. По форме они мало чем отличаются от уже описанных. В конструктивном отношении от ранее рассмотренных известных секционированных элементов их отличает способ закрепления: верхние кромки боковых стенок являются свободными, и имеют место точечное закрепление верхних углов сегментов, находящиеся внутри области ВП, на оттяжках к жесткому корпусу, а верхняя кромка наружной стенки элемента соединена с нижней линией полушара резонатора.

Здесь гибкий резонатор практически отсутствует в том виде, в каком его определял в описанном выше устройстве ГО, а коэффициент

Характеристики ГО современных английских СВП
(ГО в составе назуемого размера и НЗ)

Таблица 8.1

Характеристики	Наименование СВП					
	SRN*5	SRN*6 Мк.1	SRN*6 Мк.6	ВН.7	SRN*4	VT.2
Полная масса судна, т	6,80	10,16	14,97	50,80	187,33	91,03
L_n / B_n	1,64	1,94	2,5	1,96	1,64	1,85
K_p	1,8	1,6	1,57	1,2	1,49	~1,2
$\frac{h_{го} + z_{го}}{(h_{го})_n}$ ^{*)}	1,21	1,21	1,57	1,68	1,62	1,75
$h_{из} / h_{го}$	0,3	0,5	0,4-0,42 ^{**)}	0,73	0,40-0,50 ^{**) (м)}	~0,75
$h_{из} / b_s$	0,53	0,61	0,5	0,6	0,54	0,54
Угол наклона наружной стенки НЗ к горизон- тальной поверхности $\theta_{го}$, град	57	57	52-46	42	48-52	~48

Угол наклона
верной кромки НЗ
к горизонтальной
поверхности θ^*
(см. рис. 6.28)

Число НЗ на носовом
декутении

Число закрытых НЗ в
корневой части судна

81	71	82	64	82	80
81	36	37	23	48	44
44	38	44	30	60	44

*) Отношение площади верхней точки крепления такого размера к корпусу на ма-
дате к высоте ГО в воду (см. рис. 6.29).

**) Получена непосредственно из-за увеличения высоты ГО по направлению от носа к
корме.

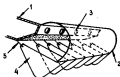


Рис.6.8. ГО ВП П типа фирмы HDL: 1 - жесткий корпус судна; 2 - несамонутый ресивер (подушка); 3 - отверстие для подачи воздуха в ГО; 4 - НЗ (сегмент); 5 - внутренняя отливка

перепада давления в таком случае $K_p = 1$. Таким образом, удастся значительно уменьшить потери давления и снизить мощность, потребляемую подъемным комплексом. Внедрением так называемых "стабилизированных" НЗ (рис.6.9)

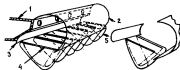


Рис.6.9. ГО П типа фирмы HDL с двойными (стабилизированными) элементами: 1 - жесткий корпус судна; 2 - наружное полотно гибкого ресивера; 3 - внутреннее полотно гибкого ресивера; 4 - внутренний сегмент; 5 - наружный сегмент

удается несколько повысить восстанавливающий момент при каллонении судна и при касании ГО створной поверхности, в результате чего пространство внутри ГО становится замкнутым и создается перепад давлений между внутренним объемом ГО и ВП.

С увеличением податливости ГО уменьшается прирост сопротивления движению на всплываемом море, но вместе с тем уменьшается устойчивость формы при внешних воздействиях, повышается сила сопротивления и торможению ГО при движении и на тихой воде, и на волнении.

Введение дополнительного внутреннего полотна в туннели ГО, предложенные фирмой HDL, делает его идентичным продуманному типу ГО, в разнице между ними практически стирается [40].

Конструктивные отличия носовой, бортовой и кормовой секций рассматриваемого варианта ГО на примере английского судна VT.2 показаны на рис.6.10.

Их особенностью является включение внутреннего ряда сегментов (см.рис.6.9). Отличия внутренних сегментов для бортовых, кормовых и носовых участков судна вызваны различиями в условиях их работы. Распределение количества воздуха, поступающего в ВП, здесь неравномерно: ~70% его проходит через носовую секцию и лишь ~30% - через все участки бортовых ГО. Истечение воздуха через кормовую секцию пренебрежимо мало. Оригинальной идеей, реализованной в ГО, установленным на СВВП VT.2, является включение в их бортовые секции не возвратных клапанов (мембран), которые при закупоривании ВП водой и прекращении истечения воздуха из-под ГО препятствуют выходу воздуха из ВП через шахты вентиляторов. Это может происходить из-за повышения давления

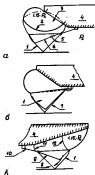


Рис.8.10. Схема ГО на судах фирмы Vosper Thornycroft ; а - бортовая секция; б - кормовая секция; в - носовая секция; 1 - наружный сегмент; 2 - невозвратный клапан; 3 - выход воздуха от нагревателя в ВП; 4 - жесткий корпус СВП; 5 - 30% воздуха, поступающего в ВП; 6 - внутренний сегмент; 7 - внутренний кормовой элемент ограждения ВП; 8 - 70% воздуха, поступающего в ВП; 9 - внутренний сегмент; 10 - отстойка; 11 - внутренняя диафрагма; 12 - диафрагма

в ВП при уменьшении ее объема (например, на волнении).

Возрастающее давление в ВП может достигать значений, превышающих рабочее давление, развиваемое вентилятором. Этот же клапан срабатывает, если один из нескольких вентиляторов выходит из строя. Тогда рассматриваемый невозвратный клапан будет препятствовать escape воздуха из ВП через шахту неработающего вентилятора.

Французские специалисты с самого начала занимались разработкой своей конструкции ГО ВП. С конца 50-х годов совершенствуются приложения Ж.Вертемом так называемые кольцевые, или многокамерные ГО (рис.8.11). Устойчивость форм при вертикальных и горизонтальных возмущениях и смещениях обеспечивается их формой

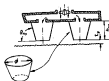


Рис.8.11. ГО III типа (конусные)

в виде усеченного конуса. Оптимальное соотношение высоты ГО и диаметра основания конуса, прилегающего к жесткому корпусу аппарата, $0,80 \geq (h_{го}/\phi) \geq 0,25$. Свойства как одного модуля ГО, так и всего ограждения ВП, зависят в значительной мере от угла конусности $\beta^* = (90^\circ - \theta_{го}^*)$. Его увеличение

приводит к возрастанию жесткости ГО, что вместе с повышением устойчивости формы вызывает рост сопротивления движению судна. Оптимальным является диапазон $\beta^0 = 5...10^0$. Кроме конусных элементов, рассредоточенных под днищем судна и снабженных воздухом от воздуховодителей напрямую или через ресвер, устанавливается периферийное конусное ограждение, которое способствует, во-первых, повышению устойчивости аппарата при наклонениях, а во-вторых, снижению осредненного давления в каждом конусе и, соответственно, в совокупной области ВП. Вариант такого ГО показан на рис.6.12.

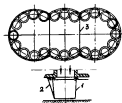


Рис.6.12. Композиция конусных ГО на судне (Франция): 1 - внутренний конус; 2 - наружный конус; 3 - вертикальная стягивающая и секционированная область ВП диафрагмы

Наружное полотно для обеспечения его формы между бортами стягивается диафрагмами или стяжками, что придает его бортовой поверхности желаемую форму. Внутренние конусные ограждения прижимают друг к другу. Каждое из них касается и наружного полотна.

ГО подобного типа было установлено на французском СВП № 300.

Этот тип ГО, являющийся зачастую французским, отличает следующие преимущества перед рассмотренными выше типами:

- простота конструкции, уменьшающая стоимость и ремонт;
 - уменьшение гидравлических потерь при подаче воздуха по внутренним воздуховодам, снижающее энергозатраты на функционирование полного комплекса;
 - увеличение показателей продольной и поперечной устойчивости, что связано с ростом сопротивления перемещению воздуха между отдельными модулями;
 - большая устойчивость формы ГО на всех режимах эксплуатации;
 - уменьшение напряжений в ткани, связанное с особенностями формы конусного модуля.
- Анализируемый тип ГО характеризуется относительно большими значениями остаточного сопротивления движению судна на тихой воде и на волнении, что можно объяснить меньшей плотностью его наружного полотна по сравнению с напесными секционированными элементами и сегментами, рассмотренными выше.

Последнее обстоятельство послужило основанием для совершенствования ГО, установленного на французском СВП № 500 (рис.6.13), по сравнению с ГО этого типа, изображенным на рис.6.12. Количество внутренних конусных элементов с 8 у СВП № 300 ($\Pi_n = 27$ т) здесь

возросло до 24. Диаметр каждого составляет 4 м. Их высота по борту и в корме 2,5 м, а в носу 3,5 м. Существенной отличительной особенностью является то, что периферийное ГО не является сплошным полотном, а состоит, как это видно на рис.6.13 и 6.14, из изолированных сегментов (всего по периметру 24).



Рис.6.13. Элементы ГО французского СВП № 500
1 - эластичные отжимы; 2 и 4 - секции наружного элемента; 3 - съемная секция наружного элемента; 5 - внутренний конусный элемент

Сечение по АА

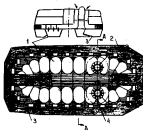


Рис.6.14. Схема композиции ГО СВП № 500
1 - внутреннее конусное ГО; 2 - водонепроницаемый полог; 3 - наружное ГО; 4 - осевой затвор; 5 - конусный элемент

В их конструкции включены эластичные отжимы, а полотно каждого сегмента по высоте имеет разъемы, которые позволяют менять композиционные части ГО без демонтажа всего ограждения. Давление воздуха в области, охватываемой наружным ограждением, составляет ~85% от избыточного давления воздуха во внутренних конусных элементах.

Для рассматриваемых ГО ресурс жизни съемных его частей (см. рис.6.13) доведен до 300 ч (на них расходуется около 10% материала, идущего на все ГО СВП № 500). В то же время ресурс прочих элементов ГО, на которые приходится остальное 90% расходуемого материала, доведен до 800...1300 ч.

Разработанные и запатентованные американской фирмой Aerojet ГО следует рассматривать как комбинацию 1 и III типов. Их особенностью (рис.6.15) является наличие в их составе двух видов такжа, как у ГО 1 типа,

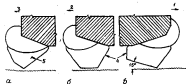


Рис.6.15. Схема ГО 1У типа фирмы Aerojet;
4 - конусная секция; 5 - бортовая секция; 6 - носовая секция; 1 - направление движения супа; 2 - направление от ДП к борту; 3 - направление от носа к корме; 4 - конусная поверхность; 5 - кормовой закрытый элемент

откуда замысловат и общий замкнутый наддувной ресивер, к которому снизу подвешиваются НЗ, наполненные конусные элементы французского типа ГО. Они устанавливаются более плотно один к другому, и их форма от этого сплющивается, превращаясь в поперечном сечении в овал или в прямоугольник со скругленными по радиусу, равному половине расстояния между этими элементами и места крепления их к наддувному ресиверу. Это дает им преимущества, состоящие в повышенных характеристиках устойчивости при наклоненных аппаратах (судна) по сравнению с ГО формы ВМС и ИДЛ.

Навесные элементы крепятся частью своей верхней крошки к гибкому ресиверу, а частью - к жесткому корпусу. На рис. 6.16 показаны отличительные особенности НЗ, устанавливаемых на участках носа, кормы и бортов СВП. Носовой элемент имеет конусную выпуклость в 1,5°, предотвращающую застревание его задней стенки (по направлению к корме судна), а у кормового элемента перегиб (по потоку) его часть имеет большой наклон, позволяющий глиссировать по поверхности воды.

Схема ГО американского КВЛ JEFFA приведена на рис. 6.16, здесь ограждение имеет гибкий ресивер по всему периметру. Оно включает 62 конусообразных элемента. Гибкий ресивер четырех вертикальными дифферентами разделен на 4 сектора. Каждый НЗ имеет высоту 1,5 м и ширину 1,2 м. Величина зазора между нижней крошкой ГО и поверхностью над которой движется этот аппарат, составляет не более 7,5...10 см, а в случае идеальной ровной поверхности - 10...15 см.

Следует также отметить, что высота НЗ типа ГО составляет практически 100% от диаметра между жестким днищем и поверхностью дна. Их достоинством является высокая по-

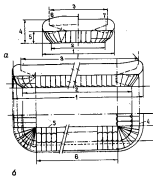


Рис. 6.16. Композиционная схема ГО американского КВЛ JEFFA: а - вид сверху и сбоку; 1 - ширина судна наибольшая; 2 - ширина ВП; 3 - ширина жесткого корпуса; 4 - возвышение верхней точки крепления гибкого ресивера к жесткому корпусу; 5 - высота ГО; 6 - над с носом; 7 - над с кормой; б - вид сверху и снизу; 1 - длина судна наибольшая; 2 - длина ВП; 3 - длина жесткого корпуса; 4 - линия присоединения НЗ к гибкому ресиверу; 5 - внутренняя линия присоединения бортовых НЗ к жесткому корпусу; 6 - длина участка стандартных бортовых НЗ

точность, позволяющая значительно увеличить высоту $h_{г0}$ в полк от B_n (по величине $h_{г0}/B_n = 0,3$), что существенно больше, чем у ГО фирм ВМС и НДЛ.

Здесь нет необходимости в секционировании площади ВП.

В то же время рассматриваемый тип ГО обладает меньшей подвижностью, как и оригинальные фрекусские ГО, и пока широкого распространения не получил. Кроме КВП JEFFA он использовался только на моделях и на некотором экспериментальном СВП ЗЕС-100А.

Как уже отмечалось, одной из самых сложных проблем эксплуатации СВП является явление быстрого образования, создаваемого выходными из ВП струями воздуха, которые увлекают за собой мелкие капли воды. Особенно интенсивно образование "на стопе" при высоких значениях избыточного давления воздуха в ВП. Судно оказывается окруженным брызговой пленкой, негативно воздействующей на работу двигателей, дизельных, магнетолетов, ухудшающей видимость, а при низких температурах окружающего воздуха способствующей обледенению. По мере увеличения скорости хода пленка брызг смещается в корму судна, и острота перечисленных проблем снижается, но не исчезает проблема, связанная с брызговым сопротивлением, о котором выше уже шла речь. Гашение брызгообразования можно добиться, снижая давление P_n или механически отсекая вылетающие из ВП брызги (рис.6.17). Приспособления подобного назначения могут иметь другое устройство, но их использование в любом случае усложняет и утяжеляет конструкцию ГО.

В заключение следует отметить, что кроме охарактеризованных здесь типов ГО находят применение и другие их типы (например, в

испанских СВП [158]). Такогодкие СВП и грузовые платформы на ВП оснащаются бордово чисто баллонными ГО, имеющими по периметру только гибкие наддувные ресиверы без ИЗ.

Широкое использование на таких объектах имеют и ГО, состоящие только из поперечно-растопленных элементов.

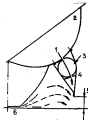


Рис.6.17. Брызгоотбойник на носовой секции ГО КВП JEFFA: 1 - поток воздуха; 2 - гибкий ресивер; 3 - давление воздуха внутри гибкого цилиндрического мешка (6,23 кПа); 4 - фланец, препятствующий вылету брызг из-под ГО; 5 - зазор (400 мм); 6 - зазор под носовой кромкой ГО (51 мм)

4.6.3. Расходно-высотные характеристики СВП, оборудованного ГО области ВП. Изгибная жесткость материала ГО и ее моделирование

Описание АСВП габариты ограничены внесло значительные искажения в те расчетные схемы, которые характерны как для сформированного жесткого соплового устройства, так и для камерного принципа образования ВП, предусматривающего фиксирование кромок подкупольной камеры по ее периферии. Искажения обусловлены прежде всего податливостью и эластичностью материала, которые не позволяют получить ни спроектированное сопло, ни устойчивую кромку камеры. Это усугубляется, как правило, наличием масштабного эффекта при использовании результатов исследований на моделях характеристик СВП, связанных с функционированием ГО, а также зависимостью формы и геометрических характеристиках гибкой конструкции отражения ВП от жесткости материала. Жесткость материала ГО зависит в свою очередь от свойств и армирующей ткани, и облицовочных слоев (толщины, упругости, поведения при повышении температуры окружающей среды и т.д.). При расчетной оценке формообразования материал предполагается абсолютно гибким, что практически не соответствует действительности, от этого возникают явления гистерезиса в механизме обеспечения устойчивости и отклонение действительной формы конструкции от теоретической.

Так, на рис.6.18 показаны результаты замера реализуемой высоты подъема СВП над экраном h_z в долях от теоретической высоты ГО $h_{го}$ в зависимости от количества подаваемого в ВП воздуха Q_n при двух значе-

ний жесткости материала, применявшегося для изготовления гибкой конструкции.

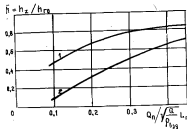


Рис.6.18. Зависимость реализуемой высоты подъема СВП от расхода воздуха и жесткости материала ГО: 1 - ГО из облицовочного материала; 2 - ГО из материала с повышенной изгибной жесткостью

Чрезмерная жесткость может значительно снизить кипение под корпусом и ухудшить общий ряд классификационных характеристик натурного объекта.

Условия моделирования изгибной жесткости материала ГО, определяющего идентичность деформаций у модели и натуре, можно выраженные в виде целого ряда критериев [12],[18]. Подобие деформаций под действием избыточного давления воздуха имеет место, например, при идентичности характеристик жесткости материала модели и натуре, определенных параметром

$$Ж = \frac{E_{ю} t_M^3}{G \sqrt{3n}} \quad (6.1)$$

где t_M — толщина применяемого материала, мм;
 $E_{ю}$ — его мгновенный модуль упругости, кПа.

Критерий изгибной жесткости материала предлагаемый в [181], базируется на сравнении величин отклонений δ (мм) свободного конца прямоугольного образца у каждого из рассматриваемых материалов:

$$\delta = \frac{12 G_0 l_{об}^4 g}{8 E_{ю} t_M^3} \quad (6.2)$$

где $l_{об}$ — длина образца, мм; G_0 — поверхностная плотность материала, кг/м².

Сопоставляя значения δ у рассматриваемых материалов, можно получить условие моделирования изгибной жесткости

$$(E_{ю})_H = (E_{ю})_M \lambda_H \quad (6.3)$$

где λ_H — масштаб моделирования.

Используя выражения (6.2) и (6.3), можно найти соотношение отклонений δ у натурального и модельного образца:

$$\frac{\delta_M}{\delta_H} = \frac{(G_0)_M}{(G_0)_H} \frac{(l_{об}^4)_M}{(l_{об}^4)_H} \frac{(t_M^3)_H}{(t_M^3)_M} \lambda_H \quad (6.4)$$

отвечающее условию моделирования изгибной жесткости и учитывающее по сравнению с предыдущим критерием (6.1) возмозность материала, предпочтение которой является условием расчета формы ГО и его прочности (см. далее в 6.5, 6.6).

В связи с ограниченностью ассортимента предлагаемых промышленностью материалов ГО и

вытекающими отсюда затруднениями с выполнением условий моделирования изгибной жесткости на практике приходится иметь дело с проявлением масштабного эффекта.

Анализ конструкций и геометрии различных типов ГО, применяемых на современных СВП, позволяет сделать вывод, что по способу формирования ВП они практически все должны быть отнесены к камерной схеме. Такая оценка не исключает сомнения ни в отношении французских конусных ГО, ни ограждений, включающих открасное НЗ, но не имеющих замкнутого наддувного ресивера. Не являются исключением и ГО фирмы ВНС, наиболее широко распространенные, называемые выше как 1 тип. Их верхний ярус представляет собой гибкий наддувной ресивер, имеющий отверстия для входа воздуха в ВП, в нижнем ярусе — расчлененное НЗ, высота которых 30–70% от полной высоты ГО. Навесные элементы, открытые со стороны ВП на большей части ее периметра (от 2/3 до 3/4), имеют конусный вид (рис. 6.19). Отверстия или щели в полости гибкого наддувного ресивера, через которые запитывается нижний НЗ, не могут рассматриваться как источник сформированной периферийной струи (см. рис. 6.19). Если бы это было возможно, то на таком большом пути ее течения от краев отверстия (щели) до встречи с поверхностью экрана или воды струя, как подтверждает эксперимент, безусловно, уже размывается.

Конструкции корытовой части ГО, применяемые на современных СВП, также не имеют струйных течений, а наоборот и просто практически лишены источника воздуха. К этому следует добавить, что 20–30% воздуха, поступающего в ВП, для протекновения так называемому водному порошку подается на ряде СВП или через гибкий ресивер (см. рис. 6.19), или

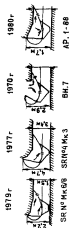


Рис. 6.19. Схемы конструкции ГО и подачи воздуха из глубокого инфильтратного резервуара в область ВП лавинных СВН

от нагревателя прямо в область ВП по специальному каналу, минуя глубокий инфильтратный резервуар.

Это дает основание рассматривать в практических расчетах область ВП под дном лавины, ограниченную по периметру ее подпиточными конструкциями ГО, как общую камеру, заполненную воздухом с избыточным статическим давлением, равным $\sim G/S_n$, из которой утечка воздуха в атмосферу происходит, как при эластической камерной схеме образования ВП, в периферийную щель, образующую нижнюю кромку ГО и поверхностью экрана.

Исследования К.В.Жарниным [53] расходах характеристик камерной схемы образования ВП, ограниченной по периметру конусом ГО в виде сплошной полосы эластичного материала, установленной под углом $\theta_{го}^*$ к горизонту,

на твердом экране, показали практически полную сходимость полученных результатов по определению коэффициента $\mu_{кз}$ с данными рис.2.2.

Выводом следует считать и то, что эксперимент и здесь подтвердил зависимость коэффициента расхода $\mu_{кз}$ из ВП только от угла наклона образующей камеры $\theta_{го}^*$ к горизонту

и отсутствии связи его с высотой полями нижней кромки ГО над экраном. Это дает основание пользоваться зависимостью (2.2) для расчета расхода воздуха из-под СВН с конусным ГО при парении над твердым экраном.

Измерения расхода воздуха из этой же камеры, но поместившей над водой, продемонстрировали значительные изменения физической картины утечки воздуха, вызываемые влиянием пористости материала.

На рис.6.20 приведен коэффициент $E_{го} = f(t_3/h_v)$, позволяющий учитывать изменение расхода воздуха из камеры с гибкими стенками, вызванное подпит-

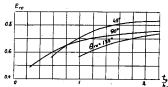


Рис. 6.20. Коэффициент снижения расхода воздуха из камеры ВП со стенками, обработанными золотом или гибкого материала, при парении над водой

лазностью податливости поверхности (по сравнению с твердым экраном):

$$Q_{гв} = E_{гв} \mu_{кв} \Pi t_2 \sqrt{\frac{2P_0}{\rho_{вж}}} = E_{гв} Q_{пз}. \quad (6.5)$$

Зависимость $E_{гв}$ от t_2/h_v дается для трех значений угла $\theta_{гв}^*$ (45, 90 и 135°). При этом предполагается, что коэффициент расхода $\mu_{кв}$

в (6.5) определяется в каждом случае как функция $\theta_{гв}^*$ по рис. 2.2. Сравнение экспериментальных данных о расходе воздуха из камеры с жесткими стенками над водой (см. рис. 2.2 с аналогичными данными, но из камеры со стенками, изготовленными из эластичного материала (см. рис. 6.20), показывает, что при парении сразу над водой без скорости податливость образующих камеру стенок увеличивает расход воздуха из ВП на ~30...40%.

Для камер с жесткими и податливыми стенками степень снижения расхода воздуха

определяется здесь с помощью корректирующих множителей $E_{ж}$ и $E_{гв}$, тем суше становится, чем меньше параметр t_2/h_v , т. е. чем больше глубина впадин h_v .

Построения СВР в большей степени обобщаются ГО, выходящими в нижней части открытые поверхности-расширенные известные элементы (рис. 6.21), поэтому следует рассмотреть значения характеристических параметров на расход воздуха из области ВП. Экспериментальные исследования в над твердым экраном, и над поверхностью воды показали зависимость коэффициента расхода воздуха из ВП от угла наклона выходящих образующих НЭ

$\theta_{гв}^*$ к горизонтальной плоскости, от соотношения h_2/h_1 и от отношения выходящих нижней кромки НЭ над твердым экраном или над дном впадины t_2 и ширины элемента b_2 , зависящий от диаметра сегментной трубы d_2 , формулой рассматриваемый НЭ.

На рис. 6.22 приведен коэффициент расхода воздуха $\mu_{кв}^*$ из камеры, выходящей образующей НЭ

на рис. 6.21, над твердым экраном (для двух значений угла $\theta_{гв}^*$ - 15 и 90°). Видно, что



Рис. 6.21. Схема источника воздуха из камеры ВП, формирующей известные сегментные элементы

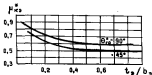


Рис.6.22. Зависимость коэффициента расхода воздуха из ВП судна, оборудованного ГО с НЗ, от отношения t_3/b_3 при различных углах наклона $\theta_{г0}^*$ образующей НЗ к горизонтальной плоскости

возрастание коэффициента $\mu_{кз}^*$ по сравнению с $\mu_{кз}$ (см. рис.2.2), тем существеннее, чем шире НЗ (коэффициент $\mu_{кз}$ определяется для камеры с жесткой порослешивной образующей стенкой). Если зазор под нижней кромкой НЗ t_3 составляет более половины ширины b_3 , то имеют место равенства: $(\mu_{кз}^*)_{\theta=90^\circ} = (\mu_{кз})_{\theta=90^\circ} + (\mu_{кз}^*)_{\theta=45^\circ} - (\mu_{кз})_{\theta=45^\circ}$.

Широкое НЗ имеет коэффициент расхода воздуха $\mu_{кз}^*$ на 30...40% выше, чем узкое. Чтобы определить расход воздуха из камеры с ГО, являющейся по периметру поперечно-расчлененным элементом, при наличии ее над твердым экраном, можно воспользоваться выражением

$$Q_{гз} = \alpha^1 \mu_{кз} n t_3 \sqrt{\frac{2P_n}{\rho b_{13}}} \quad (6.6)$$

где $\mu_{кз}$ — коэффициент расхода, определенный по рис.2.2; $\alpha^1 = \mu_{кз}^*/\mu_{кз}$ — коэффициент, определенный с помощью рис.6.23, где он представлен в функции от параметра t_3/b_3 для двух значений угла наклона образующей НЗ к горизонту $\theta_{г0}^*$ методом интерполяции или экстраполяции, если $\theta_{г0}^* \neq 45^\circ$ (значение $\theta_{г0}^* = 90^\circ$ в практике реальных судов неприменимо).

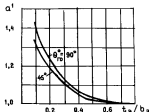


Рис.6.23. Корректирующий множитель, учитывающий влияние на коэффициент расхода воздуха $\mu_{кз}$ геометрии поперечно-расчлененных НЗ (над твердым экраном)

Количество воздуха, вытекающего из образующей поперечно-расчлененными открытым НЗ камеры, неподвижно парящей над поверхностью воды, можно определить по выражению, аналогичному (6.6), в которое введен корректирующий множитель $(E_{г0})_c^0$, учитывающий влияние

параметра t_3/b_3 (как и при парении над твердым экраном):

$$Q_{\text{нз}} = (E_{\text{ГО}})_c^{\theta} \mu_{\text{кз}} \Pi t_3 \sqrt{\frac{2P_{\text{н}}}{\rho t_3 h_3}} = (E_{\text{ГО}})_c^{\theta} Q_{\text{нз}}. \quad (6)$$

Этот множитель, как и Q^* , можно получить интерполированием или экстраполированием значения угла $\theta_{\text{ГО}}^*$, для чего следует воспользоваться рис. 6.24 и 6.25 $(E_{\text{ГО}})_c^{90^\circ} = f_1(t_3/h_3, t_3/b_3)$ и $(E_{\text{ГО}})_c^{45^\circ} = f_2(t_3/h_3, t_3/b_3)$.

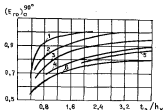


Рис. 6.24. Коэффициент, учитывающий влияние геометрических характеристик поперечно-расчетных НЗ на $\mu_{\text{кз}}$ из ВП над водой при угле $\theta_{\text{ГО}}^* = 90^\circ$ для следующих значений отклонения t_3/b_3 : 1 - 0,1; 2 - 0,2; 3 - 0,4; 4 - 0,6; 5 - 0,8; 6 - для ГО в виде сплошной полосы (см. рис. 6.20)

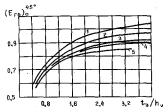


Рис. 6.25. Коэффициент, учитывающий влияние геометрических характеристик поперечно-расчетных НЗ на $\mu_{\text{кз}}$ из ВП над водой при $\theta_{\text{ГО}}^* = 45^\circ$ для следующих значений отклонения t_3/b_3 : 1 - 0,225; 2 - 0,425; 3 - 0,625; 4 - 0,825; 5 - ГО в виде сплошной полосы

Здесь видно, что по сравнению с камерой, выходящей ГО в виде сплошной полосы (линии кривые), с увеличением ширины НЗ расход воздуха значительно увеличивается (как и над твердым экраном). Это увеличение тем больше, чем глубже находится под камерой.

§ 6.4. Установление взаимосвязей расходно-каплярных характеристик ВП и ГО на АСВП

АСВП, оснащенное периферийными ГО, находится на относительно большой высоте над поверхностью, что увеличивает инерционность центра тяжести и создает проблему обеспечения про-

долгой и непрерывной устойчивости. Существенно увеличивающийся объем ВП создает проблему уменьшения качки и обеспечения мореходности судна при его движении над волноопасной поверхностью моря, что, в частности, обусловлено воздействием так называемого "ветрового порыва", практически мгновенно на большой скорости выходящего ВП, которую во избежание вертикальных перегрузок следует считать не быстро восстанавливать.

По этой причине, как показано в главе 4, расход воздуха через ВП определяется с учетом указанных обстоятельств. Количество воздуха $Q_{\text{вп}}$ влияет на определяемые параметры ГО, при этом зависимости, подобные выражениям (6.6) и (6.7), рассматриваются как проверочные.

Учитывая, что форма и конструкция ГО по параметру СВП принимаются произвольными, надо исходить из распределения $Q_{\text{вп}}$ по зонам, через которые воздух выходит согласно зависимости вида

$$Q_{\text{вп}} = E_{\text{го}} \mu_{\text{кв}} t_{\text{в}} \Pi \sqrt{\frac{2P_{\text{п}}}{P_{\text{бвг}}}} \quad (6.8)$$

в предположении, что

$$(Q_{\text{вп}})_{\Sigma} = \sum_i (Q_{\text{вп}})_i,$$

где $(Q_{\text{вп}})_i$ - участок параметра протяженностью Π_i с идентичным по длине ГО, что, например, для ГО 1 типа выражается обычно в выделении зоны, включающей бортовые участки и участок носового закрутки, и зоны кормового ГО.

У каждой из этих зон в зависимости от таких параметров, как $\theta_{\text{го}}^{\text{в}}$, $t_{\text{в}}/h_{\text{в}}$, $t_{\text{в}}/b_{\text{в}}$,

согласно выражениям, приведенным ранее, определяется $(\mu_{\text{кв}})_i = (E_{\text{го}})_i$.

Учитывая, что величина $t_{\text{в}}$ при выбранном ранее $Q_{\text{вп}}$ является неизвестной, ее можно найти методом последовательных приближений:

$$t_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{вп}}}{\sum_i (E_{\text{го}})_i (\mu_{\text{кв}})_i \Pi_i \sqrt{\frac{2P_{\text{п}}}{P_{\text{бвг}}}}} \quad (6.9)$$

Если численное значение $t_{\text{в}}$ огорожено значением, то возникает лишь проблема проверки соответствия выбранного из условий мореходности $Q_{\text{вп}}$ и суммарного значения $\sum_i (Q_{\text{вп}})_i$.

На следующем этапе необходимо обеспечить распределение воздуха, поступающего от вытеснителя в ВП через зоны или отверстия из воздушных гибких расширов периферийного и секционированного ГО. Истечение воздуха из периферийного гибкого воздушного расшира (см. рис. 8.19) может происходить или отдельно в каждый НЭ, или прямо в ВП. Скорость истечения воздуха, выходящего из воздушного расшира с избыточным давлением $P_{\text{р}}$ в область ВП, определяется выражением

$$v_j = \sqrt{\frac{2(P_{\text{р}} - P_{\text{в}})}{P_{\text{бвг}}}} \quad (6.10)$$

Коэффициент истечения μ_j через отверстие или щель можно найти в [66], как для случая истечения жидкости (газа) при внезапном сужении и последующем расширении.

Так же может производиться оценка истечения воздуха в открытые НЭ из гибкого воздушного расшира секционированной области ВП ГО, если задатка какого-либо такого элемента

производится через индивидуальные патежные отверстия или щели.

У ГО 1 типа, как правило, производится распределение всего поступающего от нагнетателя теплого количества воздуха Q_n по отдельным

зонам с установленными планками распределения воздуха. Так, заплата области ВП через щели или отверстия гибкого ресивера в районе бортов и носового закругления предполагает распределение от 60 до 80% от общего значения Q_n ; через оксигенировочные элементы

15...20% и через корневое ГО - от 5 до 20%. Такой подход кроме поддержания формы поступающих частей ГО требует равномерности поступления воздуха от нагнетателей по всей области ВП, дает избыточное давление одинаковым по всей площади ВП и исключает или смягчает наклонение судна после прохождения "волнового перелома".

Зная Q_j , μ_j и U_j , можно определить суммарное проходное отверстие F_j ,

$$F_j = \frac{Q_j}{\mu_j U_j} \quad (6.11)$$

через которое воздух из ресивера выходит в ВП и затем, разделив его на количество отверстий m_j , пропорциональное числу попеременно работающих НЗ, найдем $f_j = F_j / m_j$ - проходное сечение каждого из них. ВП отверстия по рассмотренному участку.

§ 6.5. Принципы обеспечения и расчета формы ГО

Важнейшей особенностью ГО как разновидности гибкой конструкции является возможность его формы с действующими нагрузками. Характерно, что ГО без нагрузок вообще не имеет установленной формы. Под формой ГО подразумевают те же геометрические характеристики, которые описывают эту податливую конструкцию в напряженном состоянии, т.е. имеют в виду форму, принимаемую ее под воздействием совокупности внешних нагрузок. Это особенно важно при изготовлении ГО, когда из эластичных материалов распределяются детали податливой конструкции и после совмещения их в законченное целое и приложения нагрузок предполагается получение такой напряженной формы, о которой шла речь.

Из всех рассмотренных типов наиболее распространение получили образцы, состоящие из изогнутого гибкого ресивера и напаянных оксигенировочных элементов. Наиболее сложной тип ГО отличается особой сложностью обеспечения его формы. остановимся на этом типе.

ГО есть конструкция, состоящая из предварительно напряженных гибких оболочек, работающих под действием внутреннего давления воздуха наибольший объем и способных сопротивляться только растягивающим нагрузкам. Устойчивость формы ГО, а следовательно и его жесткость тем выше, чем больше значение внутреннего давления воздуха внутри оболочки.

Появление напряжений скатия, продольных изгибающих напряжений растяжения, приводит к потере формы ГО, сопровождающейся его складыванием, образованием складок и морщин.

Наклоны форм ГО могут быть вызваны или внешними силами (воздействием, или деформациями материала (удлинение, усадка, сдвиг),

или местными изломами поверхности ГО. Наиболее значительными являются последние причины, поскольку приводят к большим концентрациям напряжений, вызывают расслоения, разрывы материала и разрушение оболочечных слоев.

В основу расчета положены методы безмоментной теории оболочек. При этом исходят из ряда следующих допущений:

- деформации материала считаются пренебрежимо малыми, а материал абсолютно гелем, не обладающим изгибной жесткостью, невесомым. Последнее связано с тем, что в вершинной плотности материала $1...4 \text{ кг/м}^2$, избыточные давления внутри оболочки достигают значений $3...7 \text{ кПа}$ ($\sim 300...700 \text{ кгс/м}^2$);

- хотя ГО обычно функционирует в динамических условиях силовых воздействий, расчетные оценки форм и напряжений базируются на рассмотрении статического или квазистатического напряженного состояния, что, означая упрощенную расчетную схему, приводит к некоторым погрешностям;

- при исследовании формы ГО рассматриваются его поперечные сечения, нормальные к плоскости, включая ГО при его изгибном растяжении несомой гибкой нитью, нагруженной постоянными и равномерно распределенными континуальными давлениями (сводя все решение к плоской задаче). Все это оправдано, если пренебречь касательными составляющими внешних нагрузок, которые могли бы привести к искажению формы, задаваемой гибкой нитью;

- упрощения равновесия, позволяющие описать форму ГО, относятся к конечному напряженно-деформированному состоянию оболочки, которому соответствуют геометрические характеристики, входящие в уравнения. Совокупность внешних и внутренних нагрузок соответствует размерам ГО в конечной форме оболочки.

Перечисленные допущения, безусловно, согласуются с значительной идеализацией расчетных схем и условий нагружения.

Определение напряженного состояния гибкой оболочки под действием распределенного нормального (радиального) давления воздуха является основой расчета прочности ГО.

Рассмотрим схему расчета формы гибкого ресивера, пренебрегая влиянием внешнего оптического, как показано на рис.6.26. Здесь рассмотрены усилия, возникающие из-за наличия давления в ресивере P_p , зависит от величины радиуса R_z , которым определяется форма и размер ГО:

$$T_z = P_p R_z. \quad (6.12)$$

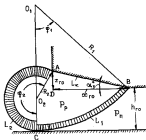


Рис.6.26. Схема для расчета формы осесимметричного надувного гибкого ресивера

Это подтверждает то, что член $\frac{R_2}{R_1}$ кривоизогнуто, а соответственно P_p и R_2 .

более прочные материалы необходимы для изготовления ГО. Выражение (6.12) основывается на условии рассмотрения резерва как тонкостенной оболочки бесконечной длины, находящейся в условиях плоского напряженного состояния. На участке гибкого резерва, где действует избыточное давление воздуха ($P_p - P_n$), величина растягивающего усилия определяется выражением

$$T_1 = (P_p - P_n) R_1. \quad (6.13)$$

Из условия равновесия рассматриваемого элемента ГО в точке сопряжения радиусов R_1 и R_2 должно быть равенство растягивающих усилий $T = T_1 = T_2$.

Выше говорилось, что в расчетах ГО упругие деформации, вызываемые избытком оболочки или растягивающими усилиями под действием избыточного давления воздуха, пренебрегаются. Используя выражение (6.12), можно показать, что если, например, для английской СВП SRN*4 $P_p = 3,02 \text{ МПа}$, $R_2 \approx 0,9 \text{ м}$, то

максимальное растягивающее усилие в материале ГО $T_2 = 3,53 \text{ кН/м}$. Сам материал имеет прочность на разрыв $1,98 \dots 2,94 \text{ кН/см}$, что почти на 2 порядка выше величины T_2 , поэтому ожидаемые деформации действительно оказываются пренебрежимо малыми.

Используя выражения (6.12) и (6.13), можно получить взаимосвязь радиусов R_1 и R_2 , необходимую для расчета формы ГО, включая этого гибкий наддувной резерв:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{K_p - 1}{K_p} = \xi_K. \quad (6.14)$$

Таким образом, форма ГО в рассматриваемой упрощенной постановке, определенная заданным значением коэффициента давления K_p

и представляющая собой сочетание двух цилиндрических поверхностей, должна обеспечивать необходимую высоту корпуса и сохранять заданный диаметр сечения ограждения жесткую обшивку длиной L_K , которая зависит от

высоты так называемой баз крепления (вертикальной $x_{го}$ и горизонтальной $x_{гг}$) гибкого ограждения на жестком корпусе (точки А и В на рис.6.26). Значения $x_{го}$ и $x_{гг}$, как показано ранее, определяют устойчивость формы ГО с точки зрения предотвращения низкочастотной вибрации и затухания его под корпус под воздействием внешних сил при контакте нижних концов ограждения с поверхностью воды.

Горизонтальную и вертикальную базы крепления гибкого резерва на жестком корпусе рекомендуется принимать в интервалах соотношений:

$$\frac{x_{го}}{x_{гг}} = 0,45 \dots 1,0; \quad (6.15)$$

$$\frac{L_{го}}{x_{гг}} = 1,75 \dots 3,5; \quad (6.16)$$

$$\frac{x_{го}}{B_n} = 0,13 \dots 0,20, \quad (6.17)$$

где $L_{го}$ — параметр поперечного сечения гибкого резерва.

С точки зрения устойчивости формы ГО при колебательных вертикальных движениях границы каждого из указанных интервалов.

Предварительно задавая форму ГО под корпусом сферический и фиксируя минимальное допустимое значение угла наклона α_p^* отрезка L_k , соединяющего точки А и В на жестком корпусе СВН, а горизонтальной плоскости, Ег называют углом раскрытия ГО. Рекомендуется назначать его, ориентируясь на условия $\alpha_p^* \leq 1$ (см. рис. 6.26).

В отечественной практике разработаны методы аналитического определения параметров определяющих форму гибкого резжера.

Если предположить, что известны (см. рис. 6.26) следующие значения P_p , P_n , L_{ro} , L_1 , L_k , которые позволяют найти K_p и E , то, введя обозначения: $L_{ro} = L_1 + L_2$; $C = L_1 / L_1 = L_1 / L_{ro}$; $b_1 = L_1 / L_{ro}$; $b_2 = L_2 / L_{ro}$; $d = L_k / L_{ro}$, решая задачу определения φ_2 с помощью transcendentalного уравнения [87]:

$$\frac{d E_K \varphi_2}{2 L_1} = \sin^2 E_K \frac{C \varphi_2}{2} + E_K \sin^2 \frac{\varphi_2}{2} + 2 E_K \sin \frac{\varphi_2}{2} \sin E_K \frac{C \varphi_2}{2} \cos \frac{\varphi_2 (1 + E_K C)}{2}, \quad (6.18)$$

которая устанавливает связь геометрических параметров заданного резжера (независимой переменной является φ_2).

После его решения можно найти угол φ_1 :

$$\varphi_1 = E_K C \varphi_2. \quad (6.19)$$

Искомые радиусы:

$$R_1 = \frac{L_1 L_{ro}}{\varphi_1}; \quad R_2 = \frac{L_2 L_{ro}}{\varphi_2}.$$

Использование описанной схемы в проектной практике вызывает затруднения, ибо кроме P_p и P_n заданными являются обычно не длины участков гибкой нити L_1 , L_2 , а значения высоты h_{ro} и положение точек А и (или) В, зависящие от соотношения отрезков E_{ro} и $\bar{E}_{ro}$. С этой целью В.В.Климак [119], [79], используя уравнения (6.18) и геометрические зависимости рис. 6.26, получил систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_{ro} &= \frac{1}{\varphi_1 + E_K \varphi_2} [E_K (1 - \cos \varphi_2) - (1 - \cos \varphi_1)], \\ \bar{E}_{ro} &= \frac{1}{\varphi_1 + E_K \varphi_2} (\sin \varphi_1 - E_K \sin \varphi_2), \\ \bar{h}_{ro} &= \frac{1}{\varphi_1 + E_K \varphi_2} (1 - \cos \varphi_1). \end{aligned} \right\} \quad (6.20)$$

Здесь:

$$\bar{E}_{ro} = \frac{E_{ro}}{L_{ro}}; \quad \bar{x}_{ro} = \frac{x_{ro}}{L_{ro}}; \quad \bar{h}_{ro} = \frac{h_{ro}}{L_{ro}}.$$

Независимыми в (6.20) являются переменные φ_1 и φ_2 . 1-е и 2-е уравнения.

Решив систему уравнений (6.20), можно найти φ_1 , φ_2 , L_{ro} , R_1 , R_2 . В [119] даны номограммы, при помощи которых облегчается использование системы уравнений (6.20) для установления значений K_p , h_{ro} , $\bar{E}_{ro}$, E_{ro} .

Таким образом, даже для упрощенной формы ГО аналитический метод ее расчета пред-

ставляет задачу чрезвычайно сложную и трудную.

Использование многослойных гибких резинеров за счет наличия пронашиваемых диафрагм или оттяжек (см. рис. 8.2) еще более усложняет схему расчета их формы, поскольку увеличивается число неизвестных, что, естественно, затрудняет составление системы уравнений, подобной (8.20). Кроме дополнительного радиуса R_2 (рис. 8.27) необходимо знать длину

угон установки образующей второй яруса гибкого резинера диафрагмы (оттяжки) α_2^* . По этой причине здесь использует не аналитический, как для одноярусного гибкого резинера, графоаналитический метод, в котором форма ГО определяется в нескольких приближениях совокупностью расчетов и построений [119], [78], [51].

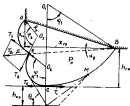


Рис. 8.27. Схема ГО для расчета формы двухярусного надвального гибкого резинера

В этом случае заданными обычно считаются коэффициент перепада давлений K_p , положение точек E, C , а также точек A и (или) B , что и позволяет находить условия натяжения диафрагмы T_A (как диагональ параллелограмма со сторонами T_2 и T_3). Условия натяжения T_2 и T_3 (зависят) пропорциональны соответственно радиусам R_2 и R_3 (подобно см. [51]). Помимо, что этот метод (его применяют иногда и для разработки форм одноярусного гибкого резинера) может использоваться только при традиционном проектировании без элементов его автоматизации с помощью ЭВМ.

Наряду с охарактеризованными выше аналитическим и графоаналитическим методами расчета могут быть использованы численные методы расчета равновесной формы и напряженного состояния плоского контура поперечного сечения ГО [94], [79].

При тех же допущениях они представляют более полную информацию о форме и напряжениях в конструкциях ГО. Кроме геометрических параметров (радиус, угол, длина дуг) определяются натяжения и в самих полостях гибкого резинера, и в оттяжках или диафрагмах, учитываются влияние НЗ, приобретающиеся в ряде включенных методиках. В основе численных методов лежит составление системы уравнений, содержащей уравнения равновесия сил и моментов на сыпном элементе, а также уравнения равновесия для условных точек (выбираются точки A, B, M, K, E на рис. 8.27). Общее число необходимых уравнений системы зависит от числа ярусов манжета n и равно $(3n+4)$.

Решение такой системы уравнений осуществляется возможно только с помощью ЭВМ.

относительно ее положения для бортового сканья до уровня, соответствующего

$$\Delta z_{\text{гб}} = (0,5 \dots 1,0) h_{\text{гб}} \quad (6)$$

и сдвигать вперед на величину

$$\Delta x_{\text{гб}} = (1,0 \dots 1,5) h_{\text{гб}} \quad (6)$$

Носовой участок ГО и угловые участки местях перегиба бортовых секций в корме имеют двоякую кривизну, и в этих местах и баллируют растягивающие напряжения по в поперечных и меридиональных сечениях, как имеет место на бортовых участках и в носовой секции, а в горизонтальных сечениях что приводит к необходимости использовать здесь ГО круговой или эллиптической формы. В носовой секцииности с учетом вынужденных изгибов подпора и выноса вперед рулевой линии крепления полотно габаритного сдвига на величину соответственно $\Delta z_{\text{гб}}$

$\Delta x_{\text{гб}}$ построение выполняется, как при графическим способом [119].

После о формообразования носовых перегибо-расширенных элементов, следует отметить, что рисовая их плоскостью, параллельной к их наружной образующей (см. таб. 6.1) получим фигуру, образованную двумя параллельными плоскостями, расположенными одна другой на расстоянии b_0 , и соединенных двукривой поверхности с радиусом образующей окружности, равным $b_0/2$. Если с помощью начертательной геометрии проекции вертикально на плоскость этой фигуры с совмещенной на нее линией пересечения с ГО рисовать и с горизонтальной плоскостью, и фигурующей поверхностью окружности, и линией, и

проекциями заданной кривой НЗ, то удастся получить его выкройку (рис. 6.30). Также нанесены элементы (сегменты) по бортам и в носовой части периметра ВП сдвигаются и комбинированными.



Рис. 6.30. Выкройка носового элемента ГО

Соотношение высоты НЗ $h_{\text{НЗ}}$ и его ширины отражается на расходе воздуха из области ВП. Чем шире элементы ГО, тем больше расход воздуха, больше нагрузка на угол крепления НЗ к габаритному наддувному расширению, что может служить причиной закреплений конструкции этого угла крепления.

Уменьшения нагрузки на концы, к которому крепится НЗ, достигается увеличением и него отставки (см. рис. 6.28), характеризующей углом θ , а в результате, принятому согласно табл. 6.1 в ГО-80 "Колнообразная" вставка уменьшает нагрузку на конструкцию крепления элемента и позволяет несколько увеличить площадь ВП. Носовые элементы без такой отставки имеют отношение $h_{\text{НЗ}}/b_0 = 1,5 \dots 2,5$, а в английской

и американской практике использование вставок "Колнообразная" вставка уменьшает нагрузку на конструкцию крепления элемента и позволяет несколько увеличить площадь ВП. Носовые элементы без такой отставки имеют отношение $h_{\text{НЗ}}/b_0 = 1,5 \dots 2,5$, а в английской

и американской практике использование вставок "Колнообразная" вставка уменьшает нагрузку на конструкцию крепления элемента и позволяет несколько увеличить площадь ВП. Носовые элементы без такой отставки имеют отношение $h_{\text{НЗ}}/b_0 = 1,5 \dots 2,5$, а в английской

люцию СВП на волнении ΔR . Еще одно обстоятельство касается необходимости у НЗ танкера на ходу судна наклониться вдоль бортов в сторону кормы. Это увеличивает спецификационную высоту ГО, способствует увеличению расхода воздуха через образующиеся на участках притяжения одного элемента к другому отверстия над подстапельной поверхностью, что происходит из-за наклона нижней кромок элементов к горизонту.

Чем уже элементы, тем меньше образуется дополнительный площадь истечения воздуха из ВП.

Аналогично решается и проблема обеспечения формообразования и раскрытия ГО конусного типа, применяемых на французских СВП.

Для ГО конусного типа задачи их формообразования сводятся к положению следующих характеристик: соотношения совокупных площадей ВП, охватываемых наружным полотношлем $(S_n)_n$ и внутренними коническими элементами $(S_n)_a$; соотношения размеров пол внутренних конусов и наружным конусом t_{an} и t_{an} . Сюда относится также выработка рекомендаций по назначению угла конусности наружного полотноша в различных зонах периферии ВП.

Основываясь на опыте исследований французских специалистов, можно рекомендовать следующие:

$$\frac{(S_n)_a}{(S_n)_n} \approx 0,4 \dots 0,5; \quad (6.23)$$

$$\left| \frac{t_{an} - t_{an}}{h_{ro}} \right| \approx 0,03 \dots 0,05. \quad (6.24)$$

Углы конусности наружного полотноша (для внутренних конусов они приведены выше) различны для носа, борта и кормы и должны определяться:

$$(\beta^\circ)_{нос} \approx 25^\circ; (\beta^\circ)_{борт} \approx 15^\circ; (\beta^\circ)_{корма} \approx 5 \dots 10^\circ.$$

Особое значение имеет определение соотношения (6.24), с которым связаны такие свойства ГО рассматриваемого типа, как мореходность, сопротивляемость движению на волнонаклонном море, вертикальная жесткость. Увеличение t_{an} по сравнению с t_{an} делает накопление в муфты периферийного полотноша конусные конические элементы значительно более жесткими, а это приводит к увеличению показателей устойчивости и к росту дополнительного сопротивления движению на волнении из-за меньшей податливости ГО, что влечет за собой усиление влияния качки и увеличение динамических перегрузок. Все это вызывает необходимость регулирования величины отклонения (6.24) в его зависимости от условий эксплуатации.

Соотношения геометрических характеристик ГО области ВП 1У типа приведены на рис. 6.31,



Рис. 6.31. Геометрические характеристики ГО СВП 1У типа (в долях h_{ro}) при $h_{нос}/h_{кн}=1,28$

откуда можно получить рекомендации по раскраске материала для изготовления их ИЭ. Форма гибкого наддувного ресивера в зависимости от коэффициента K_p можно получить по тем же рекомендациям, которые касались ГО 1 типа.

§ 6.6. Оценка прочности ГО. Приемы ее расчета. Использование опыта проектирования и прототипов при выборе материалов ГО

Нестабильность физико-механических свойств композиционных эластомерных материалов, усугубляемая использованием клеев и прошивных швов, малопонятность внешних сил, действующих на конструкции ГО, значительная изменчивость характеристик материала от условий эксплуатации и воздействия внешней среды — все это является причиной затруднений в создании надежных расчетных методов для оценки прочности ГО. Показывается роль лабораторных исследований материала, отдельных узлов и всего ГО в масштабных и натурных стоянках и самолетах.

Проверка формообразования, прочности, ресурса ГО практически всегда осуществляется в условиях опытной эксплуатации создаваемого СЕП, как это имеет место в авиации. Безусловно, множества допущений и упрощений расчетных схем в совокупности с выделенными факторами вызывает необходимость включения в расчеты прочности ряда коэффициентов запаса, которыми предполагается компенсировать эти неточности [87], [180].

Суммарный коэффициент запаса прочности K_E можно представить в виде произведения:

$$K_E = K_1 K_2 K_3 K_4, \quad (6.25)$$

где $K_1 = 1,1 \dots 1,4$ — коэффициент, учитывающий снижение прочности материала при двухосном растяжении;

$K_2 = 2,0 \dots 3,6$ — коэффициент, компенсирующий неучет динамического характера нагружения;

$K_3 = 1,1 \dots 3,3$ — коэффициент, учитывающий снижение прочности материала в процессе эксплуатации;

$K_4 = 1,0 \dots 2,9$ — коэффициент, учитывающий нестабильность прочностных характеристик материала из-за его неоднородности.

Приведенные коэффициенты соответствуют опыту натурной эксплуатации и лабораторных испытаний. Диапазон изменения коэффициента K_E так велик потому, что опыт изготовления и эксплуатации материалов ГО и по объему, и по применению чрезвычайно ограничен.

Условие прочности материала оболочки при обрете имеет вид

$$\sigma_{из} K_E T \leq [T], \quad (6.26)$$

где T — наибольшее натяжение в оболочке в рассматриваемом расчетном случае; $[T]$ — предел прочности на разрыв при его одноосном статическом нагружении (по основе или по утку).

Предполагая методику расчета напряженно-деформированного гибкого ресивера исходит из определения кольцевых натяжений T без учета влияния ИЭ, что учитывается коэффициентом $C_{из}$. Это вносит определенную погрешность, которая как раз и компенсируется введением дополни-

тального практического коэффициента; значения тем больше, чем выше отношение $h_{из}/h_{го}$, применяемое у современных ГО: $h_{из}/h_{го} = 0,8...1$.

Упомянутый коэффициент по опыту испытаний следует выбирать из диапазона $C_{из} = 1,0...1,5$.

В настоящее время уже разработаны методы определения кольцевых натяжений на ГО, в расчетную схему которого сразу вводятся НЗ [97], [119], тогда $C_{из} = 1,0$.

В оценках прочности рассматривается ряд основных расчетных случаев нагружения оболочки, для которой каждый раз предварительно определяется равновесная форма и действующие на нее нагрузки.

Рассматривая напряжение (6.26), можно сделать вывод, что расчет гибкого резерва прочности выполняется по наибольшей из величин растягивающего усилия T путем сравнения его максимального значения с разрушающей нагрузкой $[T]$.

Постоянное нагружение оболочки испытывает под действием внутреннего давления воздуха на стоянке или при движении над ровной поверхностью, давления встречного потока воздуха, гидродинамических воздействий при движении ГО водой или при буксировке СВП в неподвижном положении.

Циклические нагрузки возникают при движении над волнистой поверхностью, когда ГО периодически ударяется о вершины волн, испытывает вертикальные ускорения, и когда давление в ВП колеблется по определенному закону (например, акустическому). При этом в расчетах должны рассматриваться два возможных варианта: объема ВП, или прекращение истечения из гибкого резерва, или полная потеря объема ВП от "волнового горения", в

ситуации, когда судно оказывается над подводной волной.

В качестве случайных могут рассматриваться нагрузки, возникающие в аварийных и чрезвычайных ситуациях. Это могут быть падение судна с борта, столкновение ГО со скалой, предположение рева или канавы и т.п.

Из сказанного следует, что специфика оценки прочности ГО состоит в том, что она является составной (или дополняющей) алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния мягкой оболочки, находящейся в равновесном состоянии с сохранением формы под действием внешних сил, соответствующих условиям расчетного случая нагружения.

Это означает, что сравниваемое с допускаемыми величинами растягивающих натяжений в оболочке, восприимчивой нормально (радиально) давлению воздуха, зависит от параметров ее формы, что делает необходимым в первую очередь определение равновесного состояния формы оболочки.

Таким образом, расчет прочности ГО складывается из:

- определения внешних сил;
- расчета напряженно-деформированного состояния конструкции ограждения;
- нормирования прочности.

Говоря о внешних силах, нагружающих расчетный элемент (узел) гибкого резерва ГО, выделяет наиболее опасный эксплуатационный случай, создающий наибольшее растягивающее напряжение в гибкой нити.

Для режима плавания СВП над экраном без хода в качестве внешних нагрузок рассматривают среднее избыточное давление в ВП

$$P_n \approx G/S_n \quad (6.27)$$

и при определенном значении коэффициента запаса K_p давление в ресивере

$$P_R = K_p P_n. \quad (6.27)$$

Величина K_p (как и высота $h_{гг}$) может быть различной для бортовой, носовой кормовой секций ГО. В динамическом режиме эксплуатации на волнении наблюдаются значительные колебания избыточного давления P_n .

P_R , превышающие соответственно (6.27) (6.28) в 2...3 раза. В ВП давление может увеличиваться или из-за закупоривания ее волной, или из-за уменьшения ее объема при прохождении "волнового порыва", или из-за увеличения давления в гибком ресивере при его обжатии волной и т.п. В гибком ресивере избыточное давление может увеличиваться из-за закупоривания выходящих отверстий волной и продолжительным твердым препятствием, при сжатии ресивера волной и уменьшении при этом его объема и т.п.

Расчетное давление в ВП в подобном случае может быть оценено по результатам рекордных модельных экспериментов, из которых для расчета значения $(P_n)_{max}$ необходимо иметь значения вертикальных ускорений в центре тяжести.

$$(P_n)_{max} = (n+1) \frac{G}{3n}, \quad (6.29)$$

где $(n+1)G$ — значение вертикальной перегрузки в центре тяжести судна.

При отсутствии необходимых экспериментальных данных величину вертикальной перегрузки приблизительно можно оценить, используя выражение

$$(n+1)G = \sqrt[3]{1 + 1,25 \frac{B_n h_{гг} \left(\psi + \sqrt{\frac{g}{2\lambda}} \lambda_{вн} \right)^2}{Q_{ж}}}. \quad (6.30)$$

Здесь: B_n — ширина ВП, м; ψ — скорость хода судна, м/с; $\lambda_{вн}$ — длина расчетной волны, м; $Q_{ж}$ — суммарная производительность воздуходвигателей СВП, м³/с; $h_{гг}$ — высота расчетной волны, 3%-ой обеспеченности, м.

Все секции гибкого ресивера необходимо проверить на действия избыточного давления $(P_R)_{max}$ и $(P_R)_{max} = K_p (P_n)_{max}$.

Следует учесть, что максимальные значения "пиковых" величин P_n и P_R возникают в носовой секции ВП и зависят от соотношения длины волны $\lambda_{вн}$ и длины судна L_s , и от скорости хода. Амплитуды колебаний давления в носовой секции по отношению к таким же амплитудам в кормовой при $\lambda_{вн}/L_s = 0,5...1,5$ изменяются от $(\Delta P_n)_n / (\Delta P_n)_k = 1,2...1,5$ при $Fr_L = 0,3...0,5$ до $(\Delta P_n)_n / (\Delta P_n)_k = 4...5$ при $Fr_L = 1,0...1,4$.

При принятии "на столе" значений коэффициента давления $K_p = 1,3$ ко ходу на волнении может оказаться в диапазоне 2,3...1,1. Частота колебаний давления равна частоте прохождения волны.

Однако при движении к кормовой секции гибкого ресивера, кроме внешних сил, обусловленных действием избыточного давления в ресивере и в ВП (на такой воде это P_R и P_n , а не $(P_R)_{max}$ и $(P_n)_{max}$), могут быть добавлены касательные усилия гидродинамической

природы. Их распределение удобно представить равномерным по ширине ВП, а по длине — по закону треугольника с нулевой интенсивностью $q(x) = 0$ посредине длины L_a с максимальной интенсивностью $q(x) = q_{max}$ у крайней границы области ВП.

Максимальное значение интенсивности с учетом условий можно найти по формуле

$$q_{max} = \frac{R_{гдР}}{B_B + (L_a/2)}, \quad (6.3)$$

где $R_{гдР}$ — гидродинамическая составляющая сопротивления движению (зависит от вязкости т.п.), т.е. это фактически остаточное сопротивление.

Величину $R_{гдР}$ в предварительных расчетах обычно принимают из диапазона

$$R_{гдР} \approx (0,05 \dots 0,10) \text{ д.}$$

На волнении ограниченное движение в ВП означает меньше чем $(P_n)_{\text{д}} = 0$, что приводит к-за увеличения расхода воздуха из области ВП при прогибании профиля волны, что приводит к "проседыванию" судна, т.е. снижению его клиренса и к увеличению сопротивления движению змыва ГО. Наблюдается уменьшение значений ΣR на волнении, так что циклы в 2...3 раза превышают его средние значения на тихой воде, это следует учитывать при определении нагрузок на ГО q_{max} .

Одним из определяющих случаев для расчета напряженного состояния гибкого ресивера оказывается случай падения СВП с высоты n на поплавок, что при вертикальной нагрузке $(n+1) \text{ д}$ одновременно приводит

указанной потерей ВП. В этом случае податливая конструкция гибкого ресивера (рис.6.32)

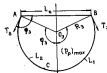


Рис.6.32. Схема для расчета прочности гибкого ресивера в случае указанной потери ВП (см. рис.6.33)

под действием давления $(P_p)_{max}$ приобретает цилиндрическую форму с радиусом R_3 , длиной образующей дуга $L_{гг}$ и жесткой оставшей в воде отрезка AB (см. также рис.6.26).

Длина дуга $L_{гг}$ определяется ранее (согласно рис.6.26) и складывается из дуг $L_{гг} = L_1 + L_2$.

Необходимо определить R_3 и φ_3 . В соответствии с рис.6.32 величина угла φ_3 может быть найдена при помощи трансцендентного уравнения

$$\frac{\sin \varphi_3}{\varphi_3} = \frac{L_{гг}}{L_{гг}}. \quad (6.32)$$

Решить его или воспользоваться для получения φ_3 результатами решения, представлен-

Вывод на рис.6.33, можно определить максимальный радиус

$$R_3 = \frac{L_{\text{св}}}{2\varphi_3}, \quad (6.32)$$

позволяющий вычислить полезное напряжение, приходящее для этого выражения

$$T = (P_p)_{\text{max}} R_3. \quad (6.33)$$

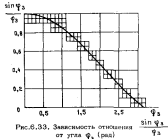


Рис.6.33. Зависимость отношения $\frac{\sin \varphi_3}{\varphi_3}$ от угла φ_3 (рад)

Кормовую секцию ГО в этом случае необходимо проверять не только на действие растягивающих напряжений от избыточного давления $(P_p)_{\text{max}}$, но и на дополнительное нагружение касательными усилиями Q_{max} согласно формуле (6.31). Наилучшим будет указать сложную величину (6.34) и Q_{max} .

В зарубежной практике для проверки материалов ГО чаще всего используются эмпирические методы, базирующиеся на опытах

с образцами и результатах лабораторных экспериментов. Так, в [160], [78] приводятся исследования в США зависимости для растягивающих усилий в материале ГО:

$$[T] \geq 3P_0 K', \quad (6.35)$$

где K' — общий коэффициент запаса прочности на усталостный износ, его значение рекомендуется принимать 10...20.

Приведенная методика расчета прочности ГО может быть рассмотрена как оценка его общей прочности.

Местная прочность ГО, т.е. прочность его узлов и соединений, носит еще более приближенный характер, ибо кроме нестабильности свойств материалов, несовершенства технологии изготовления и самих материалов, в конструкциях ГО, здесь значительно сложнее плавно перейти к созданию физических моделей, отражающих условия работы отдельных элементов, узлов, соединений.

Как правило это компенсируется введением эмпирических поправочных коэффициентов и коэффициентов запаса. Так, например, учет поперечной, вращательной выработки (пятиугольные отверстия или щели) для прохода воздуха из габаритного размера в НЗ и в ВП, должен разрабатываться с учетом снижения его прочности. Ввиду наличия этих вырезов, Проверка прочности проводится в месте выреза с учетом, например, дублирования материала, изготовления усиленных соединений по периметру отверстия определяется выражением

$$[T]_x = (0.5 \dots 0.7) \left(\sum_i [T]_i \right), \quad (6.36)$$

где $\sum_i [T]_i$ — суммарная предельная нагрузка расчетного конструктивного узла,

При оценке прочности сварных элементов ГО основные воздействия следует определять, исходя из того, что живые кромки, контактирующие с возмущенной поверхностью моря, испытывают инерционные воздействия, вызываемые вертикальными перегрузками, которые в предельных режимах движения судна над sinusoidalной волной могут быть оценены исходя из выражения

$$a_z = 2\pi^2 \frac{h_{\text{ван}}}{\lambda_{\text{ван}}}^2 \left(v + \sqrt{\frac{g \lambda_{\text{ван}}}{2\pi}} \right)^2, \quad (6.37)$$

где a_z — вертикальное ускорение, м/с^2 .

На волнении, характеризующим параметрами $h_{\text{ван}} = 2 \text{ м}$, $\lambda_{\text{ван}} = 40 \text{ м}$, при скорости хода 30 уз согласно (6.37) будет возникать перегрузка $\sim 3,8g$, а на короткой волне при $h_{\text{ван}} = 2 \text{ м}$, $\lambda_{\text{ван}} = 20 \text{ м}$ для той же скорости ускорения достигнут уже $\sim 13,3g$. Подчеркивают [165], что ускорения могут быть $\sim 100g$.

Вместе с этим потеря прочности материала открытых НЗ связана с так называемой "флатуляцией" их свободных краев (см. рис.6.3). "Флатуляция" (попалкание) в сочетании срывом воздушного потока также сопровождается высокочастотными колебаниями и, следовательно, высокими значениями перегрузок. [139] отмечают, что на живых краях сварных элементов ГО величины перегрузок могут достигать значений $\sim 3000g$ при колебаниях кромки с частотой до 200 Гц.

Эти значения, зависящие от скорости движения судна относительно поверхности воды от величины избыточного давления воздуха области ВП, которые определяют скорость движения, были зафиксированы на миниатюрных датчиках ускорений, укрепленных на жест-

ких сварных элементах. На рис.6.34 приведены результаты экспериментов, подтверждающие, что "флатуляция", вызывающая быстрое установившее разрушение материала элементов ГО, характерна для скоростей движения более 30 уз в случае высоконагруженных СВП.

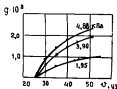


Рис.6.34. Зависимость перегрузок на свободной деформированной кромке НЗ ГО в функции от скорости движения и давления в ВП (результаты эксперимента)

В заключение приведем некоторые статистические данные, позволяющие получить приблизительные количественные характеристики приемлемые для ГО материалов.

Если известна безразмерный коэффициент нагрузки материала ГО, учитывающий влияние поперечной плотности применяемого конструктивного материала $G_{\text{го}}$ (кг/м^2) и характерное значение P_n (Н/м^2), определяющее фаталитическую нагрузку в материале

$$\bar{G}_{\text{го}} = \frac{G_{\text{го}} g}{P_n}, \quad (6.38)$$

то для большинства современных материалов, используемых на СВП, его значение находится обычно в интервале

$$\bar{\sigma}_{r0} = 0,008 \dots 0,012. \quad (6.3)$$

Прочностные характеристики используемых материалов не определяются только его поверхностной плотностью. Если прочность на разрыв прямо пропорциональна поверхностной плотности армирующей ткани, как показали испытания в США [164] (рис. 6.35), то прочность на разрыв не может быть охарактеризована логичной линейной зависимостью. Значительную роль играют соотношение показателей прочности на разрыв по основе и по утку от напряжения действующего усилия, от типа плетения, что влияет и на адгезионные свойства применяемого материала.

В конечном итоге возникающие в материале ГО напряжения вызываются сложной комбинацией растягивающих усилий от статического давления воздуха и от ускорений, возникающих от шаго- и высокочастотной вибрации и

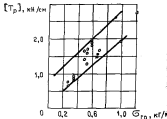


Рис. 6.35. Прочность материала ГО на разрыв $[T_p]$ в зависимости от поверхностной плотности армирующей ткани

контактов с возмущенной поверхностью воды и (или) твердыми препятствиями на суше.

Исходя из моделирования действующих в материале гибкого ленточного реснора напряжений, можно установить, что она (см. § 6.5) является пропорционально квадрату масштаба m^2 . Прочность на разрыв основы материала ГО (см. рис. 6.35) пропорциональна его поверхностной плотности, и при допущении устойчивой адгезивности облицовочных слоев можно считать, что поверхностная плотность материала должна масштабироваться пропорционально m .

Исследования данных по английским и американским СВП, приведенные в [165], позволили установить рекомендуемые значения поверхностной плотности комбинированного материала σ_{r0} (кг/м²), который может быть использован для изготовления гибкого реснора:

$$\sigma_{r0} \approx 0,5 D_n^{1/3}, \quad (6.40)$$

где D_n - полная масса СВП, т.

Моделирование поверхностной плотности, как и разработка численных рекомендаций, подобных выражению (6.40), подразумевает использование комбинированных синтетических волокон, идущих на изготовление лент, из которых затем изготавливается ткань.

Действительно, разработка новых материалов может внести существенные коррективы и в качественные, и в количественные рекомендации, обсуждаемые здесь.

Исследованиях жесткости СВП показали, что предпочтительнее и гибкий реснор, и сильные элементы изготавливать из одинакового материала с минимально допустимой жесткостью при изгибе. При этом на практике предпочтительнее отбрасывать материалы, обладающие большой пластичностью, т.е. тканям с более высоким по-

теплым. Это способствует и лучшей адгезии окладочных слоев, и большей гибкости полученного материала. При пылении на поверхности сопровождающиеся разрастанием спортивными, ГО должно обладать сильной способностью, что возможно только, если гибкая жесткость материала расклевки делает его подобным резины. Этот путь снижения сопротивлением движению на поверхности значительно более эффективен, чем увеличение расхода воздуха $Q_{\text{в}}$ (см. главу 3).

1.6.7. Материалы для ГО

Учитывая условия эксплуатации ГО, к материалам, из которых они изготавливаются, предъявляют очень жесткие требования. Материалы ГО относятся к типу эластомеров, неоднородных, композитных и включают в себя обычно армирующую основу, на которую с обеих сторон наносится окладочный материал, обладающий эластичностью, непрозрачностью, эластичностью, от воздействия окружающей среды, и, в частности, от влаги и истирания.

Обладательный материал (эластомер) соединяется с упрочняющей тканью при помощи специального адгезива (функциональной прокладки), который не должен уменьшать эластичности полученного композитного материала (рис.6.36). Основные требования, предъявляемые к материалам ГО:

- высокая прочность;
- сопротивляемость разрыву при разрывах о препятствия;

- износостойкость;
- высокая прочность связи между армирующей и окладочными материалами;
- износостойкость;
- эластичность;
- малая плотность.



Рис.6.36. Схема соединения слоев композитного эластичного материала, применяемого для изготовления ГО СВВ: 1 - армирующая ткань, прокладочный материал; 2 - прокладочный слой (функциональная прокладка); 3 - разрывный слой

На момент создания первых ГО ни один из материалов, выпускавшихся промышленностью, не удовлетворял в полной мере перечисленным требованиям, но вскоре стало очевидным, что наиболее приемлемыми оказались композитные материалы, где в качестве армирующей основы используются синтетические ткани, а для окладочных слоев - различные виды резины и т.д.

Армирующая ткань считается из сильно закрученных нитей по типу рогожки или по типу полотна, в результате чего получается существенно меньшая или большая плотность материала. Синтетическая ткань, обладающая эластичностью, прочностью, износостойкостью, отличается анизотропностью по основе и по утку, что следует учитывать при раскрое тканей и изготовлении различных деталей ГО. Многие ткани, применяемые в качестве прочностной основы, имеют тенденцию к усадке при тепловых воздействиях.

* Адгезия (от лат. adhesio) - прилипание.

ствиях, которым в себя, и материалы ГО часто подвергаются неодноразово в процессе изготовления материала и при изготовлении конструкций ГО (сушка, калибрование, укатывание). Такая усадка может достигать до 15%, что следует учитывать при обеспечении необходимой точности размеров ГО. Типы перемычек и сетей армирующей ткани определяют некие свойства всего материала ГО, особенно адгезионные. Наличие точек в ткани (между нитями) дает возможность получить равномерное распределение по площади материала соединений обочабочных слоев покрытия. Прочность композитного материала ГО в значительной степени зависит от прочности отдельной обочабочной основы. Обочабочный материал (чаще всего натуральный латекс, полиуретан, неопрен, нитрополиэтиленоксид и т.п.) должен иметь высокие сопротивление истиранию, не обладать склонностью к механической деформированности, а именно, быть эласто-, термо- и морозостойким, не подвергаться набуханию в морской воде, негативному воздействию нефтепродуктов.

Расхождение материала ГО происходит, в первую очередь, из-за установившихся процессов на границах раздела слоев и, во-вторых, из-за набухания (водопоглощения), которое приводит к снижению прочности связи армирующей ткани обочабочными слоями на (25...30)% при одностороннем увеличении массы Г. Набухшая адгезионная обочабочная материал из натуральной резины (чистой или смеси с синтетическими добавками). Изготовленные прозрачные материалы (см. рис. 6.3-6) не имеют прочности армирующей ткани специально сшитыми (латексами), закрытые ее адгезионными слоями и калибрование, т.е. двухстороннее сжатие с одновременной укатыванием с той резаны на специальных вальцах. Прочность тканей латексных составов в зарубежной

специальной практике является одним из самых распространенных способов повышения прочности связи нитей ткани с обочабочными слоями резины, либо способствует появлению не только механической, но и химической связи между слоями в материале ГО.

Качественными и количественными характеристиками применяемых для изготовления материалов ГО тканей являются:

- ширина;
- длина в узле;
- поверхностная плотность (масса 1 м^2);
- плотность по основе и утку;
- толщина;
- прочность на разрыв по основе и утку;
- растяжимость при стандартной нагрузке;
- эластичность.

Прочность тканей по основе и по утку определяется числом нитей соответственно основы и утка на отрезке 100 мм.

К важнейшим физико-механическим характеристикам материалов ГО относятся:

- прочность на разрыв (Н/см) - определяется на образце, изготовленном в виде полосы, шириной 50 мм и длиной рабочего участка 200 мм, не даются в виде отношения разрывной нагрузки к 1 см ширины образца;
- сопротивление разрыву (Н) - величина разрывной нагрузки, вызвавшей разрушение образца;
- показатель надрыва (надрыв) - прочность связи между обочабочными материалами в армирующей ткани при разрыве (Н);
- растяжимость (удлинение) ткани при разрыве (%) в виде отношения приращения длины рабочего участка к моменту разрыва образца к первоначальной длине рабочего участка;
- морозостойкость - способность материала сопротивляться разрушению при циклическом замораживании и оттаивании, а также сохранению

работоспособности при отрицательных температурах:

- старение - самопроизвольное изменение свойств, наблюдающееся при хранении или эксплуатации материала, стойкость в различных средах;

- набухание в различных жидкостях - изменение объема, размеров и физических свойств материала при длительном нахождении в жидкостях;

- стойкость материала к высокоскоростной гидроструе;

- "флатовый эффект" - отношение массы разрушения материала ко времени его нахождения в динамической воде-воздушной среде;

- вод- и воздухопроницаемость $\text{см}^3/\text{см}^2$.

Для современных и перспективных АСВ как показывает отечественный и зарубежный опыт требуются материалы, имеющие следующие количественные характеристики перечисленных свойств:

- способность выдерживать перепады давления от 1 до 12 кПа;

- прочность при разрыве (1,0...5,0) кН/см в перспективе до (7...10) кН/см;

- прочность материала на разрыв (600...5000) Н/см;

- равномерность по осевому и угловому;

- прочность связей ткани с облицовочными слоями при отслаивании (адгезионная прочность 80...120 Н/см);

- относительное удлинение при разрыве более 50%;

- способность выдерживать перепады температуры от -50 до +50°C;

- способность материала выдерживать в течение циклических пульсирований и статических нагрузок с частотой от 2 до 30 Гц;

- совокупные свойства материалов должны обеспечивать ресурс изготавливаемых ГО в пределах

1000...2000, а в перспективе до 5000 часового времени по всем компонентам ГО.

Относительные требования можно объединить в табл.8.3.

Типы А, Б, В можно рассматривать как промежуточные для нижних компонентов (НЗ) ГО, а типы В, Г, Д и Е - для верхних конструкций (губки размером) ГО.

Пример использования материалов для ГО приведен в табл.8.2.

Данные по отечественным материалам объединены в табл.8.4 [111].

Данные табл.8.2-8.4 показывают, что поверхностная плотность применяемых материалов (1,0...4,0) кг/м². Таковая основа при этом составляет (30...40)%. Так, например, для ГО СВН SRN[®]6 использовался материал, поверхностная плотность которого 1,37 кг/м², тканевая основа составляла 0,41 кг/м²; на SRN[®]4M соответственно: 2,91 кг/м² и 0,88 кг/м² (для губки размером) и 4,8 кг/м² и 1,03 кг/м² (для сплошной пленки ГО).

Долговечность, надежность ГО, связанные с адгезионными и прочностными свойствами материала, который, имея сложную структуру, зависит от свойств нитей армирующей ткани, от способа плетения нитей в ткань, от типа и качества облицовочного материала. Так, для нижних компонентов ГО в особенно для сплошной пленки предпочтительно использовать материалы, имеющие в качестве покрытия натуральную резину, которая обладает лучшими адгезионными свойствами по сравнению с синтетическими резинами, например неопрен, обладающий, напротив, меньшей герметичностью. Очень хорошо зарекомендовали себя в качестве покрытия применяющиеся в США полиамиды, но они имеют существенный недостаток: растрескиваются при низких температурах.

Характеристики материалов
спроектированных

Характеристики материала и условия его эксплуатации (судно)	Размер- ность	Нормативные СВП			
		ДЕРРА		ДЕРРВ	
		ГР ¹ СЗ ²	ГР	ГР	СЗ
Максимальная скорость хода СВП	уз	30	30	30	30
Давление в ВП	кПа	4,87	5,20	5,20	5,25
Прочность на разрыв	кН/см	$\frac{1,67^{(3)}}{1,38}$	$\frac{1,57}{1,58}$	$\frac{0,97}{0,75}$	$\frac{2,21}{2,38}$
Удлинение при разрыве	%	$\frac{40}{60}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{40}{60}$
Прочность на разрыв	кН	$\frac{0,330}{0,401}$	$\frac{0,289}{0,400}$	$\frac{0,232}{0,222}$	$\frac{0,58}{0,60}$
Адаптивная прочность	кН/см	$\frac{0,308}{0,306}$	$\frac{0,106}{0,106}$	$\frac{0,106}{0,106}$	$\frac{0,106}{0,106}$
Поверхностная плотность	кг/м ²	1,69	2,37	1,98	3,05
Тип покрытия	-	Натри-полиэтиленовый	Натри-полиэтиленовый	Натри-полиэтиленовый	Натри-полиэтиленовый
Тип армированного материала	-	Нейлоновая сетка	Нейлоновая сетка	Нейлоновая сетка	Нейлоновая сетка

¹ Пейбей ресинг.

² СЗ - съемные элементы.

³ Арметиком СВП.

⁴ В числителе (длина и диаметр) - характеристики по длине, в знаменателе - по утол.

Таблица 6.2

использованных на построенных и
американских СВП

Нормативные СВП			
АСВП-А N D _н = 170г	АСВП-В D _н = 170г		АСВП-С D _н = 540г
ГР СЗ	ГР	СЗ	ГР СЗ
30	81	31	98
4,53	3,88	3,88	6,71
$\frac{1,23}{1,23}$	$\frac{2,95}{3,08}$	$\frac{1,84}{2,35}$	$\frac{2,68}{1,69}$
-	$\frac{30}{30}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{48}{48}$
$\frac{0,445}{0,445}$	$\frac{0,445}{0,445}$	$\frac{0,401}{0,401}$	$\frac{0,527}{0,521}$
$\frac{0,09}{0,09}$	$\frac{0,372}{0,121}$	$\frac{0,108}{0,138}$	$\frac{0,372}{0,182}$
-	3,74	4,86	2,95
Натуральный каучук	Нейлон, полипропилен, бутадиян	Полипропилен, бутадиян	Натуральный каучук, бутадиян
Нейлоновая сетка	Нейлоновая сетка	Полиэстеровая сетка	Нейлоновая сетка

Количественная оценка характеристик материалов, пригодных для создания ГО с применением СВЧ

Основные характеристики	Размеры	Численные значения характеристик					
		Табл					
		A	B	B	Г	Д	E
Прочность на разрыв	кН/см	0,5...0,8	0,8...1,0	1,2...1,4	1,6...2,0	2,0...4,0	5,0...6,0
Удлинение при разрыве	%	20...30	20...30	20...30	20...30	20...30	20...30
Адекватная прочность (при стандартной обработке)	Н/см	120	120	120	120	120	120
Прочность на изгиб	кН	0,5...0,8	0,8...1,0	1,2...1,4	1,6...1,8	2,0...2,2	2,6...3,2
Поверхностная плотность	кг/м ²	1,0	1,3	1,5	2,0	3,0	3,5

Характеристики ряда отечественных радиотехнических материалов ГО

Характеристики материала	Марка материала			
	1023	31-100	31-101	1378
Марка контрольной стали	ТК-80р-1	ТК-120р-1	ТК-160р-1	ТК-270р-1
Масса 1 м ² , кг	± 2,4	± 3,0	± 3,5	± 4,3
Толщина, мм	1,8 ± t _н ± 1,5	2,4 ± t _н ± 2,1	2,9 ± t _н ± 2,5	3,8 ± t _н ± 3,2
Прочность на разрыв по оси, кН/см	≥ 0,784	≥ 1,18	≥ 1,57	≥ 2,04
Удлинение при разрыве по оси, %	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50

Разрушение материала ГО от силового воздействия в шиболойной стенке носит устойчивый характер. Это, с одной стороны, связано с систематическими ударами о препятствия, вершины волн, а, с другой - с высокочастотной вибрацией, которой подвергается ненапряженные участки ограждений. В результате местах постоянных изгибов материала (концентраторы напряжений) появляются устойчивые трещины, в которые проникает вода и присутствуют в воде нефтепродукты, начинается интенсивное нарушение алюминия, оголение арматурной ткани и последующее разрушение конструкции ГО.

Применяемые для изготовления ГО материалы проходят обширный комплекс лабораторных испытаний. Кроме статических испытаний (разрыв, раздар, температурные воздействия, воле- и эксплуатационные, водо- и воздухопроницаемость) проводятся также обширные исследования на устойчивость, выдерживание динамических воздействия внешней среды на образцы материала, отдельные элементы ГО и на всю конструкцию его в целом (рис.6.37). Создан

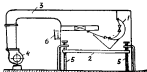


Рис.6.37. Крупномасштабный стенд для испытания образцов ГО: 1 - испытываемый образец; 2 - винт, обеспечивающий перемещение; 3 - воздуховод; 4 - электромагнитный привод; 5 - винтовая передача; 6 - водопроводный клапан

специальные стенды, позволяющие имитировать реальные условия эксплуатации: воздействие разлитых поверхностей, водных и воздушных струй. Длительность качества материала лучше всего проверяется на так называемых "флагеляторах", где образец подобен флагу на ветру обдувается свободным скоростным воздушным потоком [40], [165], [180]. Однако на одних из этих стендов не дает возможности предсказать ресурс ограждений, они дают скорее качественную, чем количественную оценку материалу на содействие.

Оценивая, что самой надежной будет экспериментальная проверка объекта исследования в реальных условиях службы суема. Это, однако, слишком дорого, так как требует выезда суема из коммерческой эксплуатации на длительный срок. Испытания в таком случае должны проводиться по специальной программе в разнообразных условиях, что возможно только на опытных объектах. Исследования материалов ГО в их совершенствовании позволило значительно повысить ресурс ограждений с доведением его до (10000...20000) ч для верхних элементов ГО (таблиц резервов) и до 500, а в некоторых случаях и более часов для элементов ограждения, находящиеся в постоянном контакте с водной поверхностью и подверженные воздействию высокочастотной вибрации. Это дает возможность связывать срок службы ГО со скоростью движения суема. При использовании суема и того же материала увеличение скорости движения в 2 раза приводит к снижению ресурса ГО в 10 раз [165]. Совершенствование материалов для ГО с целью повышения срока его службы есть источник повышения надежности СВП и снижения его эксплуатационных расходов, значительную часть которых составляют затраты на ремонт и замену ограждений

ВП. В частности, экспериментально исследована связь ресурса НЗ ГО со свойствами используемого для их изготовления материала. Удельно установлено [165], что срок службы материала возрастает с увеличением его поверхностной плотности до $3,4 \text{ кг/м}^2$, после чего он начинает снижаться. Это, очевидно, связано с увеличением роли инерционных сил, приводящих к разрушению сравнительно более тяжелого материала, что делает целесообразным изготовление НЗ на как можно более легких (тонких) материалах.

Ресурс ГО остается одной из самых нестабильных характеристик СВП. При его оценке огромное влияние оказывают нестабильные свойства самого материала и условия, в которых функционирует ГО: скорость движения судна, интенсивность контактирования конструкции с водосталающей поверхностью, уровень высокочастотной вибрации и т.д. Именно поэтому у английского СВП VT.1 срок службы при скорости хода 38...40 уз колеблется от 200 до 800 ч, а у СВП SRN⁹⁴ на скорости ~ 50 уз — от 100 до 500 ч.

В табл.6.5 приведен перечень возможных усовершенствований материалов, применяемых в составных элементах ГО, и соответствующее им дальнейшее увеличение срока их службы.

В заключение следует указать, что как отечественный, так и зарубежный критерий достаточно изучены и нестабильны их физико-механические свойства, имеет место несовершенство существующей технологии изготовления. Это при изготовлении ГО приводит к отклонениям от заданных форм, размеров, степени деформаций и напряжений или концентрации напряжений. Нестабильность форм и плотности ГО, а в связи с этим и ресурса, обусловлены следующими свойствами материалов:

Таблица 6.5

Способы повышения ресурса материалов ГО

Вид усовершенствования материала	Увеличение срока службы, %
Повышение прочности армирующей сетки на разрыв	30
Повышение степени укупорки свойств материала при погружении в воду	20...30
Повышение качества заделки краев материала	2...5
Повышение адгезионных свойств материала	10...20
Повышение сопротивляемости резких скачков абразивному износу	50

— анизотропностью, т.е. зависимостью деформации материала от соотношения усилий, действующих по осевой и тангенциальной;

— нелинейностью закона Гука и принципом независимости действия сил;

— неравномерностью коэффициента Пуассона, зависящего от напряженного состояния;

— ползучестью при больших нагрузках;

— склонностью к существенному понижению прочности при длительных воздействиях нагрузки и повышенной или пониженной температуре.

Нестабильность свойств эластичных материалов ГО в сочетании с жесткими условиями эксплуатации является на сегодня одним из основных препятствий в решении проблемы повышения ресурса ограждений, а вместе с тем

и объясняемом причин того, что в методах расчета ГО, рассмотренных ранее, столь много перекла.

Перечисленные специфические особенности материалов ГО создают проблемы моделирования его характеристик, ибо невозможно изучения статик и динамики СВП по полному покрое материалов модели и на по толщине, поверхностной плотности, моду упругости при растяжении по основе, моду упругости при растяжении по утку и т.д. Формации материала зависит не только от свойств нитей, используемых для ткани, но от способа их переплетения, толщины слоя сорта обладающей резной, толщины слоя свойства клея. По этой причине рекомендуется осуществлять моделирование по одному из наиболее характерных видов деформации ГО и дериватки подобие по параметру, определяющим этот вид деформации. Так, для НЗ определенным видом деформации является их изгиб сломе от контакта с поверхностью экрана лодки судна, а для гибкого наддувного раската такой деформацией является сдвиг одного горизонтального участка относительно другого

§ 6.8. Изготовление и сборка ГО

Причины изготовления ГО зависят из швейного производства, но, учитывая масштабы постройки современных СВП, изготовление пока отличается практически полным отсутствием механизации, особенно в пошиве раскроя и сборке сращиваний. Это, конечно, трудоемкая, мало механизированная работа, и сложность операций по раскрою, выкрою, сборке и монтажу ГО возрастает только быстрее, чем размеры самих судов

аппаратов), для которых изготавливаются ГО. Это обусловлено тем, что с увеличением толщины применяемого материала возрастает его жесткость и масса.

ГО являются сложными пространственными конструкциями, отдельные узлы которых состоят из цилиндров, конусов, торцов, сложены пересекаться друг с другом, с изменяющимися радиусами и скруглениями. Детали, узлы и конструкции ГО соединяются между собой и крепятся к жесткому корпусу СВП. При сборке и монтаже ГО встречаются соединения следующих типов:

- 1) стыковые внутрисекционные соединения элементов оболочек;
- 2) угловые соединения (крепления комматов, оттяжек, диафрагм и т.п.);
- 3) соединения НЗ с гибкими резервуарами;
- 4) стыковые межсекционные соединения оболочек;
- 5) крепления элементов ГО (оболочек гибкого резервуара, конусных ГО, секционированных элементов и т.п.) к жесткому корпусу СВП.

Все способы и типы соединений должны обеспечивать ГО гибкости, способность поглощать ударные нагрузки и прочность. На рис. 6.38 представлены некоторые схемы и элементы соединений первых трех типов. Для них наиболее применим клеепрошивной метод. Это объясняется тем, что ГО изготавливаются из материала на основе капроновой (нейлоновой) ткани с обкладочными слоями из резины. В таком случае применяются клеи холодного отверждения (холодной вулканизации) с последующей прошивкой стыков синтетической нитью, которая должна быть защищена от абразивного износа ее о грунт, о воду, о соседние конструкции ГО, о жесткий корпус. Здесь целесообразно применение резиновых задающих лент [40]. Использо-

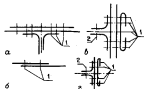


Рис. 8.38. Схемы образцов прочных угловых и стыковых соединений деталей, узлов, секций ГО между собой: а - угловое стыковое соединение с усилением; б - стыковое соединение выхлест с прошивкой; в - угловое соединение лентой с косингсом и с усилением; г - угловое соединение лентой с косингсом без усиления; 1 - прошивка; 2 - ось отверстия под болт

возникновение такого способа соединений возможно лишь в заводских условиях, и он применим для малонагруженных материалов ГО.

При низких температурах скорость химических реакций, обеспечивающих высокую адгезию склеиваемых поверхностей, очень мала, что осложняет технологию изготовления. Снизить адгезию клеевых соединений способствует дефундаментация в них воды через резиновую прокладку. Так, после 50-суточного пребывания в воде потеря прочности клеевых соединений исследуемых материалов ГО в различных составах клеев составляла от 23 до 34% [9]. Водопоглощение, приводящее к ослаблению соединений, происходит, в основном, через водонепроницаемые торцевые края материала, т.е. из среза. Чтобы снизить водопоглощение, рекомен-

дуется обрабатывать незначительные торцы клеевыми составами, наносимыми до появления прочной клеевой пленки, а также окантовывать торцы секции резины или обработанной тканью. Прочность клеевых соединений при влажности воздуха ниже 60%. Предпочтительнее и надежнее с точки зрения основности является способ, предусматривающий горячую вулканизацию соединений, в технологическом отношении он весьма сложен, так как требует специального промышленного и дорогостоящего прессового оборудования, которое экономически может быть оправдано только в случае крупносерийной постройки СВН.

Кроме принципа в соединениях используются заклепки, болты, шурупы и шпильные детали. Каждый из этих способов соединения имеет определенные преимущества и недостатки:

- заклепочные соединения являются неразъемными, подвергаются коррозии в морской воде;
- болтовые соединения (с металлической арматурой) также усиленно корродируют в морской воде;
- клевоэпексидные и клевоболтовые соединения обладают большой герметичностью и прочностью, но они более трудны в изготовлении и являются неразъемными, подвержены коррозии в морской воде и в воздушной среде;
- шпильно-петельные соединения по типу жесткой ленты, применяемые для крепления листов ГО к жесткому корпусу, не поддаются механизации при сборке и обладают значительно меньшей прочностью, чем основной материал ГО; в то же время узел крепления характеризуется малой жесткостью, простой сборкой, что является несомненным. Возможность быстрого снятия полотна относительно оси жесткости повышает длительность эксплуатации ГО. По рис. 8.39 видно, что для поворота лент-

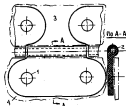


Рис. 8.39. Пластмассовые втулки, входящие в состав шарнирного петлевого соединения: 1 - отверстие и пазы под болтовое соединение; 2 - отверстие под анкер; 3 - жесткий корпус; 4 - материал ГО

ни относительно оси необходимо, чтобы последняя была перпендикулярной. Присоединение петель к жесткому корпусу и к полнотелу ГО осуществляется или на болтах, или на заклепках. Метод проекторочного расчета шарнирно-петлевого соединения может быть заменен [34].

Монтажные стыки полнотел ГО (стыковые межсекционные соединения оболочек) в большинстве случаев болтовые или клевоболтовые, что допускает возможность разрыва при разрыве. Крепление известных сыпучих элементов к такому резервуару должно быть легкоразъемным, чтобы эти элементы можно было легко заменить, поэтому здесь наибольшее распространение получили болтовые соединения, хотя на некоторых СВП применяются соединения на резинках или нейлоновых шнурах [40].

Несмотря на простоту монтажа и демонтажа, болтовое и клевоболтовое соединения

позволяют достичь равной прочности с основным материалом, для увеличения прочности этого соединения рекомендуется уменьшать шаг болтов и (или) применять двухрядное их расположение. При растяжении материала под действием нагрузки на узел болта последний оказывается незагнутым, и прочность узла в этом месте определяется сопротивлением разрыву краев гибкого материала, ослабленного отверстием под болт. Для шарнирно-петлевых, болтовых, заклепочных соединений в качестве крепежа применяются в основном стальные гайки, заклепки, болты, хотя возможно изготовление гаек и болтов из синтетических материалов, использование которых пока сдерживается из-за ухудшения их физико-механических свойств под воздействием высокоактивной окружающей среды. Проблемой является также уже упоминавшаяся коррозия металла крепежа под воздействием морской воды и из-за наличия пары разнородных металлов, какими являются легкий сплав жесткого корпуса судна и сталь деталей крепежа (электрохимическая коррозия).

Для защиты материала ГО от разрушения при его контактах с металлическими крепежными деталями болты и

гайки должны выполняться с минимальным количеством острых граней и быть отделены от материала ГО специальными прокладками, обеспечивающими контакт (рис. 8.40). Другие методы распространение способа монтажа ГО на СВП и соединений его отдельных узлов и деталей описаны в [40].



Рис. 8.40. Образцы соединенного болтового соединения, исключенного обремененные накладки

В.В. Износ, повреждения и ремонт ГО

Под действием сил различной природы из-за активности окружающей среды ГО изнашиваются, повреждаются, что приводит к потере формы и свойств, определяющих их назначение, а следовательно, ухудшает или снижает их характеристики всего судна.

Большинство повреждений ГО носят устойчивый характер. У многоразовых ограждений характер повреждений и механизмы их причин различны. У гибкого ресивера и у жестких стальных элементов основными повреждениями гибкого ресивера являются:

- разрывы конструкций, связанные с воздействием перегрузок из-за несовершенства конструкции ГО в местах максимальной концентрации напряжений, что наиболее часто происходит в местах соединения бортовых и корневых стоек ГО, т.е. в угловых секциях;
- разрывы материала, связанные с недостаточной прочностью его на разрыв;
- разрывы от контакта с препятствиями;
- разрушения стыковых швов с повреждением стропок прошивки из-за отклонения заплочных лент;
- острые концы стальных элементов.

Наиболее часто встречающимися повреждениями НЗ являются:

- отслоение обкладочной резины в месте наибольшего развития изгиба стального элемента;
- износ в отслоение плановых швов кромок всех типов стальных элементов;
- разрывы кромок от контакта стальных элементов с препятствиями;
- разрывы отливок, лент, диафрагм и прочих конструктивных элементов, формирующих корневые стальные элементы. Характер повреждений ГО корнусового типа аналогичен. Если учесть

и химическую активность окружающей среды, то повреждения стальных материалов, из которых изготовлены ГО, можно классифицировать по следующим типам:

- отслоение обкладочных слоев материала;
- разрушение материалов при химическом воздействии топлива и смазочных материалов;
- местные истончения резиновых обкладок (глубже по отслоения армирующей ткани), особенно над твердыми объектами;
- отслоение заплочных лент с последующим повреждением стропок швов по арматуре;
- разрывы и разрывы материала;
- растрескивание материала в местах изгиба;
- усталостные разрушения;
- разрушения от воздействия крана;
- острое старение обкладочных слоев резины;
- нарушения адгезии из-за воздействия влаги;
- воздействие высоких и низких температур окружающей среды.

Ремонт ГО в зависимости от степени сложности и интенсивности повреждений заключается в замене пострадавших секций гибкого ресивера, НЗ или в установке накладных листов на поврежденные участки (в случае этих участков). Установка накладных листов, прирывных прошив, истертости в швах обкладочных слоев материала ГО, осуществляется с помощью заплочных или бортовых соединений; возможно применение в этих случаях вулканизации. Это приводит к необходимости иметь в комплекте ЗИП по судну наборы готовых и устанавливаемых НЗ, отливных узлов в секциях, запасы материала, лент, арматур, инструментов. Все это хранится, как правило, на стояночных площадках и ремонтных базах. В составе ЗИП может находиться и полный комплект ГО, что

обусловлено необходимостью периодической замены из-за старения резины гидравлической интенсивности эксплуатации судна. Следовательно, ресурс ГО связан с обеспечением органами базирования и квалифицированного обслуживания, в том числе текущего ремонта в процессе эксплуатации СВП.

Глава 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ СВП В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

§ 7.1. Учет требований к остоюности. Понятие об остоюности в различных режимах эксплуатации СВП

СВП, как и традиционные суда, должно обладать способностью противостоять внешним возмущениям, стремящимся вывести его из состояния равновесия, относительно продольной поперечной осей. Это свойство называется продольной и поперечной остоюностью. Характеристика остоюности СВП (как и водозащитных судов) является выражением безопасности эксплуатации и оправдывает название судна статике и динамике, особенно на волнении.

Специфика обеспечения остоюности СВП заключается в следующих аспектах.

1. Различаются остоюность в водозащитном положении, в переходном режиме, т. е. в процессе выхода на ВП, и в режиме на ВП само по себе. В свою очередь в режиме на ВП судно может быть "на стояне" над твердым дном или

надой и в состоянии установившегося движения. Каждый из названных режимов отличается и показателями остоюности, и физической природой возникновения восстанавливающих моментов.

2. В водозащитном режиме признаки остоюности мало чем отличаются от тех, что применяются для традиционных водозащитных судов, специфика состоит лишь в особенностях формы и геометрии водозащитного прочного корпуса СВП, имеющего плоскую поверхность, малое отношение длины к ширине, значительную осадку, низкий надводный борт, прогибание настрок, прогибание отсеки в кормовых отсеках, через которые в режиме на ВП в периферийные и оседающие области ВП ГО или непосредственно в область ВП подается воздух от магнетотопки или группы магнетотопки.

3. В переходном режиме и в положении на ВП "на стояне" и (или) на ходу определяющим является расхожно-напорные характеристики подъемного комплекса, а также форма, тип и размеры ГО области ВП судна.

4. Параллель "на стояне" или движение на ВП происходит на высоте, практически равной высоте ГО, которая при относительно больших размерах этих судов соответствует небольшим углам наклона до момента касания водостойкой поверхности жесткого корпуса, что приводит к возникновению значительных кораблестроительных сил и в потерю остоюности движения. По этой причине для режима на ВП производится оценка лишь начальной остоюности.

5. Усложнена сложность расчетного алгоритма оценки остоюности СВП для режима на ВП в переходном режиме, в него вводится целый ряд допущений. Практически не

возможно моделирование на масштабах мала СВП характеристиках эластичного материала и аэродинамических характеристиках материала. Это приводит к необходимости построения на натурных объектах характеристик точности, полученных расчетом. Такие требования предъявляются как объективным классификационным и регистрационным объектам осуществляющим надзор за эксплуатацией СВП.

7.1.1. Обеспечение устойчивости в водном положении.

В водонавещающем положении устойчивости СВП определяется диаграммой статической устойчивости, для которой из-за стесненности не особенностей формы водонавещающего

тона ($\frac{L_{жк}}{B_{жк}} = 1,7...3,0$; $\frac{B_{жк}}{T_0} = 10...20$; $\frac{H_{жк}}{T_0}$

$= 1,4...2,0$) (рис.7.1) характерны начальный ток, отличающийся снижением максимальных значений восстанавливающих моментов (или их $\frac{1}{2}$ в сторону малых углов крена). Здесь $L_{жк}$

$B_{жк}$, T_0 , $H_{жк}$ - соответственно длина, ширина, осадка и высота борта водонавещающего понтона. Из-за такой формы корпуса начальной устойчивости в водонавещающем положении $\frac{1}{2}$ незначительна, что приводит к снижению $\frac{1}{2}$ порога бортовой качки. При динамическом действии кренящего момента $M_{кр.д.д.}$ от вол-

ны волнения в качестве расчетного угла $\frac{1}{2}$ на наветренный борт принимают $\theta_{кр}^0 = 15^0$, $\frac{1}{2}$ гласко [110] кренящий момент $M_{кр.д.д.}$ (кН

в водонавещающем положении принимается $\frac{1}{2}$ ное предельное давление ветра P_v (Па),

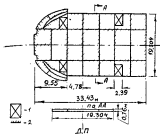


Рис.7.1. Понтоны плаучности СВП SRN*4 Mk1: 1 - топливные цистерны 2 - водонавещающие отсеки

нах наружности A_0 , отстоящая $\frac{1}{2}$ центра тяжести от плоскости действующей нагрузки и коэффициента обтекаемости $f \pm 1$, определяемого при морских испытаниях и вертубе:

$$M_{кр.д.д.} = 0,001 P_v A_0 \pm f. \quad (7.1)$$

Давление ветра P_v принимается по таблицам Бюро классификации и постройки морских судов Регистра СССР с учетом степени удаленности судна от порта-убежища при близости центра на один балл больше на сравнению с $\frac{1}{2}$ та, которая соответствует существующим допускам для судна условиями эксплуатации. Согласно [110] кренящий момент $M_{кр.д.д.}$ не должен превышать окружающего момента $M_{опр.}$, величину которого в динамических условиях с

учетом бортовой качки с амплитудой $\Theta_{кр}^* = 1$ определяет соответствующим для обычных судов Правил Регистра СССР по угловой вышке диаграммы статической остойчивости, случае необходимости учитываются возможные ограничения по углам обалакивания:

$$M_{кр\partial\partial} \leq M_{опр}. \quad (7)$$

В английской практике предлагается учитывать увеличение кривизны, наблюдающееся в возрастании угла крена $\Theta_{кр}^*$, что объясняется статистически большей шириной СВП, по сравнению с обычными возмущающими судами. Тогда формула (7.1) приобретает вид

$$M_{кр\partial\partial} = \frac{0,001 P_y A_y (z + 0,5 T_s) \{ \cos^2 \Theta_{кр}^* \}}{\cos^2 \Theta_{кр}^*}, \quad (7)$$

где отстояние центра кривизны отсчитывается от середины осадки судна T_s .

На рис.7.2 показаны соответствующие диаграммы статической остойчивости в крайнем положении, возникающего под давлением бокового ветра, на примере английского СВП 3RN*4, возмущающим положением для английских С. остойчивость считается достаточной, если выполняются следующие два условия (см.рис.7.2):

- $l_{кр\partial\partial} / l_{мин} \leq 0,6$;
- $S_1 / S_2 \geq 1,4$.

что ужесточает требования по сравнению с требованиями в отечественной практике и позволяет учитывать возможные порывы ветра и крен судна на волнении, а также погрешности вычисления.

В качестве дополнительного к остойчивости СВП в возмущающемся положении ставится

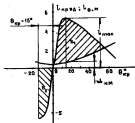


Рис.7.2. Диаграмма статической остойчивости СВП 3RN*4 в режиме плавания при ветре $U_0 = 33,5$ м/с ($Q = 182$ т, $S_1/S_2 = 2,26$)

также, чтобы на такой воде отклонение судна от горизонтальной плоскости не превышало 8° в любом направлении при всех допустимых случаях нагрузки и возможных неконтролируемых увеличениях массовиков. Поскольку для АСВП характерно высокое расположение деки и мачты, рулей, необходимой считается проверка остойчивости на циркуляции:

$$M_{кр\partial\partial} = Y(z_y + 0,5 T_s) \cos \Theta_{кр}^*. \quad (7.4)$$

где Y — максимальная боковая сила, возникающая декистами или аэродинамические руля; z_y — возможное возмущение деки или, по-разному, рулей.

106

Угол установившегося крена на циркуляции, соответствующий этому кренящему моменту, должен превышать 15° .

Эксплуатация СВП в данных условиях может сопровождаться образованием высокоскоростных наружных поверхностей СВП, что значительно снижает остойчивость. В таких случаях необходима корректировка значения $M_{\text{опр}}$.

Полученная величина опрокидывающего момента сравнивается с предельным значением $M_{\text{кр.д.}}$

определяемым для заданного района эксплуатации по величине наибольшего давления вет $P_{\text{д}}$ (см. (7.2)). Согласно [76] на всех о

крытых горизонтальных поверхностях (платы, крышах надстройки, рубки и т.д.) предполагается слой льда массой 30 кг/м^2 , а на вертикальных — 15 кг/м^2 . Обладание раунтою, т.е. закруглением, поручей учитывается увеличением на 5% массы льда, находящегося на вертикальных поверхностях, и на 10% — момента этой массы.

7.1.2. Остойчивость СВП в режиме на В (эксплуатационном). Критерии статической остойчивости СВП в эксплуатационном режиме.

Выход судна на ВП сопровождается оттоком уменьшением гидростатических сил подталкивания в их моменты, а затем и полной или частичной их перестатическими силами и моментами, обеспечиваемыми областями воздуха изоточного давления, создаваемой под днищем от на его подложным комплексом.

АСВП без ГО, у которого ВП под действием удерживается периферийной стружкой воздуха, в режиме наплыва нестойчиво ни по крену, ни по дифференту, ибо при наплывании

являет опрокидывающий момент от перераспределения давлений в области ВП. Это происходит из-за разделения опрокидывающей ВП стружки на выходящую часть жесткого сонового аппарата. Воздух под днищем устремляется в сторону кончатого борта (или оконечности) судна. Это приводит к необходимости разделения области ВП на изолированные секции специальными стружками завесами, препятствующими интратранзитному перетеканию воздуха в сторону кончатой надстройки части сонового аппарата и создающим перепад давлений между водной и воздушной секциями, вызывающий осевые восстанавливающий моменты. Получили пространственно диагональное, крестообразное и дугообразное секционирование площади ВП и их комбинации (рис.7.3).



Рис.7.3. Виды секционирования площади ВП

С появлением ГО области ВП обеспечиваются изоточностью, так и продольной остойчивости значительно осложнилась. Это объясняется существенным повышением положения центра тяжести над поставленной изоточностью, подталкивание ГО при их контакте с экраном, а также разрыванием опрокидывающей стружки (или даже ее полной отсутствием) по нормали ВП из-за отсутствия оформляющего сонового устройства, вместо которого в гибком режиме выносятся шель, круглые или овальные отверстия для выхода воздуха — НЗ. При отсутствии изоточного гибкого режима ВП оказывается зажатой в канале с податочными стенками,

что создает проблему устойчивости аппарата при его наклонении.

В разном на ВП следует учитывать существенную зависимость показателей устойчивости от характера эксплуатации судна. Если для возмущающего судна оценка устойчивости может быть ограничена рассмотрением его статике, то здесь удовлетворительная статическая устойчивость не является достаточной гарантией от потери устойчивости и опрокидывания в динамических условиях.

Расчетное и экспериментальное подтверждение рекомендуемых показателей статической устойчивости по крену и дифференту является таким образом, обязательным, но не достаточным условием безопасности эксплуатации СВП.

Рассмотрим вначале статическую продольную и поперечную устойчивость судна в условиях функционирования его подъемного комплекса, обтекающего потоку сжатого воздуха под давлением.

Если по аналогии с возмущающим судном ввести понятие метacentрической высоты поперечника и продольная устойчивость СВП будут характеризоваться выражениями

$$\bar{m}_x^{\Phi} = \frac{\partial M_x}{\partial \Phi} \bigg|_{\Phi_{кр} = 0} \frac{1}{Q B_n} ; \quad (7.6)$$

$$\bar{m}_y^{\Phi} = \frac{\partial M_y}{\partial \Phi} \bigg|_{\Phi = 0} \frac{1}{Q L_n} . \quad (7.7)$$

где $\bar{m}_x^{\Phi}, \bar{m}_y^{\Phi}$ соответственно поперечная и продольная метacentрические высоты (безразмерные M_x, M_y восстанавливающие моменты соответственно при шкрене и дифферентации судна на начальных участках зависимостей M_x

$\cdot f_1(\Phi_{кр})$ и $M_y = f_2(\Psi)$, т.е. когда угол крена или дифферента судна стремится к нулю.

В зарубежной практике вместо понятий безразмерных метacentрических высот используют критерии $\bar{K}_{\Phi}$ и $\bar{K}_{\Psi}$, которые представляются собой выражениями

$$\bar{K}_{\Phi} = \frac{M_x 100}{Q B_n} ; \quad (7.8)$$

$$\bar{K}_{\Psi} = \frac{M_y 100}{Q L_n} . \quad (7.9)$$

Здесь величины M_x и M_y рассматриваются как моменты, которые надо приложить к судну, чтобы склонить его соответственно относительно продольной или поперечной оси на угол, равный 1° . Таким образом, $\bar{K}_{\Phi}$ и $\bar{K}_{\Psi}$ следует рассматривать как численные значения вынужденного наклонения СВП одного центра поддержания (приводящего к появлению восстанавливающего момента) в процентах соответственно B_n или длины L_n ВП на 1° наклонения.

Сравнивая критерии $\bar{m}_x^{\Phi}$ с $\bar{K}_{\Phi}$ и $\bar{m}_y^{\Phi}$ с $\bar{K}_{\Psi}$ и используя известные выражения по метacentрической формуле устойчивости зависимости для определения различных моментов, наклоняющего судно на 1° , получим:

$$\bar{m}_x^{\Phi} = \bar{K}_{\Phi} \frac{57,3}{100} ; \quad (7.10)$$

$$\bar{m}_y^{\Phi} = \bar{K}_{\Psi} \frac{57,3}{100} . \quad (7.11)$$

Сопоставляя каждую пару показателей, исходя из предположения линейности зависимостей $M = f_1(\theta_{кр})$ и $M_\psi = f_2(\psi)$. Исследования

показывают, что такой характер зависимости возможен, как правило, в пределах угла крена $(-3...+3)^\circ$.

Из опыта эксплуатации СВП минимальные значения безразмерных начальных метacentрических высот при закреплении судна на уроне центра тяжести килевыми над водой устанавливаются согласно условиям:

$$\bar{m}_\infty^\theta \geq 0,3 \dots 0,4 ; \quad (7.1)$$

$$\bar{m}_y^\psi \geq 0,9 \dots 1,0 . \quad (7.2)$$

Над твердым экраном эти показатели остаются на (20...50)% выше, чем над водой, что подтверждается зависимостями $M_\theta = f_1(\theta)$ (рис.7.4), полученными в результате испытаний

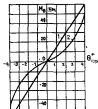


Рис.7.4. Диаграмма поперечной остойчивости СВП $M_\theta = f_1(\theta_{кр})$: 1 - над твердым экраном; 2 - над водой

модели СВП над водой и над твердым экраном. Модель массой 113 кг была оснащена ГО высотой, соответствующей отношению $h_{ГО}/B_H = 0,13$, а также $L_H/B_H = 2,08$, $S_H = 2,3 \text{ м}^2$, $B_H = 1,08 \text{ м}$.

Начальная поперечная метacentрическая высота на над твердым экраном составляет $\bar{m}_\infty^\theta = 0,72$, а над водой — $\bar{m}_\infty^\theta = 0,31$. Продольная остойчивость этой модели характеризуется диаграммой (рис.7.5) в значенных метacentрической высоты над экраном $\bar{m}_y^\psi = 1,33$ и над водой $\bar{m}_y^\psi = 0,93$.



Рис.7.5. Диаграмма продольной остойчивости СВП $M_y = f_2(\psi)$:

1 - над твердым экраном; 2 - над водой

По данным [161] для крупных английских СВП рекомендуется иметь критерии остойчивости:

$$\bar{K}_\theta \geq 1,0 ; \quad (7.13)$$

$$\bar{K}_\psi \geq 2,0 , \quad (7.14)$$

что близко к рекомендациям (7.11) и (7.12). Для малых СВП эти значения могут быть снижены в (2...2,5) раза.

7.1.3. Конструктивные способы обеспечения статической остойчивости в переходном и в апериодическом режимах. Явления гистерезиса.

Как правило, АСВП наибольшей остойчивостью обладает в возмущенном режиме, когда сжатый воздух от компрессоров начинает поступать в ресивор и под линию и судно испытывает, оказывается затем на воздушном ядре (или без втягивания воздуха в атмосферу), остойчивость снижается и может стать нулевой или отрицательной. Дальнейшее увеличение подачи (расхода) воздуха в ВП и под линию при этом избыточное давление в духе приводит к возрастанию остойчивости (рис. 7.6).

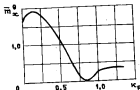


Рис. 7.6. Влияние коэффициента K на остойчивость СВП

На этом рисунке дана зависимость $m_x^0 = f(K)$ полученная экспериментально на модели с увеличенной вязкостью (см. рис. 7.4 и 7.5).

На рис. 7.7 можно видеть процесс изменения показателей остойчивости СВП в зависимости от положения его относительно поверхности воды. Если воспользоваться значениями на рис. 7.7 обозначенными T и E как пере-

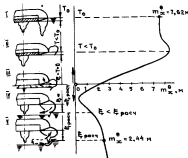


Рис. 7.7. Изменение статической остойчивости английского СВП SRN³⁶ в процессе выхода на ВП: T_0 — осадка; E — высота парения; I — возмущенное положение; II — начало подачи воздуха под линию судна; III — отрыв корпуса судна от воды; IV — отрыв части заднего ресивора от воды; V — парение на ВП на расчетной высоте парения

мен положения основной плоскости жесткого корпуса относительно поверхности воды (ниже или выше ее), то на рис. 7.8 можно видеть процесс выхода модели, исследования остойчивости которой даны на рис. 7.6. Здесь под величиной m_x^0 подразумевается текущее значение остойчивости при планировании судна в воздушном ядре.

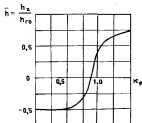


Рис. 7.8. Влияние изменения коэффициента K_p на относительную высоту борта СВП $\bar{h} = h/h_0$

над невозмущенной поверхностью воды E_p , оно падает на ВП. Положение СВП относительно поверхности воды изменяется скачкообразно. Увеличение устойчивости на начальном отпоре воздуха в габит резервуар (рис. 7.8) и объясняется комплексом возмущительной гидростатической силы, создаваемой наддувом в габ резервуара на бортом плече.

Резким, соответствующим здесь изменению устойчивости, называется перекошение и задается, как правило, при $K_p = 0,8 \dots 0,9$. В левое или отрицательное значение $\bar{m}_x^{\text{в}}$ это приводит к появлению крена даже при отступе начального крена, что требует снижения нагрузки относительного ДП. При наборном в положении магнетотелей необходимо устройство соединительного воздухопровода, который ис-

пускает воздух только в секции ВП одного борта в случае выхода из строя магнетотелей другого борта. Должны быть предусмотрены устройства перекрытия магнетотелей, чтобы предотвратить струйвление воздуха через них в атмосферу при остановке магнетотелей одного борта в продолжающейся работе магнетотелей противоположного борта. Сам процесс выхода судна из положения наплыва в положение на ВП должен быть кратчайшим (он не должен превышать 2 минут) [76], [110]. На испытательном режиме жесткий корпус судна оказывается поднятым над твердым экраном на высоту, равную высоте ГО, в источнике возмущения. В этот момент при намерении судна оказывается лишь область свайного воздуха, создаваемая полемным комплексом и находящаяся под давлением. При парении СВП над водой без хода ко-го подвижности воды под давлением судна образуется впадина, глубина которой $P_n / \rho \cdot g$. На ее величину умень-

шается высота ползучей кортуса над невозмущенной поверхностью воды, обеспечивая устойчивость в устойчивости СВП. На ходу СВП над водой по мере увеличения скорости движения дифференциальная поверхность воды, вызванная давлением на нее воздуха избыточного давления, увеличивается, при скорости, соответствующей $Fr_L > 1,5$, становится малозаметной, совсем

исчезает при $Fr_L \approx 4,5$, что делает устойчивостью СВП над твердым экраном и над водой на такой скорости равнозначной.

Для СВП, оснащенных ГО, известны 3 основных конструктивных способа обеспечения продольной и поперечной устойчивости.

Первый способ, характерный для ГО, не имеющих замкнутого наддувного резервуара, но оснащенных открытыми НЗ (см. рис. 8.8), связан

со смещением центра давления (поддерживая сторону опускающегося борта из-за сдвига в ней кромок ГО при касании поверхности воды (рис.7.9). Ширина B_n или длина L_n вычисляются от этого на наклонном борту (соответственно ΔL_n).

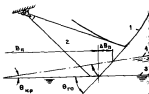


Рис.7.9. Механизм возникновения восстановительного момента при касании открытого заливного элемента плавучести водой: 1 - гибкий ресивер; 2 - плавосей элемент (сегмент); 3 - исходная потерянная; 4 - восстанавливающая потерянная

Это приводит к появлению восстановительного момента M_{θ} (или M_{φ}).

Второй способ реализуется на СВП с элементами наддувной гибкой ресивер. НЗ и секционированная площадь ВП ограждения (см. рис.6.7). При наклоне такого СВП НЗ, и на рис.7.9, поднимается, что также способствует смещению центра давления в сторону опускающегося борта (или оконечности), с помощью механизма создания восстановительного

момента здесь заключается в аккумуляции опущенной секции, поскольку перетекание воздуха в сторону поднятого борта препятствует секционированию ГО. Это приводит к перепаду давления между опущенной и поднятой секциями ВП и, таким образом, к дополнительному смещению центра давления, увеличивающему восстанавливающий момент. Чем выше перепад давления между объемами гибкого ресивера и областью ВП, т.е. чем больше коэффициент K_p , тем значительно может быть восстанавливающий момент.

Говоря об этом способе обеспечения устойчивости, следует отметить случай осадания СВП ГО в виде наддувного гибкого ресивера без секционирующей области ВП ограждения. При наклонении при погружении открытого (наддутого воздухом) объема гибкого бортового ресивера в воду возникает восстанавливающий момент, определяющийся равнодействующей сил внутреннего давления, распределенного по площади сыпучей поверхности ограждения. Экспериментальные исследования [36] демонстрируют на примере СВП ЗРН*6 линейную зависимость величины предельно допустимого (опрокидывающего) момента $M_{спр}$ от внутреннего давления в ресивере P_p . Результаты такого эксперимента (рис.7.10) позволяют установить, что

$$\frac{d(M_{спр}/GB_n)}{d(P_p lb/g)} \approx 0,5. \quad (7.15)$$

Аналогичный механизм обеспечения устойчивости наблюдается в аварийной ситуации СВП с ГО I типа при повреждении его предельного секционированной области ВП или после того, как угол крена достигает значений, при которых гибкий ресивер на опущенном борту выходит в воду.

Третий способ характерен для СВП с тем, что используются конусные отражения, подобно

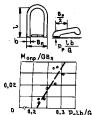


Рис.7.10. Экспериментальная зависимость стабилизирующего момента от давления в субком корпусе

ния НЗ при касании им поверхности дна. Соответствующее увеличение устойчивости тем выше, чем меньше угол наклона НЗ к вершине (см. рис.7.9 и 6.3). Уменьшение этого угла также повышает продольную или поперечную устойчивость СВП с таким типом ГО приравн к уменьшению площади ВП, что исключает из-за уменьшения показателей жесткости и маневренности. Оптимальным поэтому считается угол $\sim 45^\circ$. Уменьшение угла наклона $\theta_{го}$ с 65°

до 38° (рис.7.11) дает возрастание подъемной силы на элемент в 2,4 раза, а использование закрытых ("стабилизированных") НЗ вместо открытых — в 1,5 раза. Последний пример в основном характерен как для первого, так

и для второго способов обеспечения устойчивости французских СВП НЗ N 500 или американского КВП JEFF (см. рис.6.11 и 6.1). СВП с таким типом обладает наибольшей устойчивостью на наклонных, ибо при дупликации элементов этих ГО на опущенной секции наиболее эффективно с точки зрения создания и реала давления и снижения центр давления в сторону опущенного борта (в склевочности).

Увеличение площади ВП от погружения ВП от погружения

для второго способа обеспечения устойчивости СВП, оснащенных ГО.

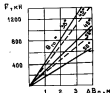


Рис.7.11. Сравнение подъемной силы на погруженные элементы: — открытые элементы; - - - закрытые (стабилизированные) элементы; $P_0 = 11,97$ кПа; $K_p = 1,26 \dots 1,44$

Среди конструктивных способов обеспечения устойчивости в большой степени для малых СВП известен способ искусственного смещения центра тяжести к борту относительно ДП, достигнутого смещением нижних кромок ГО, для чего может быть предусмотрено специальное устройство. Таким способом удается обеспечивать устойчивое кренное, что улучшает маневренные качества судна. Этот же эффект достигается за счет погружения одной или нескольких бортовых бочек.

С точки зрения обеспечения устойчивости надо учитывать схему подачи воздуха в ВП от комплекса воздушных магистралей. Если применен общедельный, из которого воздух поступает и в подкачку, и в опущенную секцию. То уменьшение расхода воздуха через опущенную секцию сопровождается его увеличением че-

120

ред подачу секции. Возрастание давления опущенной секции ограничивается величиной давления воздуха в ресивере P_p , при этом P_p и Q , обеспечиваемые магнетитом, представляются постоянными. Если воздух в каждую секцию ВП подается от независимого магнетита, то в опущенной секции согласно характеристике магнетита его давление с увеличением расхода воздуха увеличится. Это объясняется изменением характеристики сети. Чем круче характеристика магнетита, тем больше возрастает давление в опущенной секции ВП. По этой причине с точки зрения обеспечения устойчивости на эксплуатационном режиме магнетитом не только разделение области ВП секции, но и подача воздуха в каждую из от независимого магнетита.

Насколько эффективна установка секционирования ГО для повышения устойчивости, можно видеть на рис. 7.12 и 7.13. Продолжая устойчивости КВП JEFFB при этом возрастает на ~200% а поперечная — более чем на 100%.

На рис. 7.12 приведены также результаты моделирования исследований показателей устойчивости КВП JEFFA, оснащенного ГО с закрытыми контактами элементами, обеспечивающими этому пару большую устойчивость, чем у КВП JEFFB оснащенного ГО с открытыми НЗ.

Следовательно, важнейшую роль в обеспечении устойчивости играют коммутационная система, характеристика магнетита, конструктивные особенности и расходно-напорные характеристики ГО области ВП, а также тип ГО.

Особенности СВП ГО привнесла еще одна характеристика и важное свойство, вытекающее из особенностей конструкции, какой оно является. Речь идет о так называемом наклоне гистерезиса, наблюдающемся при наклонных над титаном экраном (рис. 7.14). Процесс наклоне

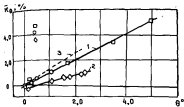


Рис. 7.12. Диаграмма поперечной статической устойчивости над твердым экраном американских КВП JEFFB (при перекачке его полой массы $D_n = 110$ т; $\theta = 120$ т; $\phi = 129$ т; $\phi = 154$ т) и модели JEFFA (соответствующий $D_n = 119,2$ т); 1 — КВП JEFFB с установленным продольным секционированием; 2 — то же без секционирования; 3 — результаты исследования модели КВП JEFFA

стия в этом случае, а затем его выпрямления после снятия крайнего (или дифференциального) момента неодинаковы. Одному и тому же значению крайнего момента соответствуют два различных положения с разными углами наклона, что зависит лишь от того, находится судно на восходящей или нисходящей ветви зависимости $M_\theta = f_1(\theta_{np})$ и $M_\phi = f_2(\phi)$.

Возникновение гистерезиса, как подтверждают эксперименты, связано с трением скользящего материала ГО при его контакте с неподвижной поверхностью и с вязкоупругими свойствами эластичного материала ГО. Широкие исследования явления гистерезиса велись в Канаде [190], установлено, что характер

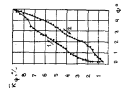


Рис. 7.14. Явление гистерезиса при исследовании статической проницаемости порошков СВЧ с ГО сферического типа: 1 — исследуемая деталь; 2 — исследуемая деталь.

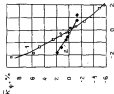


Рис. 7.13. Диаграмма статической проницаемости СВЧ ДСРВ над твердым ядром ($L_n = 23,4$ и $D_n = 12,9$ мм, $D_n = 15,4$ мм, $D_n = 12,9$ мм).

затекания гистерезиса зависит от типа и конструкции ГО, от свойств применяемого для ГО материала, характеристик подъемного комплекса судна, от типа подвешивающей поперечности (твердый порок или вода). Так, исследуемая деталь должна получить следующие рекомендации.

Гистерезис по продольной и поперечной осям в статике сильнее выражен для более жесткого материала ГО. Он уменьшается по мере увеличения коэффициента нагрузки G_L (или G_n), и наиболее характерно его проявление при повышении частоты вращения магнетика (при выходе на ВП или переходе в подмагничивающее положение). На рис. 7.15 показан

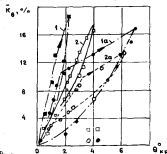


Рис. 7.15. Результаты исследования явления гистерезиса по модели над водой и над твердым ядром при изменении поперечной остоимости: 1 и 1а — над твердым ядром; 2 и 2а — над водой; 3 и 3а — над твердым ядром; 4 и 4а — над водой; 5 и 5а — над твердым ядром; 6 и 6а — над водой; 7 и 7а — над твердым ядром; 8 и 8а — над водой; 9 и 9а — над твердым ядром; 10 и 10а — над водой; 11 и 11а — над твердым ядром; 12 и 12а — над водой; 13 и 13а — над твердым ядром; 14 и 14а — над водой; 15 и 15а — над твердым ядром; 16 и 16а — над водой; 17 и 17а — над твердым ядром; 18 и 18а — над водой; 19 и 19а — над твердым ядром; 20 и 20а — над водой; 21 и 21а — над твердым ядром; 22 и 22а — над водой; 23 и 23а — над твердым ядром; 24 и 24а — над водой; 25 и 25а — над твердым ядром; 26 и 26а — над водой; 27 и 27а — над твердым ядром; 28 и 28а — над водой; 29 и 29а — над твердым ядром; 30 и 30а — над водой; 31 и 31а — над твердым ядром; 32 и 32а — над водой; 33 и 33а — над твердым ядром; 34 и 34а — над водой; 35 и 35а — над твердым ядром; 36 и 36а — над водой; 37 и 37а — над твердым ядром; 38 и 38а — над водой; 39 и 39а — над твердым ядром; 40 и 40а — над водой; 41 и 41а — над твердым ядром; 42 и 42а — над водой; 43 и 43а — над твердым ядром; 44 и 44а — над водой; 45 и 45а — над твердым ядром; 46 и 46а — над водой; 47 и 47а — над твердым ядром; 48 и 48а — над водой; 49 и 49а — над твердым ядром; 50 и 50а — над водой; 51 и 51а — над твердым ядром; 52 и 52а — над водой; 53 и 53а — над твердым ядром; 54 и 54а — над водой; 55 и 55а — над твердым ядром; 56 и 56а — над водой; 57 и 57а — над твердым ядром; 58 и 58а — над водой; 59 и 59а — над твердым ядром; 60 и 60а — над водой; 61 и 61а — над твердым ядром; 62 и 62а — над водой; 63 и 63а — над твердым ядром; 64 и 64а — над водой; 65 и 65а — над твердым ядром; 66 и 66а — над водой; 67 и 67а — над твердым ядром; 68 и 68а — над водой; 69 и 69а — над твердым ядром; 70 и 70а — над водой; 71 и 71а — над твердым ядром; 72 и 72а — над водой; 73 и 73а — над твердым ядром; 74 и 74а — над водой; 75 и 75а — над твердым ядром; 76 и 76а — над водой; 77 и 77а — над твердым ядром; 78 и 78а — над водой; 79 и 79а — над твердым ядром; 80 и 80а — над водой; 81 и 81а — над твердым ядром; 82 и 82а — над водой; 83 и 83а — над твердым ядром; 84 и 84а — над водой; 85 и 85а — над твердым ядром; 86 и 86а — над водой; 87 и 87а — над твердым ядром; 88 и 88а — над водой; 89 и 89а — над твердым ядром; 90 и 90а — над водой; 91 и 91а — над твердым ядром; 92 и 92а — над водой; 93 и 93а — над твердым ядром; 94 и 94а — над водой; 95 и 95а — над твердым ядром; 96 и 96а — над водой; 97 и 97а — над твердым ядром; 98 и 98а — над водой; 99 и 99а — над твердым ядром; 100 и 100а — над водой.

характер гистерезиса как воды и как твердого тела при изменении количества поданной в ШП воздуха.

Явление гистерезиса следует учитывать статистически условия и при качке сушки, изучение его пока не позволило создать адекватной математической модели, описывающей этот процесс. Все рекомендации по уменьшению интенсивности гистерезиса для различных типов и конструктивных особенностей ГО частный характер и лишь подтверждают необходимость исследования этого явления на конкретных объектах.

7.1.1.4. Дополнительными требованиями к валам обеспечения их устойчивости в плавающем режиме.

Остойчивость, естественно, зависит от начальной высоты $h_{го}$. Поэтому одним из критериев повышенной устойчивости выбираем, которые характеризуют относительный момент инерции тяжести сушки над акроном. По этим безразмерным параметрам оцениваются и мы устойчивым и колеблется в узких пределах. Так, параметр $h_{го}/\sqrt{g/p_b g}$ колеблется в ограниченном диапазоне

$$\frac{h_{го}}{\sqrt{g/p_b g}} = 0,25 \dots 0,42. \quad (7.17)$$

Значительно более часто упоминается в отношении параметр $h_{го}/B_n$. Как от высоты $h_{го}$ выбирают в зависимости от типа проектируемого предприятия или от типа волн, но в то же время $h_{го}$ не принимать предельных значений, соответствующих

полученным из опыта эксплуатации и модельных экспериментов ограничениям

$$0,2 \leq \frac{h_{го}}{B_n} \leq 0,4, \quad (7.17)$$

что подтверждается в рис. 7.16, где проекционная поле статистики по судам и аппаратам на ВП в координатных осях $h_{го} = \{B_n\}$.

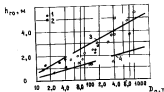


Рис. 7.16. Составление массовых и проектной высоты ГО СВП второго поколения: 1 - существующие суда; 2 - суда, находящиеся в стадии проектирования; 3 - предельное по требованиям безопасности отношение $h_{го}/B_n = 0,2$; 4 - $h_{го}/B_n = 0,4$

Британское управление гражданской авиации, установившие требования безопасности эксплуатации английских СВП, верхним пределом для судов с ГО фарм ВМС назвали $h_{го}/B_n \leq 0,2$.

Права, капитаны СВП, оснащенных корпусами ГО, показали, что для таких судов возмущающее колебание при прохождении до $h_{го}/B_n \leq 0,3$. На нормативной плоскости в осях $h_{го}/B_n$ и $\bar{\omega}_0$ (рис. 7.17) выделена зона, в которой согласно



Рис. 7.17. Коэффициент поперечной устойчивости K_0 в зависимости от относительной высоты h_{g0}/B_n : $\odot$ — судостроение; $\bullet$ — СВП, минимальный случай потери устойчивости в опрокидывании; 1 — минимальное значение K_0 ; 2 — Британское ограничение по Правилам авиационного Регистра; 3 и 3а — ограничительные кривые $K_0 = f(h_{g0}/B_n)$

по данным их реальных значений у исследованных судов; 4 — безопасная область; 5 — зона, опасная по соображениям устойчивости

ограничения (7.13) и (7.17) создаваемые можно считать безопасными с точки зрения устойчивости по крену. Статистические данные построены английским и американским С несколькими сантиметрами выше границы h_{g0}/B_n (кривая 3 на рис. 7.17) по сравнению с минимальным, установленным Британским Положением авиационного Регистра.

Учитывая, что показатели устойчивости судна зависят и от положения его центра тяжести по высоте относительно основной плоскости жесткого корпуса, введено ограниче-

(7.17) часто используют параметр

$$\frac{z_g + h_{g0}}{B_n} \approx 0,33. \quad (7.18)$$

Так, кривая, диаграмма статической устойчивости которой была приведена на рис. 7.4, имеет это отношение 0,325. Аппликата центра тяжести СВП, как правило, соответствует диаграмме

$$0,20 = \frac{z_g}{B_n} \approx 0,13. \quad (7.19)$$

Правила Регистра СССР [110] в эксплуатационном режиме требуют проверки поперечной устойчивости от действия ветрового краевого момента, равного произведению давления ветра P'_v , площади парусности A'_v , плеча парусности z' , коэффициента обтекания f' и коэффициента клинуса аэродинамической нагрузки φ :

$$M_{кр} \text{ или } = 0,001 P'_v A'_v z' f' \varphi. \quad (7.20)$$

Здесь P'_v — определяется, как в выражении (7.1), A'_v — величина крена, соответствующая максимальной допускаемой скоростью;

z' — плечо площади парусности определяется как расстояние по вертикали между центром парусности и центром объема клинуса, выделенной избыточным давлением ВП под давлением судна;

f' — как и в выражении (7.1), определяется испытательным методом в аэродинамической трубе для посадки, соответствующий эксплуатационному режиму;

φ — определяется выражением $\varphi = W + 0,9$ в случае, если параметр W , вычисленный выражением

$$W = 0,13 \frac{z_g}{B_n} \sqrt{P'_v}, \quad (7.21)$$

находится в диапазоне $1,4 > W > 0,6$ (здесь V_0 — скорость хода судна, уз).

При выходе W за пределы указанного диапазона Регистр СССР требует специальной согласованки расчета. Следует подчеркнуть, что $M_{кр\text{ вр}}$ как и $M_{кр\text{ вл}}$ по Правилам Регистра СССР за все время нахождения судна считается постоянным в отличие от опыта океанских СВП. Правила Регистра СССР требуют обеспечения такой остойчивости на ВП без хода, чтобы отклонение судна от горизонтальной плоскости не превышало 8° и любые изгибы при всех допустимых состояниях нагрузки, а для пассажирских СВП — при контролируемых перемещениях пассажиров и, частности, при расположении 50% пассажиров своих креслах по одну сторону от ДП; остальные 50% пассажиров располагаются в проходах между креслами в соответствии с Правилами классификации и постройки морских судов.

Правила [110] и рекомендации [139] устанавливают требования в отношении формы жесткого корпуса. Поверхность корпуса судна, расположенная выше или сбоку от линии кресла ГО, должна быть такой, чтобы при действии со стороны волны сил давления (гидростатических или динамических), нормальных к этой поверхности, возникал бы восстанавливающий момент относительно центра тяжести судна. С этой целью (см. рис. 7.18 и 6.26) должна выполняться подрезка корпуса на угол $\alpha_{кр}^*$. Тогда высота ГО и конструкция корпуса принимаются такими, чтобы в режиме на ВП в такой воде без хода касание основного корпуса опорной поверхности (волн, суша) могло происходить не ранее, чем при отклонении крена 9° и угла дифферента 3° (см. рис. 7.18).



Рис. 7.18. Требования к форме жесткого корпуса и характеристикам ГО по Правилам Регистра СССР [110] в части обеспечения остойчивости СВП: 1 — направление действия гидростатической силы на жесткий корпус при нахождении на поверхности воды; 2 — плечо этой силы

Опыт эксплуатации английских СВП выдвигает дополнительное требование к поперечной остойчивости, выражающееся в учете возможности смещения центра тяжести вдоль поперечной оси, что при анатомической ширине СВП закономерно. Считается, что остойчивость должна быть такой, чтобы возникающий критический момент от смещения центра тяжести к борту на $(3...9)\%$ от ширины B_0 мог бы быть компенсирован восстанавливающим моментом без существенной деформации ГО.

§ 7.2. Расчет статической остойчивости СВП. Поперечная и продольная остойчивость при парении СВП над твердым экраном

Наибольшие проблемы в обеспечении остойчивости возникают при парении над водой, но по установленной практике [12], [76] прежде рассмотреть методику расчета над твердым экраном, а затем ввести коррективы, учи-

ткань или переход в другому телу под действием поверхности.

Для наиболее распространенного в отечественной практике 1 типа ограждения, выходящее в поперечном сечении за пределы ВП приближенные сечения к вершине сечения выдвигаются "закупориваемые" ее, возрастающее давление и снижение расхода воздуха. В зависимости от того, падает ли воздух в значении на общего расхода или от отрыва заготовителя возрастание давления по сечению с исходным P_a в качестве верхней границы или P_p , или максимальный напор заготовителя $H_{a=0}$ при нулевом расходе (рис.7.20 и 4.20). В подпитке над вершиной сечения наблюдается падение статического давления

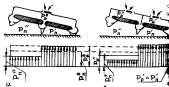


Рис.7.19. Изменение давления при наклонном СВП: а - при общем расходе; б - при индивидуальной запитке каждой секции; P_a^0 , P_p^0 - давление в ВП, в раскоре; при $\theta_{кр} = 0$; P_a^1 , P_p^1 - давление в секциях ВП при $\theta_{кр} \neq 0$; P_a^2 , P_p^2 - давление в секциях раскоре при $\theta_{кр} \neq 0$

(рис.7.20) зависимости характеристика заготовителя в сечении при наклонных сучья на угол $\theta_{кр}$

сравнительно падение сила на подпитке и основной сечении практически всегда мала, чем при $\theta = 0$ (рис.7.20), это приводит к падению высоты h_p подпитки сучья по сравнению с равновесным положением $h_{\theta=0}$.

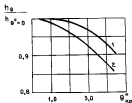


Рис.7.20. Зависимость высоты подпитки СВП от угла арки $\theta_{кр}$: 1 - с разветвленным раскормом; 2 - с неразветвленным раскормом

Анализ экспериментальных данных [77] позволил получить приближенную зависимость для h_p , применяемую для сучья, выходящего из основной схемы, подобную изображенной на рис.7.19,а:

$$h_p = h_{a=0} (1 - \theta)^2, \quad (7.22)$$

где θ измеряется в радианах.

Для дальнейшего вывода по методике, что устойчивости предполагается, что наклонной системы координат O_1, x, y, z предполагается в ДП на основной плоскости, с связанной с поверхностью плоского дна на топа. Тогда характерные размеры h_0, h_1, h_2 возвышение центра тяжести над основной плоскостью z_g и другие значения аппроксимируют и обобщают входят в явный вид, что учитывает их влияние на характеристики устойчивости. Ось $O_1 x$ направлена в лос. основной линии, $O_1 z$ - вверх в ДП через центр тяжести судна, ось $O_1 y$ - вертикально к плоскости об $O_1 y$ на правый борт. Предполагается решение плоской задачи, когда отбрасывают только поперечные или только продольные наклоны, т.е. определяя высоту центра h_0 производится, исходя из условия равновесия судна в вертикальной плоскости:

$$\sum Z = \sum P_{n_i} S_{n_i} - Q = 0. \quad (7.24)$$

Для этого при каждом фиксированном значении угла $\theta_{кр}^0$ необходимо определить величину $P_{n_i} = f(h_0)$, что позволяет найти ту величину h_0 , при которой выполняется условие (7.23).

При наклонении судна, считаясь с метрическим отношением ДП, кроме уравнения равновесия сил в вертикальной плоскости (7.24) рассматривают также уравнение сил в горизонтальной плоскости в проекции на ось y перпендикулярную ДП, и уравнение моментов относительно продольной оси x :

$$\sum Y = P_{стр} - P_{дн} = 0; \quad (7.25)$$

$$\sum M_x = M_{дн} + M_{стр} + M_{сд} - M_{сп} = M_{сд} - M_{сп} = 0. \quad (7.26)$$

Здесь и далее $P_{стр}, z_{стр}$ - боковой реакцией струй воздуха, вытекающего из-под поперечной секции и аппроксимата точки ее приложения;

$P_{дн}, z_{дн}$ - сила сопротивления боковой префры и аппроксимата точки ее приложения;

$M_{сд}$ - момент, вызванный перераспределением давления на поднятой и опущенной секциях;

$$M_{сд} = \sum_i P_{n_i} S_{n_i} y_i; \quad (7.26)$$

y_i - ордината приложения силы подворожения каждой из секций;

$M_{сд}$ - момент от действия силы тяжести;

$$M_{сд} = -Q z_g \sin \theta_{кр}; \quad (7.27)$$

$M_{стр}$ - момент, создаваемый силами, действующими в горизонтальной плоскости

$$M_{стр} = P_{стр} (z_{стр} + z_{дн}) \cos \theta_{кр}^0. \quad (7.28)$$

Сила реакции струй есть проекция на ось y вектора количества движения струй, вытекающих из ВП. Ее можно определить интегрированием по диаметру и по периметру боковой секции, через который воздух выходит из ВП.

Для проективной оценки достаточно найти численно значение величины $P_{стр}$, которое зависит от расхода воздуха из ВП Q_0 и от избыточного давления в резерве P_p . Предполагая, что весь воздух в количестве Q_0 выходит из-под левого борта, и используя выражение (1.16), можно получить

$$P_{стр} = p_{b11} q_0 v_i = 4 \bar{q}_{из} G. \quad (7.2)$$

Получим ограничительное значение для $P_{стр}$, учитывая, что $\bar{q}_{из} = 0,01 \dots 0,025$

$$P_{стр} = (0,04 \dots 0,10) G. \quad (7.3)$$

Эксперимент подтверждает [12], что реальное значение силы $P_{стр}$ принимает углы крива $\theta^0 \approx \theta_{кр}^* \approx 2^0$.

Аппликату центра приложения этой без учета деформаций ГО может быть принята зависимостью

$$z_{стр} \approx \frac{h_g - h_{г0} \cos \theta_{кр}^* - \frac{1}{2} \theta_{кр} \sin \theta_{кр}^*}{2}. \quad (7.4)$$

При малой жесткости ГО и низких значениях κ_p ГО может рассматриваться абсолютно гибким. Тогда предполагается, что сдвигается до угла $(\theta_{кр}^*)_{мин}$, предельно малому жестким корпусом экрана. В этом случае происходит полное аккумулярование оптической нагрузки и увеличение давления в ней до

$$(\theta_{кр}^*)_{мин} \approx \arctg \frac{t_g + h_{г0}}{B_g}. \quad (7.5)$$

Плечо момента сил $P_{стр}$ и $P_{дэф}$ сдвиг от соотношения аппликат $z_{стр}$ и $z_{дэф}$. Значение $z_{дэф}$ у реального судна зависит от жесткости и конструкции ГО, а $P_{дэф}$ может быть примерно или к жесткой кривой или на уровне осевой плоскости, или к те арки гибкого резинера в корпусу-

дринго, при кривизне мачевой или натурной судои, когда исследуются характеристики остойчивости, объект кривит гибкими экранами (шар-ками), прототипами или горизонтальными экранами, на уровне центра тяжести, т.е. $z_{дэф} \approx z_g$.

Таким образом, приложим к судну кривого момента $M_{крив}$, согласно выражению (7.20) можно быть составлено с возникающим отклонением моментом M_θ , который на основе приведенных рассуждений можно вычислить по зависимости

$$M_\theta = \sum_i P_{\theta i} B_{\theta i} y_i + P_{стр} (z_{стр} + z_{дэф}) \cos \theta_{кр}^* - G z_g \sin \theta_{кр}^*. \quad (7.33)$$

При наличии у фигуры, представляющей собой проекцию области ВП на горизонтальную плоскость, скруглений в носу и в корме наблюдается уменьшение M_θ , которое компенсируется введением редукционного коэффициента $\kappa_\theta = 0,85 \dots 0,95$.

Чем больше отличается форма ВП от прямоугольной, тем меньшим должен быть принят этот коэффициент:

$$M_\theta = \kappa_\theta \left[\sum_i P_{\theta i} B_{\theta i} y_i + P_{стр} G (z_{стр} + z_{дэф}) \cos \theta_{кр}^* - G z_g \sin \theta_{кр}^* \right]. \quad (7.34)$$

Здесь, согласно выражению (7.28) $\kappa_{стр} = 4 \bar{q}_{из}$

Анализируя (7.34), отметим, что у СВП с общим подъемным комплексом можно приблизительно определить момент от перераспределения избыточного давления в подветной и отупленной зонах.

При закупоривании огушенной секции можно считать, что избыточное давление в равном давлении в малом расщеве $P_p = \kappa_p P_n$. Тогда часть силы тяжести огушенной секции, воспринимаемая силой сопротивления, возникающей на огушенной секции, ограниченной простыми заданными секционированным катом и бортом, периферийным ограничением (равной по площади $S_n/2$), будет равна произведению $P_p(S_n/2)$. Поднятая секция воспринимает оставшуюся часть силы тяжести $G - P_p S_n/2$. Считая, что каждая из секций распределение давления p равномерным, получим суммарный составляющий момент, возникающий от такого перераспределения давлений:

$$M_{\text{зп}} \approx (P_p S_n/2) \frac{B_n}{4} - (G - P_p S_n/2) \frac{B_n}{4} \approx \frac{B_n}{4} (\kappa_p P_n S_n - G) \approx \frac{G B_n}{4} (\kappa_p - 1). \quad (7.36)$$

Форма полученной зависимости показывает, что момент от перераспределения избыточного давления по площади ВП при рассмотрении компоновки ПК в любой степени определяется величиной коэффициента давления κ_p . Возрастаании $M_{\text{зп}}$ можно добиться увеличением ширины огуны.

Если компоновка подъемного комплекса подобна схеме, изображенной на рис. 7.19, б, аналогично выражению (7.35) зависимость определения составляющего момента примет вид

$$M_{\text{зп}} \approx \frac{G B_n}{4} \left(\frac{H_{g=0}}{P_n} - 1 \right). \quad (7.37)$$

где $H_{g=0}$ — величина напора при нулевой расходе нагнетателя, обусловленного наклоном ската, которую можно получить, имея расклевочную характеристику правяного нагнетателя. Сравним выражения (7.35) и (7.36), следует отметить, что отношение $H_{g=0}/P_n$ может быть в 2...3 раза больше величины κ_p .

Используя приведенные выше выражения для $M_{\text{зп}}$ и выливая точки их приложения, можно получить приближенные зависимости для определения зависимости $M_{\text{зп}} = f(\theta_{\text{кр}})$ при малых углах закрутки ската, закрепленного нагнетателем на уровне III.

Для схемы, изображенной на рис. 7.19, б:

$$M_{\text{зп}} \approx \left\{ \kappa_p \left[\frac{H_{g=0}}{P_n} - 1 \right] / 4 + \frac{\pi g}{B_n} (\kappa_{\text{стр}} \cos \theta_{\text{кр}}^* - \sin \theta_{\text{кр}}^*) - \frac{\kappa_{\text{стр}} \sin 2\theta_{\text{кр}}^*}{8} - \frac{\kappa_{\text{стр}} \cos^2 \theta_{\text{кр}}^* h_{\text{гг}}}{2 B_n} + \frac{\kappa_{\text{стр}} \cos \theta_{\text{кр}}^* (1 - \theta_{\text{кр}}^*)^2 h_{\text{гг}} + t_2}{2 B_n} \right\} G B_n. \quad (7.37)$$

где множитель в фигурных скобках означает в себя все параметры огуны, определяющие ее устойчивость, его называют безразмерным восстанавливающим моментом $\bar{M}_{\text{зп}} = M_{\text{зп}}/G B_n$.

Такое же выражение для $\bar{M}_{\text{зп}}$ соответствует схеме рис. 7.19, а:

$$\bar{M}_{\text{зп}} \approx \left\{ \kappa_p \left[\frac{H_{g=0}}{4} + \frac{\pi g}{B_n} (\kappa_{\text{стр}} \cos \theta_{\text{кр}}^* - \sin 2\theta_{\text{кр}}^*) - \frac{\kappa_{\text{стр}} \cos^2 \theta_{\text{кр}}^* h_{\text{гг}}}{2 B_n} - \frac{\kappa_{\text{стр}} \sin 2\theta_{\text{кр}}^*}{8} + \frac{\kappa_{\text{стр}} \cos \theta_{\text{кр}}^* (1 - \theta_{\text{кр}}^*)^2 h_{\text{гг}} + t_2}{2 B_n} \right] \right\} G B_n. \quad (7.38)$$

Расчет устойчивости СВП с ГО, подобно изображенному на рис.6.15, производится аналогичной схемой. Повышение давления при крене судна на борт происходит только закрытыми ИЭ, которые аккумуляруются так же как наклоненная секция в предыдущем варианте. Хотя здесь отсутствуют секционированные листы ВП киле, повышенное давление создает подъемную силу, действующую на боковой поверхности ДП. Этого оказывается достаточно чтобы иметь удовлетворительный восстанавливающий момент.

Давление в опущенной секции так же, как рассмотренном ранее случае, увеличивается достигая в зависимости от способа вдува воздуха и резерва величины P_p или $M_{оп}$.

Приведенная на рис.7.21 схема возникновения восстанавливающего момента от смещения центра давления, т.е. точки приложения сил поддержки Z в сторону опущенной секции вызванного подгибом ГО, позволяет получить следующую зависимость для $M_{оп}$:

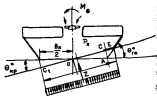


Рис.7.21. Схема, поясняющая механизм возникновения восстанавливающего момента от смещения центра давления в сторону наклоненной

$$M_{оп} = \frac{G \theta_n}{4} \sin 2\theta_{кр} \operatorname{ctg} (\theta_{го}^* + \theta_{кр}^*) \times \\ \times [\operatorname{tg} \theta_{кр}^* \operatorname{ctg} (\theta_{го}^* + \theta_{кр}^*) + 1]. \quad (7.38)$$

Остальные слагаемые выражения (7.25) определяются по (7.27), (7.28) и (7.20). Алгоритм оценки продольной устойчивости совершенно идентичен изложенному выше.

$$M_{\phi} = \sum_j P_{nj} \delta_j x_j + P_{сгр} (z_{сгр} + z_{сгр\phi}) \cos \phi^* - \\ - G z_g \sin \phi^*, \quad (7.40)$$

где восстанавливающий момент M_{ϕ} определяется при дифферентовании судна на угол ϕ^* .

Здесь x_j — абсцисса центра приложения сил поддержки j — й секции области ВП.

Таким образом, характер зависимости, позволяющий оценить продольную и поперечную устойчивость СВП, определяется в первую очередь геометрией и характеристиками ГО области ВП.

§ 7.3. Обеспечение вертикальной устойчивости СВП над твердым экраном и над водой. Устойчивость связи вертикальной устойчивости с динамическими характеристиками судна.

Предотвращение вибрации ГО

Степень статической устойчивости СВП по отношению к вертикальным перемещениям в виде тангенса коэффициента жесткости можно оценить в форме произвольной K_z от подъемной силы Z , создаваемой ВП, по величине вертикальных перемещений x по высоте подъема. Таким образом,

$$Z = P_n S_n. \quad (7.41)$$

то

$$K_z = \frac{\partial Z}{\partial z} = S_n \frac{\partial P_n}{\partial z}. \quad (7.42)$$

Определение величины $\partial P_n / \partial z$ представляет собой задачу чрезвычайно сложную, ибо при определении должна быть учтена и жесткость ГО, и форма характеристики пилотажеля, влияющая на рабочий участок нелинейной характеристики. Для получения качественной картины можно ограничиться лишь учетом влияния механизма подачи воздуха в ВП без обращения к характеристике пилотажеля. Так, для схемы образования ВП производная $\partial P_n / \partial z$ может быть найдена согласно экспоненциальной теории в принятых выше обозначениях:

$$K_z = \frac{P_n S_n}{t_g} \frac{2 \alpha_g}{\alpha_g^2 \alpha_n - 1}. \quad (7.43)$$

Осредненное значение выражения $K_z t_g / P_n$ в [148] предлагается принимать равным следовательно

$$K_z = \frac{P_n S_n}{t_g}. \quad (7.44)$$

Влияние характеристики пилотажеля становится вертикальной устойчивости можно учесть если в выражение (7.42) вместо $\partial P_n / \partial z$ ввести $\frac{\partial P_n}{\partial z} \frac{1}{K_p}$.

Величину производной $\partial P_p / \partial z$ можно определить, используя приведенную в предыдущем параграфе характеристику пилотажеля. Здесь, таким образом, подразумевается учет комбинации

этого комплекса, когда на общий ресивер могут работать один или параллельно несколько пилотажелей, характеристики которых складываются (рис. 7.22). Тогда, обратившись к характеристике осредненно одного пилотажеля

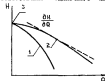


Рис. 7.22. Схема аппроксимации приведенной характеристики сложного комплекса: 1 - расходно-направит характеристика одного пилотажеля; 2 - рабочая точка на приведенной характеристике (учитывающие использование нескольких, в данном случае двух пилотажелей); 3 - $H_{ст} |_{Q=0}$

или комплексной (приведенной) характеристике, величину P_p представляло эмпирически в виде суммы статического напора и части динамического напора, реализуемых пилотажелем [13]:

$$P_p = H_{ст} + P_n \frac{P_{n0}}{2} \left(\frac{Q_n}{F_n} \right)^2, \quad (7.45)$$

то

$$H_{ст} = H_{ст} \Big|_{Q=0} - \frac{\partial H}{\partial Q} Q_n. \quad (7.46)$$

$F_n = \frac{\pi}{4} (d_{рн}^2 - d_{стн}^2)$ - площадь поперечного сечения пилотажеля, у которого $d_{рн}$, $d_{стн}$ -

142

диаметры рабочего колеса и ступицы $\mu_s < 1$ коэффициент расхода [88].

Подставляя в зависимость $P_p = f(Q_n)$ найденные для Q_n , зависимость в свою очередь функций от давления P_p и параметров сечения генератора ВП (сопловой или камерной), не получая алгебраических уравнений, из которого затем получается выражение для P_p подстановившее дифференцирование $\partial P_p / \partial z$ (здесь z — высота газера под кромкой сопла или камеры). Этот метод достаточно точен, но отличается чрезвычайной громоздкостью, а для практического проектирования можно воспользоваться зависимостью из [88]:

$$K_z = \frac{P_n S_n}{t_s} \frac{Q_n}{1 + \frac{Q_n}{P_n} \frac{\partial H}{\partial Q}} \frac{\partial H}{\partial Q} \quad (7.47)$$

Выражение (7.47) аналогично (7.43), но учитывает специфику образования ВП и особенности характеристик нагнетателя. Для типичной камерной схемы (рис. 7.23), преобразуя по формулам давления в сети и считая давление в ВП равным давлению, равнодействующему нагнетателю $P_n = P_{\text{н}}$, установившимся соотношением приращений давления dP и расхода dQ . Этого, воспользовавшись зависимостью

$$Q_n = \mu_{\text{кв}} n t_s \sqrt{\frac{2 P_n}{\rho_{\text{тв}}}},$$

получим

$$dQ = \frac{Q_n}{t_s} dt_s + \frac{1}{2} \frac{Q_n}{P_n} dP. \quad (7.48)$$

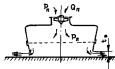


Рис. 7.23. Схема образования ВП в камере; приняты для расчетов вертикальной устойчивости сруба

Согласно графической зависимости нагнетателя (см. рис. 7.22)

$$dQ = \frac{dP}{\partial H / \partial Q} \quad (7.49)$$

Подставляя (7.49) в (7.48), после преобразования установившимся соотношением:

$$S_n \frac{dP}{dt_s} = \frac{P_n S_n}{t_s} \frac{2 \frac{Q_n}{P_n} \frac{\partial H}{\partial Q}}{2 - \frac{Q_n}{P_n} \frac{\partial H}{\partial Q}} \quad (7.50)$$

В итоге получим выражение, аналогичное (7.47) и (7.43):

$$K_z = \frac{P_n S_n}{t_s} \frac{2 \frac{Q_n}{P_n} \frac{\partial H}{\partial Q}}{2 - \frac{Q_n}{P_n} \frac{\partial H}{\partial Q}} \quad (7.51)$$

Косвенная вертикальная устойчивость в [12] позволяет выявить определенную тенденцию. Ее росту способствуют:

— увеличение коэффициента нагрузки $\bar{Q}$ (или $\bar{Q}_0$);

— возрастание крутизны характеристики гнестоя; — переход от содовой к камерной схеме образования ВП.

Поскольку изменены пути распространения волны самого ГО, оказавшейся существенное влияние на вертикальную устойчивость. Следовательно при получении зависимостей для K_x величина преобразуется. В действительности величина (рессорность) ГО зависит от ее геометрии, из конструкции, свойств используемых материалов, т.е., проставляясь, в математической форме выразить невозможно, T_x например, вертикальная жесткость ГО III т. увеличивается с увеличением угла наклона В

к горизонтальной поверхности образующей корпуса и с увеличением высоты внутренних по сравнению с высотой наружного ГО (рис. 6.12). Как отмечалось, у ГО I типа вертикальная жесткость может быть существенно снижена за счет вынуждения количеством и с осью размера, соотношением $h_{H2}/h_{ГО}$ и т.д.

Ряд допущений позволив установить [1], что вертикальная устойчивость судна при качении над водой может быть описана, если известна ее величина над твердым экраном.

Безразмерный показатель вертикальной устойчивости над твердым экраном

$$\bar{K}_x = K_x \frac{1}{\rho_{вг} g S_0} \quad (7.5)$$

для судна, парящего над поверхностью воды, примет вид

$$\bar{K}_{xв} = \frac{\bar{K}_x}{K_z + 1} \quad (7.6)$$

Степень вертикальной устойчивости над водой, так же как продольная и поперечная устойчивость, оценивается по сравнению с ее значением над твердым экраном.

Коэффициенты $\bar{K}_x$ и $\bar{K}_{xв}$ играют дополнительную роль в оценке динамических характеристик судна и, в частности, при исследовании его поведения на возмущенном море, ибо они определяют частоту ω_x и период T_x собственных вертикальных колебаний соответственно над твердым экраном или над водой.

Если рассматривать производную $\partial z/\partial x$ как коэффициент жесткости условной пружины с, выходящей размерности силы на единицу деформации, то частота колебаний по вертикали (1.6) определяется следующим образом:

$$\omega_x = \sqrt{\frac{cg}{\bar{Q}}} = \sqrt{\frac{\bar{K}_{xв} S_0 \rho_{вг} g^2}{\bar{Q}}} \quad (7.54)$$

и период вертикальных колебаний (с)

$$T_x = 2\pi \sqrt{\frac{\bar{Q}}{cg}} = 2\pi \sqrt{\frac{\bar{Q}}{g^2 \bar{K}_{xв} \rho_{вг} S_0}} \quad (7.55)$$

Оценимо, что частота и период собственных колебаний СВП при взаимодействии с волновой поверхностью будут соответствовать амплитуду вертикальных перемещений судна. Наибольшее значение она будет приобретать в резонансных условиях встречи с волной, когда достигается равенство

$$\frac{\omega_x}{\omega_{в}} \rightarrow 1$$

где $\omega_{в}$ — волновая частота встречи с волной (см. (3.36)):

$$\omega_{в} = \omega_0 + \frac{v}{g} \omega_0^2$$

ω_0 - истинная частота волны; Q - скорость по судну.

Поскольку частота встречи судна с волной зависит от его скорости, изменение скор. СВП, можно ослабить интенсивность качки, уменьшив курс относительно основного волнения за счет искусственного увеличения длины $\lambda_{\text{вм}}$ можно значительно уменьшить отрицательное воздействие конкретного состояния моря на параметры качки.

В [165] приводится критерий достаточности вертикальной устойчивости судна в динамических условиях эксплуатации, исключаясь основные характеристики его ПК:

$$\frac{1}{2} \frac{t_s}{n_{70}} \left(1 + \frac{P_{\text{атм}}}{P_n} \right) \left[1 - \frac{2P_n/Q_s}{\partial n / \partial Q} \right] > 1, \quad (1)$$

где $P_{\text{атм}}$ - атмосферное давление воздуха.

Из анализа этого критерия в отношении к выпускаемому можно отметить, что увеличению вертикальной устойчивости способствует:

- увеличение вертикального дзора кромки $Г_0$;
- уменьшение высоты $Г_0$;
- снижение давления в ВП;
- увеличение расхода воздуха через ВП;
- увеличение крутизны характеристик гнетения.

Если научение динамики проактиру судна на волнении проактирует на модели, согласно табл.1.1 можно видеть, что характеристика ее гнетиетатия должна быть крутой, чем для натурального объекта. Тем угла наклона характеристике у модели следует быть в $m^{3/2}$ раза больше, чем у натурального объекта (m - масштаб модели). Научение

модельной устойчивости при колебательных судна ставляется с одной из самых сложных, при моделировании динамики СВП проблем, связанных с учетом сжимаемости воздуха в области ВП. Необходимость включения в анализ динамики колебательного давления воздуха в ВП, а полностью давления, т.е. суммы атмосферного $P_{\text{атм}}$ и колебательного P_n , приводит к немоделируемости по числу Фруда физических процессов, что может вызывать значительные погрешности в оценке динамических характеристик объекта сравнения и в качественном, и в количественном отношении.

В [162] показано, что полученные по результатам модельных экспериментов значения вертикальных ускорений имеют тех, которые соответствуют натурным условиям. Моделирование динамических характеристик затруднено по следующим причинам:

- немоделируемость атмосферного давления;
- различие спектров волнения в натурных условиях и в бассейне;
- способности в реализации подобия: характеристик гнетиетателей натур и модели, их кинематических характеристик, всех геометрических и физических особенностей натурального объекта модели;
- несовместимость пульсаций давления в ВП, что связано с влиянием сжимаемости воздуха.

Эта проблема тем существеннее и сложнее, чем выше мореходность судна, т.е. больше объект ВП и особенно ее высота. Научение перерасчет динамических характеристик СВП с модели на натуре возможен при наличии условий регулируемости (моделируемости) атмосферного давления и (или) при испытаниях моделей, изготовленных в двух масштабах, отношении которых по сравнению с натурным объектом

ством равно 4, что позволяет выявить эффект нелинейного эффекта [162].

Одна из проблем динамики и устойчивости СВЧ состоит в нахождении путей преобразования и генерации колебательных процессов возникновения которых связано с процессом на судах ГО. Речь идет о низкочастотной высокочастотной вибрации. Низкочастотная вибрация (чаще всего 1-3 Гц), самопроизвольно возникающая (иногда и при малой скорости), сопровождается циклическими колебаниями Φ наддувного ресивера, что вызывает чередование увеличения и уменьшения (относительно расчетного его значения) зазора под конкой крышки НЗ. Возникновение такого процесса связано с циклическим изменением расхода воздуха или при резком изменении расхода воды магнетатами, или с движением над конкой поверхности моря, а также с колебаниями судна над волнами, мной и т.д. Такие незначительные изменения расхода воды и давления в ресивере или в ВП вызывают скачкообразное перепады давления между ресивером и ВП, что и приводит к изменению формы конки, а затем и высоты ГО. В разных условиях мейбт, обычно, не одну рабочую точку на характеристике магнетата, а две рабочие точки, обусловленные возникновением доброго спонтанного колебательного процесса (рис.7.24). На понижении судна это явление проявляется, если возникшая вибрация по тональности равна частоте собственных вертикальных колебаний судна ω_g . Резонанс может возникнуть не только ГО, но и пусковых конструкций. Приспособление этого явления достигается, применяя значительное значение давления K_p за пределами рабочей зоны 3 на рис.7.25 [163], т.е. беря его из условий $1,2 > K_p > 1$ или $K_p > 1$

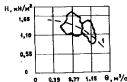


Рис.7.24. Зона рабочих точек на характеристике магнетата при модификации высокочастотной вибрации (на море - 3 Гц, а в пересчете на СВЧ BRN*6 - 1,89 Гц): 1 - характеристика магнетата в статике

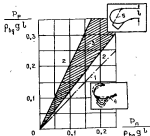


Рис.7.25. Рекомендации по созданию высокочастотной вибрации ГО: 1 - соотношение $P_p/P_n = 1,0$; 2 - зона устойчивого функционирования ГО; 3 - зона резонансного возникновения высокочастотной вибрации; 4 - изменение формы ГО за один цикл высокочастотных колебаний; 5 - антивибрационная диафрагма (отделка)

150

На практике, однако, устанавливая для $\sigma_{\mu} > 1,4$, сталкиваются с проблемами устойчивости при этом в мощности, потребляемой подвижными контуром, и сопротивлением движению судна, и усиления килевой качки на волнении. Эти обстоятельства затрудняют использование рассмотренной рис.7.23. По этой причине широкое распространение получил механический способ уменьшения высокочастотной вибрации, выражающейся в установившемся амплитудированном отклике диафрагмы (см.рис.6.3 и 6.28).

Кроме высокочастотной вибрации ГО их Р подвержены высокочастотной вибрации (10...20) Г. Колебания силовых воздействий на изделие по направлению времени момента (амплитудовременная область см.рис.6.3) являются источником такой вибрации. Это вызывает ускоренный износ кромок кромок из-за повышенного истерического материала одного элемента с другой, из-за разрушения обладающих способ от циклического изгиба в условиях колебаний в космическом вакуумном потоке, из-за разрывов в уплотнительных стыковых элементах и возникновению воздушных респираков. Другим источником высокочастотной вибрации является движение ГО на поверхности синусоидальной волны, с чем связано то, что вызывает значительные вертикальные перегрузки, которые достигают значений нескольких десятков чисел g , а следовательно износ кромок элементов, как отмечалось, может приводить к вертикальным перегрузкам и в несколько тысяч g , но с очень высокой частотой (см.рис.6.34).

§ 7.4. Статическая устойчивость над водой "на столе" и на ходу, ее связь с проектными характеристиками судна

При парении над водой наблюдается весовой суммирование (в 1,2-1,5 раза) статической устойчивости по сравнению с их значениями над твердым экраном.

В свою очередь устойчивость над водой зависит (см.рис.7.6) от величины коэффициента наклона μ . В уравнениях (7.24) и (7.25),

соответствующих случаю парения СВП над твердым экраном, сменялись силы и моменты, вызванные действием струй воздуха, вытекающих из области ВП, и дрейфом судна под действием силы $R_{стр}$. При парении судна над водой их влиянием можно пренебречь, так как парящее судно "проваливается" во волну под его днищем, из-за чего направление вылета струй воздуха происходит под углом T_a к горизонтальной поверхности (см.рис.2.6). Это значительно уменьшает горизонтальную составляющую реактивных сил, обозначенную здесь $R_{стр}$, и при общей тенденции к уменьшению расхода воздуха из ВП Q_d дает $R_{стр} \cdot P_{двг} \cdot M_{стр}$ пренебрежимо малыми.

При висении во впадине силы сопротивления дрейфу $P_{двг}$ складываются с давлением на том же уровне по вертикали, что и $R_{стр}$. Анализ поперечной устойчивости СВП на парении над водой базируется на уравнении:

$$\sum Z = \sum P_{\mu} S_{a1} - G = 0; \quad (7.57)$$

$$\sum M_x = M_{xв} + M_{xв} - M_{кр} = M_{в} - M_{кр} = 0. \quad (7.58)$$

Принципы определения всех входящих в эти уравнения слагаемых идентичны случаю крена судна над твердым дном. Основная проблема заключается в определении P_n в подпояте и осевой линии на деформированной поверхности воды.

В связи с этим целесообразно воспользоваться понятием вертикальной статической устойчивости, рассмотренной выше. Действительно, а речь идет об изменении подъемной силы с изменением высоты подъема над поверхностью дна (см. выражение (7.42)).

Если рассматривать согласно рис. 7.26,

$$M_\theta = M_{\text{вп}} - G z_g \sin \theta_{\text{кр}}. \quad (7.58)$$

то

$$M_{\text{вп}} = \Delta P_n \frac{B_n}{2} \frac{B_n}{4}; \quad (7.59)$$

$$\Delta P_n = (P_n)_1 - (P_n)_2; \quad (7.60)$$

$$\theta_{\text{кр}} \approx \text{tg } \theta_{\text{кр}}^* = \frac{\Delta h}{B_n/2}. \quad (7.61)$$

Подставив эти зависимости в (7.58) перейдем к относительной метакентрической высоте, для чего в соответствии с (7.5) должны все члены равенства (7.58) на произведение $(G B_n \theta_{\text{кр}})$, получим

$$\bar{m}_x^0 = \frac{\Delta P_n B_n B_n^2}{16 G B_n \Delta h} = \frac{G z_g \sin \theta_{\text{кр}}}{G B_n \theta_{\text{кр}}}. \quad (7.62)$$

Пренебрегая при малых углах крена $\theta_{\text{кр}}$, $\sin \theta_{\text{кр}} / \theta_{\text{кр}} \approx 1$, а $\Delta P_n / \Delta h \approx \partial P / \partial z$,

воспользовавшись выражениями (7.42), (7.52) (7.63), получим

$$\bar{m}_x^0 + \frac{z_g}{B_n} = K_x \frac{B_n}{16 G} = \bar{K}_x \frac{P_{\text{вп}} g B_n B_n}{16 G}. \quad (7.64)$$

Зависимость (7.64) позволяет сделать вывод о том, что безразмерная устойчивость с учетом нагрузки судна (без изменения положения ее центра тяжести) совпадает, что подтверждается и модельными экспериментами.

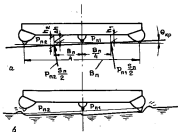


Рис. 7.26. Схема действия восстанавливающего момента, возникающего от перераспределения давлений в опущенной (справа) и в подпояте (слева) секциях ВП; а — над твердым дном; б — над поверхностью воды

Пользуясь (7.63), можно перейти к характеристике устойчивости над водой

$$\frac{\bar{m}_{\text{вп}}^0 + z_g/B_n}{\bar{m}_x^0 + z_g/B_n} = \frac{K_{\text{вп}}}{K_x} = \frac{1}{\bar{K}_x + 1}. \quad (7.65)$$

Начальную поперечную метасимметрическую кривую над водой, в соответствии с понятием $\bar{K}_{XB}$ и $\bar{K}_X$, можно представить в функции

ее значения при крене над твердым дном

$$\bar{m}_{XB}^0 = \bar{m}_X^0 \frac{\bar{K}_{XB}}{\bar{K}_X} - \frac{Z_0}{B_n} \bar{K}_{XB} \quad (7.27)$$

откуда видно, что устойчивость СВП над дном действительно существенно ниже, чем над твердым дном. При достижении угла крена, когда надводный ресивер входит в воду, следует восстанавливающие моменты, учитывая не только моменты, возникающие из-за перераспределения избыточных давлений в подкастовой и опущенной секциях, но и от действия гидростатических сил, возникающих на опущенной в воду части корпуса габричного ресивера, на котором вода вытесняется всосухом избыточного давления P_p . При углах крена $\theta_{кр} > 15^\circ$ необходимо не учитывать влияние ВП под действием суша. В то же время оценка характеристик устойчивости с использованием, например, выражения (7.88) носит весьма приблизительный характер, поэтому на практике лучше проводить дальнейшую разработку более точного алгоритма расчета обшивки, как правило, в исследовании устойчивости над водой на симметризованных моментах. Следует, однако,ратить особое внимание на необходимость деления не только геометрии судна и ГО, но и характеристики установленного оборудования.

С момента начала движения парного поперечностью воды суша и при отсутствии такта ГО с водой наблюдается минимальный впадины под днищем (см. рис. 2.11), остаются волны на водной поверхности, дифференцируется. Это в дальнейшем

скоростей хода приводит к дальнейшему снижению устойчивости по сравнению с ее показателями над твердым дном, что иллюстрируется экспериментальной зависимостью $\bar{m}_{XB}^0$:

$$\bar{m}_{XB}^0 = f(Fr_L) \text{ по [119], рис. 7.27. Здесь } \bar{m}_{XB}^0 \text{ —}$$

дальняя поперечная метасимметрическая кривая на скорости ψ , соответствующая текущему значению Fr_L .

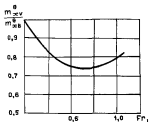


Рис. 7.27. Изменение поперечной устойчивости СВП в зависимости от скорости хода над водой

При дальнейшем увеличении скорости хода деформация поверхности под действием избыточного давления в ВП становится пренебрежимо малой и после $Fr_L \approx 1,5$ $\bar{m}_{XB}^0 \approx \bar{m}_X^0$.

В то же время графическую зависимость по рис. 7.27 следует рассматривать как качественную характеристику. Требуется для каждого сочетания заданных углов крена, дифференциала, дрейфа, коэффициента погружения, расхода воздуха, типа ГО комплекс обширных испыта-

ний и на модели, а затем, после построения, на натурном объекте в процессе точных испытаний.

Испытания модели СВП в опытовом бассейне [4] показывают, что:

- увеличение коэффициента нагрузки

(или $\bar{Q}_L$), вызывающее увеличение волнообразия на поверхности воды в начальный период движения (при $Fr_L = 0,166$), может вызвать снижение начальной метасредней высоты на 40...50%.

- наибольшее влияние на изменение поперечной устойчивости в начальный период движения оказывает начальный угол дифферента при дифференте судна на нос, когда волновое резонансное увеличивается, парение возрастает, вынужденного момента M_{δ} наблюдается в широком диапазоне скоростей и по характеру идентично изображенному на рис.7.27. Явление снижения начальной поперечной устойчивости при малых скоростях хода сильно смягчается при дифференте судна на корму, что объясняется тем, что явление сил гнзоспривлечения на кормовых участках ГО.

Продольная устойчивость на малых скоростях хода над водой существенно зависит от значения начального угла дифферента. Дифферент на нос резко снижает начальную продольную устойчивость, ее накапливание и на высоких скоростях хода в связи с опасностью возникновения явления подлома ГО (см. § 7.5).

Как отмечается в § 7.5 и подтверждено экспериментально [4], сочетание начального угла прорыва, крена и дифферента практически во всех сочетаниях снижает показатели начальной, продольной и поперечной устойчивости малых скоростей хода над водой по ср-

авию с режимом "на стояне". Отмечается также сложность обеспечения устойчивости СВП при движении шагом в направлении хода, т.е. для угла прорыва $\beta^0 = 90^0$. При этом имеет значение наличие начального крена и его знака: на наветренный борт (борт, расположенный навстречу потоку) или на подветренный борт (борт, противоположный набегающему потоку). Крен на подветренный борт по существу во всем диапазоне скоростей хода резко снижает устойчивость СВП в таких условиях движения.

Последние рекомендации вместе с тем являются лишь демонстрацией сложности исследования устойчивости, ибо аппроксимировать ее зависимость в столь сложных сочетаниях параметров и характеристик, на все влияющих, на сегодня не представляется возможным.

$$M_{\delta} = f(\bar{Q}_L, \bar{Q}_{\text{ан}}, \kappa_p, (\theta_{\text{кр}})_{\text{ант}}, \varphi_{\text{нач}}, \beta, \dots)$$

$$\frac{h_{\text{ан}}}{h_{\text{гр}}} \cdot E_{\text{го}} \cdot \frac{h_{\text{гр}}}{B_n} \cdot \frac{\partial H}{\partial Q} \cdot \frac{x_{\text{г}}}{B_n} + \frac{\Delta x_{\text{гг}}}{\Delta x_{\text{гг}}} \cdot \dots$$

То же имеет место и при исследовании продольной устойчивости.

По этой причине единственно надежным источником получения критерия устойчивости остается моральный и (или) натурный эксперимент.

§ 7.5. Динамическая неустойчивость формы ГО и методы ее предотвращения. Борьба с подломом и затоплением ГО

У многорусных ГО, оснащенных наплавными гидроприводными элементами или сегментами, широко распространенных на СВП амфибийного и

скетского типа, на высоких скоростях контактной воде и на волнении зафиксирована отбывшая склонность к потере формы. Наблюдается смещение передней по курсу движущейся ВП в корпус в результате гидродинамических взаимодействий на носовые элементы ГО. Прогрессирующий излом контактирующих с поверхностью воды конструктивных ГО вызывает затягивание оградителя под действием волнения и сдвигание его по высоте. Вследствие воздействия гидродинамического сопротивления (суммарное сопротивление при этом $R/\rho g = 0,8...0,8$), боковая часть которого приложена на передней кромке ГО, и вращающий момент смещения центра давления в корпус приводит резкому снижению скорости, стремительно развивающемуся дифференциальному сдвигу на вод, в результате, к касанию поверхности воды жонгли корпусом или даже к опрокидыванию.

Процесс затягивания ГО по стадиям показан на рис.7.28. Иницируется затягивание как правило, смещением центра тяжести судна в нос от середины длины судна, появлением нарастающего вращающего момента, создаваемого ГО, изгибом, деформацией или на аварийном, чужом оперении, увеличением расхода воды в передней секции ВП, смещением давления гибкого ресивера. Каждое из этих обстоятельств



Рис.7.28. Процесс затягивания ГО под корпусом: а - профиль ГО над тихой водой; б - средине ГО; в - средине ГО на длине l (с которой элемент ВП); в - максимальное уклонение

(или на комбинированно) приводит к опусканию носовой судна и контакту носового ГО с водой.

Затем происходит быстрое торможение судна, сопровождаемое с нарастающим отрицательным углом дифферента и появлением толчков и разбегу СВП. Можно отчетливо выделить две фазы этого процесса (рис.7.29): первая фаза длится (10...20) с и характеризуется сравнительно медленным уменьшением дифферента (величина угловой скорости падает в пределах (0...0,1) град/с), окончание первой фазы соответствует моменту касания воды нижней кромки ГО; вторая фаза по характеру и продолжительности в значительной степени зависит от конструктивных особенностей ГО и по времени занимает не более (4...8) с. Затягивание ГО на волнении сопровождается с определенными значениями частоты встречи их с волнами, когда периодические усилия от контактов ГО с водой приводят к потере устойчивости носовых элементов, которые не успевают восстановить свою форму и увеличиваются набегивающие волны под борт.

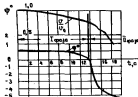


Рис.7.29. Развитие процесса затягивания лаварусного ГО

На возмущенном море затопление особенно вероятно на попутном волнении (малые колеблательности попутная зыбь, близкая регулярному волнению). В этих условиях резкие частоты встречи с волной достигаются при достаточно высокой скорости движения, что в сочетании с чрезвычайноым увеличением килевой качки ведет к затоплению носового.

Затопление ГО и из подлодом возможно только над водой, но и над сушей. Развитие затопления ГО способствует внезапное изменение состояния скорой поверхности, что является переходом со спокойной поверхности воды на возмущенную, попаданием на килевую струю от проходящего встречного судна, прохождением границы глубокой воды мелководья, скором с ледовой поверхности льду. Нарастание скорости хода судна сопровождается увеличением дифферентного на момент тяги расположенных высоко над водой воздушных винтов, что способствует изменению килевого дифферента и повышению скорости ГО, интенсивно прогрессирующего и заканчивающегося затоплением и подлодом.

До сих пор не создана адекватная модель процесса затопления и подлода ГО, и существует несколько объяснений этого явления.

По данным В.В.Ключко [72], на тихой воде оно возникает вследствие падения давления в носовых секциях ВП при взаимодействии вытекающих из под ГО воздушных струй встречным потоком. Такое падение, однако, превышает 10%, но при начальных килевых отрицательных углах дифферента этого может оказаться достаточно для возникновения процесса затопления ГО. По данным [168] затопление ГО также связано с падением давления в носовой части ВП, но вызывается интенсивным потоком брызг в этом месте,

создаст определенную циркуляцию воздуха, вызывающую перепады давлений. Было зафиксировано 20%-ное понижение давления в этой зоне по сравнению со средним давлением в ВП.

Процесс затопления ГО изучается на моделях СВП и опытных бастайнах с целью определения зоны центровок и скоростей, с которых начинается потеря устойчивости и складывание ГО.

Особенно опасно затопление ГО при маневрировании СВП, идущего с дрейфом, что часто бывает под действием ветра, а циркуляция лишь увеличивает дрейф. Углы дрейфа β° могут достигать $(60...80)^\circ$, и из-за значащегося процесса затопления передних по толку кромок ГО под корпус восстанавливающий момент уменьшается в несколько раз или обращается в дестабилизирующий (рис.7.30). Мозаичные испытания позволяют построить зону допустимых углов дрейфа и скоростей хода, при которой восстанавливающий момент положительный, то предотвращает опрокидывание на циркуляции во время маневрирования.

$$\bar{M}_0 = \frac{M_0}{Q B L}$$

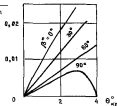


Рис.7.30. Влияние угла дрейфа на диаграмму расчетной устойчивости амфибийного СВП

Так, для СВП 3RN°5 (рис.7.31) неизменно с углом дрейфа и увеличением безопасности при скоростях хода, соответствующих $Fr_L < 1,0$. С увеличением скорости опрокидывание здесь возможно и при малых углах дрейфа. Другой вид ограничительной кривой для достаточно широкого диапазона моментов $\bar{Q}_L, \bar{Q}_{\text{пл}}, \bar{P}_0$ дан на рис.7.32. Такая безопасность при маневрировании для предотвращения быстронарастающего дрейфа для рассматриваемого судна достигается как самим углом перекачки, так и ее скоростью. Особую опасность, однако, в себе увеличивает угол дрейфа. На начальной стадии поворота и затопления ГО наблюдается интенсивно нарастающий замык ГО, при котором судно начинает испытывать воздействие противодействия замыку. Как показывает анализ сопротивления от замыкания ГО [139], бо-

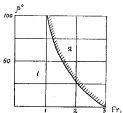


Рис.7.31. Ограничения углов дрейфа СВП в широком диапазоне скоростей хода: 1 - безопасная зона; 2 - область возможного опрокидывания судна

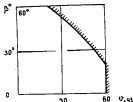


Рис.7.32. Допустимые углы дрейфа β° английского СВП 3RN°5 в зависимости от скорости хода

тесть что на высоких скоростях хода при движении лагом приложена к передней по потоку бортовой части ограничительная, что создает значительный стабилизирующий момент. Это составляет 1/2...2/3 от общего замыкающего сопротивления, вызванного замыканием, включая и сопротивление, создаваемое сакониврующим ГО (если оно имеется). Следует отметить, что на скоростях хода, соответствующих "горбам", эффект возмощающегося кривохода с уменьшением замыканий повторяется и, следовательно, к уменьшению сопротивления от замыкания ГО.

В то же время при движении СВП лагом с малой постоянной скоростью, как, например, при попутном ветре, наблюдается резкое падение характеристик устойчивости, способствующее интенсивному развитию отрицательных углов крена, подтому к затоплению ГО, происходящих при определенных значениях кренового момента и опрокидыванию судна.

На рис.7.33 приводятся результаты эксперимента на двухмерной модели, показывающие

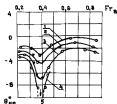


Рис.7.33. Зависимость угла крена модели СВП от скорости хода при значениях критического момента $M / g B n$: 1 - 0,012; 2 - 0,016; 3 - 0,020; 4 - 0,022; 5 - опрессовывание

влияние значения безразмерного критического момента $M / g B n$ на посылку модели в зависимости от скорости ее хода, выраженной в виде числа Фруда, отнесенного здесь к скорости ВП $Fr_B = \frac{v}{\sqrt{g B n}}$. Видно, что с увеличением

числа Фруда, соответствующего $Fr_B = 0$, что объясняется характером воздействия области ВП на водную поверхность. При этой скорости по длине ВП (у судна, движущегося относительно воды) укладываются две волны генерируемых волн (см. рис.2.11), [12].

модель оказывается на середине шарнира B_n как раз под создаваемой областью ВП при

данным заданным килем, который в этих условиях стремится противодействовать созданию несимметричного момента.

Отсутствие математической модели, позволяющей описывать процесс затопления ГО, компенсируется в практике проектирования большими объемами модельного эксперимента в опытовых бассейнах. Преимуществом является самонастройка управляемых моделей, испытываемых на открытой водной поверхности имитировать любую аварийную ситуацию.

Наряду с этим следует указать, что такое же труднее в организмах экспериментов (особенно в опытах в бассейнах), наличие масштабного эффекта (в частности, трудно реализуемая возможность моделирования свойств материала ГО и коррозионностойкой характеристики металла) приводит к тому, что рекомендации по проектированию водопроводов и затопления ГО, полученные на моделях (рис.7.34), могут отличаться далеко от практики допустимых на натурном объекте.



Рис.7.34. Сравнение натуральных и модельных исследований условий возникновения подтопа ГО в зависимости от скорости центра тяжести КВП (v/L_n) в нес относительно скорости движения L_n и скорости хода судна: 1 - натурные испытания; 2 - модельные испытания (масштаб модели 1/12); 3 - скорость подтопа ГО; 4 - устойчивое движение КВП; 5 - нормальная ИТ КВП относительно скорости движения

Это обстоятельство требует большого или исследованной динамической стойкости после его постройки в процессе эксплуатации судна в эксплуатации.

В отечественной и зарубежной практике разработаны большой комплекс конструктивных мероприятий, способствующих ограничению затопления и подтопления ГО, отодвигания или сдвигания этого процесса (как это показано на примере исследования механизирования судна с дрейфом) [188], [118], [54], [188].

1. Увеличение вертикальной, продольной поперечной устойчивости судна соответствует за счет ограничения на показатели характера ПК в секционировании области ВП.

2. Жесткая регламентация амплитуды минимума коренного дифферента в интервале сификационных скоростей СМП, с тем чтобы обеспечить судну запас по дифференту при затоплении и не доводить дифферент до значения, в котором оно возможно.

3. Специально регламентированным, описанным выражениями (6.15)-(6.17), (6.21), (6.22) обеспечиваются предельно гибкому резервуару бортовой участок и в носовой оконечности такой формы, при которой при воздействии гидростатической сил в процессе затопления ИЗ в носовом ограничении стремится сползаться по вертикали без затопления под жесткий корпус соответствующего сечения и ту же сторону границы ВП (рис.7.35). Выявление заплывающей воды через наружной лопки крепления гибкого резервуара на борту и особенно в носу выталкивание оттока увеличения радиуса кривизны его образований. К этой группе мероприятий относятся и введение секционирования лопки общего гибкого резервуара при помощи фрагментирования, имеющих автозащитные элементы (см. рис.6.6). Аналогичное влияние



Рис.7.35. Поведение на волнении ГО, складывающегося по вертикали без потери площади ВП: а - тихая вода; б - средние условия, l_1 - длина замыка ГО без потери площади ВП; в - экстремальные условия, l_2 - протяженность замыка ГО с увеличением площади ВП

имеет увеличение коэффициента K_p для гибкого резервуара носовой части ГО, а также привнес более полных в плане формы оторванных ВП в носовой оконечности. Анализ этой группы рекомендаций показывает, что предотвращение затопления ГО достигается увеличением амплитуды изгибов в материале гибкого резервуара.

4. "Покраска" угловых участков корытного ГО, т.е. увеличение общей высоты ГО от носа к корме в виде клина при неизменной ширине судна, способствующая увеличению дифферента на корму, что отодвигает процесс затопления.

5. Увеличение вертикальной жесткости корытного ограничения и обеспечение автоматического регулирования его высоты на режимах, при которых судно испытывает интенсивную вертикальную качку. Это достигается увеличением в корытной секции гибкого резервуара коэффициента K_p , использованием многоуровневого гибкого резервуара и других конструктивных приемов, способствующих беспрепятственному складыванию его по вертикали.

Глава 8. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОМПЛЕКТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ АСВП

§ 8.1. Простые аспекты комплектации ЭУ и обеспечения условий ее функционирования на АСВП

Перед разработчиками ЭУ СВП стоит комплексная задача получения движущей и полезной сил и обеспечения функционирования судовых систем и устройств, для которых топливный момент или другое виды энергии отбираются или непосредственно от главного двигателя, или от входящих в состав ЭУ трансмиссий.

СВП, как видно на рис.8.1, имеют очевидные преимущества перед водовихровыми судами, глиссерами и СЛК в интервале скоростей от 80 до 100 уз.

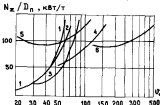


Рис.8.1. Удельная энерговооруженность различных транспортных средств в функции от развиваемой скорости: 1 — водовихровые суда; 2 — глиссеры; 3 — СЛК; 4 — СВП; 5 — вертолеты; 6 — вертолеты

Здесь следует отметить, что каждая из представленных на рис.8.1 зависимостей соответствует некоторому гипотетическому транспортному средству соответствующего типа и представляет собой модифицированную кривую зависимости $N_{\text{ж}} = f(U)$, но при этом же может

служить количественной характеристикой СВП или любого другого из рассмотренных типов транспорта.

С помощью теории подобия можно показать, что использование удельной энерговооруженности $N_{\text{ж}}/D_{\text{п}}$ в качестве критерия сравнения некорректно, так как с изменением размеров сопоставляемых судов изменяется и величина $N_{\text{ж}}/D_{\text{п}}$. При пересчете с модели (масштаб m) на натуру получаем:

$$(N_{\text{ж}}/D_{\text{п}})_{\text{н}} = m^{1/2} (N_{\text{ж}}/D_{\text{п}})_{\text{м}}. \quad (8.1)$$

Анализируя сказанное выше и учитывая условия эксплуатации СВП при проектировании его ЭУ, следует исходить из ряда обстоятельств, приведенных ниже.

1. Графические зависимости $N_{\text{ж}}/D_{\text{п}} = f(U)$

аналитически подтверждают, что несмотря на преимущества СВП перед другими типами судов, энерговооруженность их весьма велика и в указанном интервале скоростей составляет от 50 до 80 кВт/т сухой массы.

2. Специфичность кривой сопротивления (см. рис.5.6) — в наличии характерного "горба" в диапазоне скоростей (30...40%) от расчетной скорости хода U . Величина суммарного сопротивления при "горбистой" скорости часто бывает сокращена, а при определенных соотношениях характеристик судна может и превышать по величине сопротивление движению на зенитном ходу. Преодолеваемое сопротивление

движению существенно зависит от условий протекания, и по мере увеличения интенсивности волнения и ветра на том же режиме работы двигателя скорость падает на (30...40)% сравнению со скоростью U_0 , развиваемой в условиях тихой воды.

3. Условия выбора и эксплуатации ЗУ определяются наличием двух основных параметров потребителем мощности — количеством движательной мощности. Первый из них практически стационарно нагружает ЗУ, а второй имеет резкими нагрузками от крутилого до максимального в зависимости от скорости хода условий эксплуатации. Это обстоятельство делает необходимым или дробление суммарной мощности ЗУ при помощи агрегатов, или использование ПК в ДДК, или оснащение судна одной ЗУ с использованием распределительного редуктора, с возможностью перераспределения потребляемой мощности между двумя потребителями.

4. При функционировании ЗУ должны учитываться влияющие струйные течения воздуха на-под ВП оборудования (над судном — замкнутость) воздуха, окружающего судно. Наличие пыли, песка, капель воды, содержащих морскую соль, значительно затрудняет условия эксплуатации ГД, ставя проблему воздухоочистки, т.е. очистки его от посторонних примесей.

5. ЗУ работает в динамических условиях, выражающихся в действующих на нее перегрузках в горизонтальной плоскости и по вертикали, при частой смене режимов и нагрузок с стороны потребителей, особенно на предельном исполнении.

6. Необходимо учитывать жесткий температурный режим работы ЗУ, когда температура окружающего воздуха предполагается от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

ЗУ СВП (см. рис. 4.1) включает в себя многообразный комплекс механизмов, обслуживающих их системы, оборудования и устройства, предназначенных для генерирования механической энергии, используемой в свою очередь для создания и поддержания всей или части тяговой силы и для обеспечения движения СВП, а также для работы разного рода судовых механизмов, устройств и систем.

В состав ЗУ по своему составу входят:

- главный двигатель (один или несколько);
- силовые передачи (трансмиссии);
- двигатели;
- воздушные компрессоры, являющиеся, таким образом, и компонентами ЗУ в ПК (см. главу 4);
- вспомогательные механизмы, системы, устройства, трубопроводы, обеспечивающие работу ГД, судовых систем, устройств и источников электроэнергии.

В отечественной практике часто используется понятие силовой установки, под которой понимают совокупность главного двигателя и силовой передачи. Учитывая специфику условий эксплуатации ЗУ СВП, а ГД представляются следующими требованиями:

- 1) ограничение (минимизация) по удельной массе (масса судного двигателя на единицу мощности), габаритам, удельному расходу топлива и смазочного масла в широком диапазоне мощности, стоимости агрегата, вибрационно-акустическим характеристикам;
- 2) большой агрегатной мощности;
- 3) работа двигателя на дешевых сортах топлива, температура всасывания которого не ниже 43°C ;
- 4) простота монтажа, демонтажа и обслуживания;
- 5) высокая степень автоматизации и возможность работы на ходу без обслуживания механизмов.

6) простота регулирования выходной мощности и исключительное уменьшение КПД двигателя на перывальных режимах его работы;

7) простота и надежность запуска (в широком диапазоне температур окружающего воздуха);

8) возможность работы в условиях крайнего дефицита, преодоления динамических перегрузок;

9) приемлемый моторесурс двигателя в широком диапазоне эксплуатационных режимов (по развиваемой мощности);

10) способность работать в присутствии СЭМ метеоусловных, при значительной загрязненности или обводненности воздуха;

11) исключение возможности пожара газовой турбины;

12) включение в состав ЭУ устройства, обеспечивающего возмещение потерь при взрыве ГД (исходя из высокой пожароопасности леготопливных корпусов СЭП);

13) высокая эксплуатационная надежность, исключение возможности развала двигателя крупных разрушений при аварии.

Из перечисленных требований наиболее важными являются те, которые касаются ограничений по массе. На многообразие типов двигателей, используемых на транспорте, наиболее приемлемыми оказываются ГТД авиационного типа в морском исполнении и ВД (рис.8.2). Большинство средних и крупных СЭП оборудованы ГТД, лишь в последнее время появляются суда, оснащенные ВД с воздушным охлаждением.

Данные по наиболее типичным зарубежным ГТД и ВД, приемлемым для СЭП, представлены соответственно в табл.8.1 и 8.2, из которых видно, что диапазон мощностей ГТД одного агрегата весьма широк - (0,5...35) тыс.

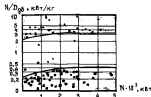


Рис.8.2. Удельная агрегатная мощность (отношение мощности к массе сухого двигателя) приемлемых для использования на СЭП ГТД в морском исполнении и высокооборотных дизелей (воздушного и водяного охлаждения)

к то время как ВД воздушного охлаждения имеют ограниченный диапазон мощностей (50...400) кВт. Международный рынок более насыщен ВД водяного охлаждения. Интервал агрегатной мощности у них, будучи более широким, расширяется до 7 тыс.кВт, однако переход на воздушные радиаторы при чрезвычайно больших тепловых затрудняет отвод тепла, так как это вызывает увеличение массы ЭУ и рост габаритов системы охлаждения.

Учитывая массовую энергооборудованность СЭП, авиационные типы ГД имеют преимущества с точки зрения минимизации их собственной массы, а также массы всей ЭУ. Согласно [163] в среднем, приведенным в табл.8.1, 8.2 и на рис.8.2, удельная масса сухого двигателя (кг/кВт) приблизительно может быть определена с помощью выражения:

Характеристики зарубежных судовых

Марка ГД	Форм, страна	Эксплуатационный режим			
		малооборотный		высокооборотный	
		Мощность, кВт	Удельный расход топлива, кг/кВт·ч	Мощность, кВт	Удельный расход топлива, кг/кВт·ч
1	2	3	4	5	6
ST6	"Юнайтед Шипарфт", Канада	405	0,413	290	0,402
ST6L-77	"Принт энд Уотинг", Канада	600	0,358	480	0,377
Гном GN-1051	"Ролло-Ройс", Англия	770	0,382	660	0,401
LM100	"Дизельная Экспресс", США	810	0,389	735	0,401
Гном GN-1204	"Ролло-Ройс", Англия	880	0,382	750	0,401
Марин Гном Mx.130	То же	1055	0,370	-	-
ST6T-76	"Принт энд Уотинг", Канада	1210	0,381	1060	0,399
Дарт	"Ролло-Ройс", Англия	1290	0,438	1105	0,400
TF25c	"Тайкоминг", США	2210	-	1840	0,399
LM300 ⁴⁰	"Дизельная Экспресс", США	2210	0,308	-	-

Таблица 8.1

ГД аксиального типа

Температура наружного воздуха, °С	Расход воздуха, м³/с	Габариты, мм			Масса, кг	Частота вращения, об/мин	Удельная масса двигателя, кг/кВт·ч
		L	B	H			
7	8	9	10	11	12	13	14
0	2,4	1525	483	483	152	33000 ⁴¹	0,530
-	-	1326	483	483	139	33000	0,289
-	5,59	1850	330	520	160	19500	0,242
-	5,6	1800	500	550	159 ⁴¹	19500 ⁴²	0,216
-	6,26	-	-	-	-	-	-
-	-	1850	336	760	159	19500	0,151 ⁴³
-	-	1687	1128	805	332	6000	0,315
-	9,8	3250	1015	1090	1620	1400	1,47
-	-	1277	871	1110	600	13000	0,326
25	11,3	2160	660	813	364	-	0,164 ⁴⁴

Окончание табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TF35	"Honeywell", США	2980	-	2575	0,86	-	-	1320	871	1110	641	14500	0,349
Марин Проред	"Rolls-Royce", Англия	3510	0,364	2620	0,75	-	19,65	2870	1068	1220	1415	11600	0,534
TF40	"Honeywell", США	3385	-	2945	0,88	15	-	1320	880	1110	000010 650	-	-
LM300 ⁴⁾	"Дженерал Электрик" и "West", США и Италия	3600	0,275	3600	-	15	16	3000	-	-	820 680 ⁵⁾	7000	0,210 0,174 ⁶⁾
RM20 Марин Таин	"Rolls-Royce", Англия	4270	0,238	4010	0,28	15	-	4013 ⁴⁾	1066	1371	3904	3600	0,973
ME-990-3	"Kaiser Engine Corporation", США	4660	-	4175	0,90	36	-	3040	1600	1209	2835	7200 3600	0,679
LM1500	"Дженерал Электрик", США	10300	0,345	9200	0,89	38	69,4	6350	1990	2110	3400	5500	0,370
Марин Спейн	"Rolls-Royce", Англия	13810	-	12590	0,91	-	-	6089	2768	2286	9072	-	0,721
LM2500	"Дженерал Электрик", США	18770	0,241	16760 ⁴⁾	0,25 ⁵⁾	21	61,3	6252	2140	2140	5280	3600	0,315
Олимп ТМ-38	"Rolls-Royce", Англия	20020	0,296	19010	0,95	15	102,4	000000 7000	2440	3000	20850	5000	1,39
FT-4A-12		20600	0,314	17950	0,87	-	-	7900	1930	2157	6440	-	0,389
FT-4	"Pratt & Whitney", США	35550	0,268	28400	0,79	15	-	8388	2438	2794	-	3600	-

1) От взрывозащитного редуктора.

2) Масса сухого двигателя без учета редуктора.

3) По отношению к N_{норм}.

4) Относительная мощность по отношению к номинальной мощности двигателя.

5) Обобщенный параметр для малых двигателей.

6) Потоковая турбинный редуктор.

7) При этом давлении окружающей среды 30°С.

8) По отношению к номинальной мощности.

9) Ссылка отсутствует.

Характеристики высокооборотных

Марка девила	Мощность, кВт	Частота вращения, 1/мин	Количество цилиндров	Длина	
				дм	м
F4L912W	49	2800	4	813	601
F6L912W	74	2800	6	1075	601
BF6L913	118	2500	6	1134	700
BF6L913c	141	2500	6	1245	991
F6L413FZ	150	2500	6V ¹⁾	1043	1000
BF6L513R	177	2300	6	1533	700
F8L413F	188	2500	8V	1197	1000
F10L413FW	202	2500	10V	1360	1200
F12L413FW	243	2500	12V	1570	1000
BF12L413FW	287	2500	12V	1580	1200
BF12L513	353	2300	12V	1580	1200
BF12L513c	386	2300	12V	1582	1200

¹⁾ При частоте вращения, указанной в единицах в минуту.

²⁾ V-образный ВД.

Автоматического сцепления фирмы DEUTZ (ФРГ)

Модель, тип сцепления	Максимальная передаваемая мощность Н-м	Масса сцепления, кг	Удельная масса, кг/кВт	Удельная расход топлива кг/кВт·ч
803	186 (1530) ¹⁾	300	6,12	-
813	295 (1500)	410	5,54	-
913	510 (1600)	515	4,36	-
771	600 (1700)	510	3,617	0,214
917	648 (1300)	600	4,4	-
1035	905 (1500)	865	4,89	-
860	817 (1000)	830	4,41	-
929	883 (1000)	990	4,9	-
961	1000 (1300)	1120	4,61	-
1035	1250 (1000)	1300	4,53	-
1035	1730 (1300)	1290	3,54	-
1035	1900 (1500)	1300	3,37	0,205

$$P_{ср} = A / \sqrt{N_{гб}}$$

где $N_{гб}$ - агрегатная мощность рассматриваемого двигателя, кВт; A - статистический коэффициент, который для газовой турбины авиационного типа в интервале значений от 300 до 3000 л.с. равен (10 ± 2) , а для мощностей от 4 до 25 тыс.кВт равен (40 ± 10) ; для судовых газовой турбины он имеет значение (60 ± 10) , для высокооборотных моделей воздушного охлаждения в интервале мощностей, соответствующем 8,2, равен (60 ± 15) .

§ 8.2. Учет особенностей ГТД при их использовании на СВН

Простейшая ГТД (рис.8.3) состоит из компрессора, сжимающего воздух, камеры сгорания, в которой осуществляется сжигание топлива в потоке воздуха и смешения продуктов горения с воздухом для получения газа, необходимого для турбины, в турбине, где происходит преобразование тепловой энергии в механическую и, частично или полностью, затрачиваемую

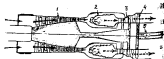


Рис.8.3. Схема ГТД со свободной силовой турбиной: 1 - компрессор; 2 - камера сгорания; 3 - турбина компрессора; 4 - свободная силовая турбина; 5 - выходной вал

на привод компрессора. На схеме (см.рис.8.3) показан вариант двухвальной турбины, где турбины компрессора и силовая, не имея кинематической связи, взаимодействуют гидродинамически. Такой двигатель называют обычно ГТД со свободной силовой турбиной [125], [186].

Большинство современных АГТД применяется на СВН, получены конвертированными существующих авиационных турбореактивных, турбореактивных или турбинных двигателей, что много легче приспособить их к работе в более плотном воздухе у поверхности воды, повысить их чувствительность к обводненности, адаптировать в зависимости поступающего в турбину воздуха, а также к частой смене режима нагрузки двигателя. Конвертирование обычно сопровождается "размыванием" валов турбины, т.е. стачиванием силовой турбины, вращающей двигатель и (или) компрессора, от турбины, вращающей компрессор, и таким образом превращением авиационной турбины в двухвальную [190], [148], [135], [173].

ГТД со свободной силовой турбиной имеют лучшие конструктивные характеристики, чем с авиационной турбиной. У двухвальной ГТД возможен запуск без использования сложной системы (особенно при перекачке топлива) стартовых муфт или разбора лопастей вала (ВРЛ) в положении минимальной мощности. ГТД со свободной силовой турбиной "приостанавливаются" при прекращении сжигания "горючего" сопротивлением замкнутой, и при движении туго на холостом.

Конвертирование чисто авиационных ГТД сопровождается также заменой материалов со стороны вала на материалы, способные противостоять коррозии, увеличению износа, стачиванию и пр. Все это сопровождается увеличением расхода турбины и увеличением удель-

ного расхода топлива, но и то же время работы стоит намного дешевле и выполняется значительно быстрее, чем при создании совершенно нового двигателя.

Простота ГТД, основанного на использовании лишь вращательного движения, обеспечивает ему высокую надежность и компактность.

Частота вращения выходного вала силовой турбины составляет обычно несколько тысяч оборотов в минуту и тем выше, чем меньше агрегатная мощность. Широкое распространение имеют ГТД со встроенным (чаще всего планетарным) редуктором, так что выходная частота вращения снижается до (3...4) тыс. 1/мин (см. табл. В.1).

Большое количество воздуха, потребляемое ГТД, и высокая температура газовойздушной смеси в проточной его части обуславливают сложную проблему очистки воздуха перед подачей его в компрессор с целью охлаждения и сжатия. Воздухоочистные и воздухоохладительные системы отличаются громоздкостью и значительной массой. Те же причины вызывают сложность с компоновкой газовойздушной системы, которая из-за большого количества отработанных газов и их высокой температуры имеет значительные габариты и требует охлаждения.

Пропускание воздуха, забираемого из атмосферы, через фильтры создает еще и проблему, связанную с возникновением его разрежения на входе в двигатель, на котором ГТД крайне чувствителен. Это может вызывать дополнительные потери мощности, величина которых пропорциональна возникшему разрежению. Одну из таких причин возникновения разрежения в газовойздушной системе, которое приводит к падению выходной мощности на фланге свободной турбины. Разрежение на входе и противодействие на выходе могут вызвать понижение

мощности до (7...8)% от исходной и на столько же может возрасти удельный расход топлива. Количество потребляемого ГТД воздуха в связи с разрежением на входе и противодействием на выходе снижается. Для СВП это снижение может составить (1...4)% от исходного.

На рис. В.4 для гипотетического ГТД показана степень снижения мощности на фланге свободной турбины ΔN (в процентах от полной мощности N) в функции от разрежения на входе $\Delta P_{вх}$ и противодействия на выходе $\Delta P_{вых}$. На рис. В.5 в тех же осях дана степень увеличения удельного расхода топлива $\Delta p_{тв}$ в процентах от $p_{тв}$ для длительного режима ГТД в идеальных условиях.

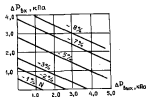


Рис. В.4. Падение мощности ГТД (%) при разрежении на входе $\Delta P_{вх}$ и противодействии на выходе $\Delta P_{вых}$ для ГТД агрегатной мощностью ~7 тыс. кВт

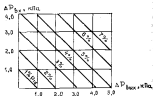


Рис.8.5. Прарост удельного расхода топлива $p_{гп}$ ГТД (%) для условий, указанных на рис.8.4

ГТД крайне чувствительны к температуре окружающего воздуха. У английского двигателя RM20 (рис.8.6) повышение температуры воздуха с 15 до 40°C

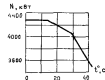


Рис.8.6. Зависимость агрегатной мощности ГТД "Moran Taka" RM20 от температуры окружающего воздуха на входе в двигатель

приводит к снижению мощности на 17%; если же ГТД такое снижение доходит до (1,0...1,5)% N на 1°C.

Работа ГТД на пониженной мощности при ее уменьшении более чем на (40...50)% по сравнению с номинальной является неэффективной, это выражается в режиме возрастания

расхода топлива (рис.8.7). В то же время ресурс работы ГТД находится в прямой зависимости от характера эксплуатационного режима. Хотя наиболее экономичным, как это видно из табл.8.1 и рис.8.7, является режим максимальной мощности ГТД, двигатель работает, как правило, на сниженной мощности.

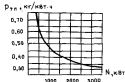


Рис.8.7. Зависимость удельного расхода топлива от величины развиваемой мощности ГТД "Moran Taka" RM20 при $t = 38^\circ\text{C}$

В технических условиях на поставку ГТД всегда оговариваются режимы работы с распределением его общего ресурса. По величине развиваемой мощности различают следующие режимы:

- максимальный $N_{\max}$ - двигатель развивает максимальную мощность; время непрерывной работы на этом режиме 5...15 мин (иногда до 1 ч), а время общей наработки в долях от общего ресурса составляет не более 2...4%;
- номинальный $N_{\text{ном}}$ - непрерывная работа двигателя на этом режиме (1-2) ч, а общая наработка (15...30)% от полного ресурса: $N_{\text{ном}} = (0,85...0,90) N_{\max}$;

- крайсерский $N_{кр}$ или режим длительной работы, обеспечивает непрерывную нагрузку $N_{дл}$ боту в течение всего установленного ресурса, реализует несколько крайсерских режимов (0,85; 0,80; 0,70; 0,60; 0,50; 0,40 от $N_{ном}$ (с учетом экономичности двигателя). Обычно основным считается $N_{кр}$ и двигатель выбирается из условий использования его на этом режиме

$$N_{кр} = (0,70 \dots 0,80) N_{ном}.$$

Общий моторресурс ГТД, применяемых в авиации, (500...8000)ч, в тех, которые прошли конвертирование, как правило, не более 3 тыс.ч, но в условиях СВП наиболее характерна продолжительность безремонтной работы на длительном режиме - не более 1,5 тыс.ч. Последняя величина относится, если не ко всему двигателю, то к его наиболее узким узлам. Для ГТД характерен модульный принцип сборки. Это позволяет осуществлять замену его отдельных модулей.

Газовые турбины хорошо приспособлены к автоматизации и дистанционному управлению, имеют небольшое количество исполнительных механизмов. Ввиду малого веса ГТД они оказывают незначительное влияние на балансировку центра тяжести судна, и их можно размещать в корабельных отсеках как можно дальше от пассажиров и экипажа, это снижает шумность в помещениях с людьми и массу трансмиссии (благодаря уменьшению протяженности валопровода).

ГТД отличаются большой приемистостью при впуске из холодного состояния и время на обороты холостого хода не превышает, как правило, (2...3) мин. Время прогрева двигателя составляет (10...15) мин.

Для судна нужна допускается отбор этого воздуха от компрессора газовой турбины.

то, однако, вызывает существенное снижение ее эффективности. Так, использование (5...7)% воздуха, поступающего в двигатель, может привести к падению мощности на фланце свободной турбины на (10...15)%,

Нередко на вал ГТД устанавливаются вспомогательные механизмы и генераторы электрического тока, которые чаще всего выполняются в виде газодвигательных стартер-генераторов. Стартер-стартер используется в таком случае для запуска компрессора ГТД при его запуске.

Продуманная поставка этого типа двигателя осуществляется, как правило, в виде удобного модуля (рис.8.8). Таким образом облегчается монтаж и демонтаж его на судне.

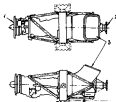


Рис.8.8. Компактный модуль ГТД "Морин Таин" RM20; $N_{max} = 4270$ лВт ($t^* = 15^{\circ}C$);

- 1 - вход воздуха; 2 - фланец выходного вала;
- 3 - газопроводная труба

В последние время ГТД для использования на судах поставляются по заказам заказчика в специальных легких контейнерах, как это имеет место на американском КВР LCAC. В та-

кой контейнер кроме ГТД заключены редукторы, вспомогательные механизмы, компоненты воздушной и газосилойной системы. Это позволяет рассмотреть такой контейнер как единый модуль, упростить судостроительные работы на судне, а наиболее сложные работы по монтажу ЗУ производить в специализированных цехах или на предприятии-изготовителе ГТД.

§ 8.3. Специфика использования высокоскоростных дизелей

Высокоскоростные дизели обладают рядом преимуществ по сравнению с ГТД: более компактны и просты в обслуживании; для них требуется меньшее количество воздуха; менее чувствительны к чистоте воздуха. ВД обладают меньшей частотой вращения выходного вала, что облегчает изготовление вспомогательных редукторов [147], [156].

Меньшее передаточное отношение и большее значение передаваемой мощности позволяют при необходимости обойтись (рис. 8.9) клиноременными и зубоременными передачами [63], [163], [160].

В составе полной нагрузки судна пропульсивная масса судного двигателя при установке ВД с воздушным охлаждением восточнее ГТД почти компенсируется, таким образом, за счет облегчения трансмиссии, снижения габаритов и массы системы воздухопривода и газосилой (в сравнении со значительными их упрощениями), при большой дальности хода или же за счет уменьшения запасов топлива из-за меньшего значения его удельного расхода $P_{гт}$.

Все ВД выпускаются, как правило, в нескольких моделях. Наибольший КПД ВД со-

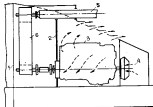


Рис. 8.9. Компоновка ГД привода ВД акваторного СНД АР-1-ВВ: 1 - переборка насосного отсека; 2 - переборка трансмиссии; 3 - ГД (высокоскоростной дизель); 4 - охлаждающий воздух; 5 - вал привода ВД; 6 - зубоременная передача

обеспечивает режимы работы в диапазоне мощностей $\sim 50\%$ от $N_{ном}$, что выгодно отличает

ВД от ГТД, у которого парциальные режимы крайне неэкономичны. Зависимость удельного расхода топлива ($P_{гт}$) ВД от промежуточных режимов работы принято основывать в цехах от $P_{гт}$ на режим номинальной мощности $N_{ном}$.

Выражением

$$(P_{гт})_i = P_{гт} \left[1,9 + 0,4 \left(\frac{N_i}{N_{ном}} - \frac{1}{2} \right)^2 \right].$$

По этой причине эксплуатационный режим ВД следует выбирать при $N_i = (0,6 \dots 0,8) N_{ном}$.

Помимо экономичности здесь играет роль и топливный ресурс двигателя. Как отмечалось в § 8.5 (см. рис. 8.11), у ВД есть нежелательная

зоны работы, лежащая между внешней (пределами) и ограничительной характеристиками, отечественной предельному расходу топлива в максимальной развиваемой мощности в зависимости от частоты вращения выходного вала. Это соответствует высоким температурам выхлопных газов и приводит к максимальным тепловым нагрузкам и соответствующему падению ресурса.

Крайне желательно, чтобы кривая характеристики, т.е. зависимость потребляемой мощности или индикаторной мощности от частоты вращения того или другого, обладала бы ограничительной характеристикой. У двигателя такое превышение из-за наличия "горбы" сопровождается на различных режимах работы, необходимо, однако, чтобы оно было кратковременным. Как правило, в зоне между внешней и ограничительной характеристиками время непрерывной работы не должно превышать (0,5...1,0) ч, а общая выработка от среднего ресурса не более (3...5)%. Максимальная мощность может развиваться ВД только в определенных ограниченных, но определенных, как правило, в совокупности (30...40)% от указанного ресурса. Эксплуатационный ресурс составляющий (0,6...0,8) Н.ч. не имеет в

проблеме названной продолжительности работы каких-либо ограничений, хотя надо учесть, что указанный в ТУ на поставку ВД ресурс обычно (до 20% (80)) расходуется на работу двигателя на холостом ходу, запуска, (в случае необходимости) и т.д.

Средний ресурс работы современных ВД при периборки не превышает (2...2,5) тыс.ч. При этом двухтактные ВД, будучи более простыми, просты в эксплуатации по ресурсу, который может быть еще ниже названного, составляют лишь (1...1,5) тыс.ч. При среднем ресурсе, являясь в зависимости от

местных условий (Б...Б) Москва в году, такого ресурса может быть недостаточно при длительном использовании СВП в течение навигации. Поэтому двигатель двигателя должен быть упрощенным для возможности замены двигателя после выработки его ресурса без длительного перерыва в эксплуатации судна.

На охлаждающих ребрах цилиндров в условиях обводненности образуются солистые отложения, которые периодически должны удаляться пресной водой во избежание попадания солей внутрь цилиндров. Для охлаждения двигателя наружный воздух после фильтрации по специальным каналам подводится к горячим частям ВД. На малых скоростях при избыточном подсосе от встречного потока воздуха в машинном отделении может возникнуть разряжение, и с этой целью устанавливается специальный вентилятор, обеспечиваемый за вал двигателя или приводимый ручной работой.

Итак, большая простота обслуживания, большой ресурс, большая экономичность по сравнению с ГД делают ВД весьма перспективным для использования на СВП.

§ 8.4. Комплектация, компоненты и конструктивное исполнение ЭУ СВП

Уже отмечалось, что основные источники шума на СВП, каковы являются ГД, магнетизм и движители, желательно разместить в нормальном освещении, блокируя распространение шума и вибрации в сторону жилых помещений. Для уменьшения вибрации, изолируя машинное отделение от жилых помещений, вспомогательных помещений (коридоры, гардеробы, багажные отсеки, помещения ГРМ и т.д.).

Комплектация, компоновка и конструкция исполнения ЗУ СВП разнообразны и весьма оптимальны и устойчивы при эксплуатации. Это объясняется в основном тем, что СВП строится по единой схеме и разрабатывается фирмой всего как экспериментальное или опытное изделие. Планов двигателя также отличаются многообразием исполнения, мощностью, ограниченностью и дискретностью мощностей, что влияет на то или иное компоновочное решение.

Так, к примеру, изменяется протяженность и компоновка ЗУ с ГТД в зависимости от того, выходит вал свободной турбины со стороны газовой камеры, или со стороны воздухоподогревателя ГТД. Большое влияние на этот оказывает тип системы газоснабжения, от которого могут быть выключены (в зависимости от ориентации оси ГТД и его модулей относительно ДП судна) или комбинация затрубного диффузора с прямыми либо развальными или дивергентными патрубками, или газоснабжающее устройство улиточного типа. Позволяющие значительно увеличивать протяженность и самого газопровода и всего машинного отделения.

Существенно влияние типа, размеров и количества двигателей, входящих в состав комплекса. Действительно, вертикальное размещение осей осей или центральных двигателей с предельной по технологическим возможностям величиной диаметров рабочих (рис.8.10 и 8.11) приводит к необходимости использования угловых коромысел крутящего момента от вала ГТД, и изготовления сложных решет для распределения воздуха по вершинам СВП или размещения нагнетателей равномерно по площади корпуса.

Хорошо зарекомендовало себя размещение попарное центральных нагнетателей с

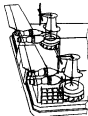


Рис.8.10. Энергетическая установка СВП ВРН*4

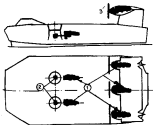


Рис.8.11. Компоновка ЗУ французского СВП В500: 1 - 5xГТД ТР40; 2 - осевые воздушные компрессоры, 4,0 м; 3 - ВВ $d_{\text{вв}} = 6,4$ м

При частоте вращения $n = 620$ 1/мин

194

контактной осью вращения рабочего колеса, выходящих" на проходной параллельно ДП или параллельно, приходящей во вращение, или несомненно двигателями, как это место на американских КВП JEFFB и JEFF (см. рис.8.12 и 4.3), LCAC. Здесь вентилятор устанавливается, как правило, в совокупности со спариванным аккумулятом, позволяющим нагнетать воздух в бортовой ресивер или непосредственно в область ВП. Этот вариант компоновки водонеподъемного комплекса с приводными двигателями предполагает поворотное размещение приводных двигателей отделения, что упрощает проблемы звукоизоляции и высвобождает свободную часть палубы для размещения на ней аппаратов и служебных помещений.

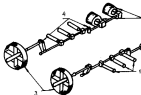


Рис.8.12. Компоновочная схема комбинированной ВУ КВП JEFFB; 1 - приводные ГТД, 2 - центральные нагнетатели; 3 - ВВ в водонеподъемных отсеках; 4 - редукторы

То, что в качестве двигателей применяются преимущественно воздушные винты (в отличие или в кольцевых передачах), зависит от их размещения на крыше палубы или на несомненных участках верхней палубы.

стоит проблему разработки трансмиссий, т.е. соединения в один крутящий момент или через угловые передачи, или через комбинированный редуктор непосредственно от моты двигателя, расположенного в гонимой за винтом (или перед ним). Трудноразрешимой оказывается проблема звукоизоляции таких комплексов. Упор разработки создает дифференциал крутящего момента на нос и на корме, возникающего при крутящем моменте (см. рис.3.17).

На компоновку ВУ и размеры машинных отделений СВП наиболее влияние оказывает тип конструктивного исполнения ВУ: с общим приводом нагнетателей и двигателей или с раздельным (индивидуальным).

Раздельный независимый привод каждого потребителя в идеальном виде имеет место на СВП N500 (см. рис.8.11), где пара потребителей соответствует пяти ГТД ТР40, выполняющим вращающий момент.

Большинство построенных СВП имеет комбинированный привод, который предполагает наличие двигателя и распределительного редуктора, трансформирующего крутящий момент на подвеску и двигательный комплекс. Наиболее типичным следует считать компоновку ВУ американских СВП SRN*5, SRN*6, BN.7, у каждого из которых от одной турбины во вращении приводятся по одному нагнетателю и по одному ВВ. Другой распространенный вариант комбинированного привода предполагает применение модулей ВУ. На примере, на американских КВП JEFFB, LCAC и английских СВП SRN*4. Использование одного, двух, четырех отработанных модулей ВУ позволяет облегчить создание новых СВП, размеры и масса которых зависят от количества установленных модулей (1986).

Современный тип ВУ, с учетом суммарных мощностей нескольких потребителей в отсеке агрегата предполагает использование в

своем составе ГД с относительно большой релятивной мощностью, а это, как видно из табл. 8.1, дает СЗУ и более легкой, и более экономичной. Другое преимущество совместного привода состоит в возможности перераспределения мощности между потребителями в зависимости от условий эксплуатации. Это, например, дает возможность увеличить расход воздуха на разгонном движении, что позволяет уменьшить и сопротивление движению, и вертикальные перегрузки. На тихой воде возможно увеличение скорости хода посредством перераспределения крутящего момента от нагнетателей на движители. К недостаткам совместного привода относятся усложнение и увеличение трансмиссии за счет включения в нее распределительных редукторов и удлинения валопровода. Этому приводу присущи и другие недостатки: в случае аварии на строящемся двигателе возможна остановка судна.

Совместное функционирование двигателя как источника крутящего момента и потребителя энергии возможно только при соединении их по линии передач мощности, в качестве которых на СДП применяются лишь механические и очень редко гидравлические. Большинство канальных передач, называемых трансмиссиями, включает в себя валопроводы, муфты, промежуточные и распределительные редукторы (суммирование или дробление мощности), которые работают параллельно или под углом к оси приводного вала. Количество валов, протяженность, состав, тип и передаточные отношения редукторов определяются типом главного двигателя и компоновочной схемой вала. Вали, а также шестерни и зубчатые цепи гидравлические, планетарные и угловые торсы изготавливаются из высокопрочных

В составе трансмиссии для соединения валов валопровода на СДП используются эластичные или самоцентрирующиеся муфты зубчатые, дисковые, гидравлические — с целью компенсации деформации корпуса из-за его малой жесткости.

Габариты редукторов определяются передаточным отношением, величиной передаваемой мощности и требованиями к величине параллельного смещения оси вращения потребителя относительно оси источника крутящего момента.

Масса и габариты трансмиссий особенно значительны в случае использования в составе ЗУ ГТД. Частота вращения оси выходного вала однобальной сапной турбины ГТД может быть 6...30 тыс. 1/мин. При снижении частоты вращения в таком случае суммарное передаточное отношение трансмиссии i_p может достигнуть значений в интервале 10...20. Следует отметить, что ресурс ЗУ определяется не только ресурсом главных двигателей, но и редукторов, который при больших значениях передаваемой мощности и передаточных отношениях не превосходит 2...2,5 тыс. ч.

В случае использования в качестве главных двигателей ВД частота вращения выходного вала редко превосходит 2...2,5 тыс. 1/мин, поэтому при малых значениях передаваемой мощности и из-за простоты и дешевизны чаще используются клино- и зуборезными передачами. Минимизация передаточных отношений, предельная величина в боковой стенке для параллельного смещения оси вращения вала. В случае необходимости значительного изгиба оси вращения вместо V-образного редуктора возможно использование карданных передач, которые не могут транслировать мощности, превышающие 4000 кВт.

Одним из важных условий размещения ЗУ является необходимость получения симметричной относительно диаметральной плоскости судна

на. При компоновке ЗУ из нескольких ГД в разнотактные последние в отдельных отсеках следует стремиться не только к симметрии, но и к идентичности этих отсеков относительно ДП, что облегчает их обслуживание и делает комплексы взаимозаменяемыми.

Оптимальным решением задачи размещения ЗУ будет такое, которое обеспечивается при минимальных масса и габаритах установки с высоким надежностью и экономичностью.

§ 8.5. Особенности систем в устройстве, обеспечивающих функционирование ЗУ СВП

Одним из важнейших требований ко всем перспективным механизмам, устройствам и системам, обслуживающим ЗУ, а также ко всем приборам, применяемым на СВП, является их обязательная морозостойкость. Поэтому использовать можно только те приборы, оборудование и механизмы, которые изготовлены в так называемом морском исполнении. Авиационные приборы и оборудование, наиболее подходящие для СВП с точки зрения минимизации их массы оказываются неприемлемыми, поскольку не приспособлены к работе в агрессивной среде. Таким образом, жесткий контроль нагрузки в процессе проектирования и постройки СВП (как это следует из анализа требований к ЗУ) и условия эксплуатации не позволяют использовать авиационное, не судовое оборудование соответствующих параметров, это повышает стоимость судна и снижает уровень унификации стандартными установочного оборудования механизмов. Рассмотрим наиболее специфичные системы и устройства, связанные с ЗУ и ЗОС СВП, определяющие архитектурный облик судна, его компоновку, а в ряде случаев и характер

Системы управления и регулирования ЗУ.

Большая агрегатная мощность, высокие частоты вращения выходного вала, шум и вибрация ГД, входящих в состав ЗУ СВП, а у ГТД большие потребление воздуха и жесткие требования к его чистоте делают эти механизмы, для возможного нахождения обслуживающего персонала в машинном отделении. Это обстоятельство, усугубляемое частой сильной работой источника энергии, делает необходимым использование сложной и дорогостоящей системы автоматизированного управления и регулирования работы ГД, пусковых агрегатов и обслуживающих ГД систем в устройстве.

Управление запуском и работой, регулирование ГД осуществляется дистанционно с центрального поста управления, находящегося чаще всего в ходовой рубке. Наибольшее распространение получили гидравлические, пневматические, электрические и электрогидравлические системы управления. С их помощью осуществляется управление подаче топлива для ГД, их загрузки, а также реверсирования, запуска и останова главных и вспомогательных двигателей, включение и выключение подкачивающих насосов топливной системы, насосов и вентиляторов системы охлаждения, открытие и закрытие магистралей, а также в системе газоснабжения и т.д. Внешняя часть системы управления включает в себя органы управления, присоединенные (исполнительные) механизмы и соединительные магистрали, через которые осуществляется их взаимодействие. Задающими органами системы дистанционного управления обычно являются рукоятки или трыблеры. Исполнительные на пульте управления.

На СВП находят применение несколько способов регулирования режимов работы ЗУ.

При индивидуальном (автономном) приводе двигателя и газотопливной регулирование осу-

Поставляется за счет изменения или количества топлива, подаваемого в камеру сгорания ГД, или частоты вращения выходного вала привода двигателя, или угла установки ВВ либо РК двигателя.

При сложившемся приводе потребителей (из-за качества ГД, как правило, применяются ГТД) регулирование нагрузки двигателя в большинстве случаев производится за счет изменения угла ВВ при постоянстве частоты вращения привода ГТД. Это необходимо для сохранения постоянства параметров ВП. Потребность в регулировании параметров ВП реализуется за счет изменения частоты вращения ГД или, если это возможно, варьирования углом установки НА либо РК двигателя.

Находят применение также комбинированные способы регулирования.

Топливная система предназначена для приема топлива в топливные шестерни, перекачки его в виде из одной шестерни в другую по мере его расходования или для изменения количества сжигаемого топлива (сепарация) топлива перед подачей его в двигатель.

Основные элементы топливной системы: насосы качающие насосы (насосные агрегаты); фильтры грубой и тонкой очистки; сепараторы; арматура дистанционного управления; контрольные измерительные приборы.

Примеры расположения топливных шестерен на судах приводятся на рис.8.13 и 7.1.

Масляная система предназначена для смазки и охлаждения подшипников, шестерен, зубчатых колес и других трущихся частей двигателя и трансмиссии и включает в себя шестерни циркуляционного масла, трубопроводы, фильтры для очистки масла и т.д.

Система охлаждения предназначена для охлаждения самого двигателя, масла, цирку-

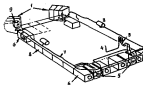


Рис.8.13. Топливная система и схема расположения топливных систем СВП ВМ.7: 1 - насосная шестерня; 2 - фильтр; 3 - насосная шестерня; 4 - топливопровод; 5 - насосная шестерня; 6 - насосная шестерня; 7 - насосная шестерня; 8 - насосная шестерня; 9 - насосная шестерня.

лирующего в масляной системе, а в случае необходимости ГТД также и в газовой системе устройства. У АСМГ применяется воздушная система охлаждения, для чего воздух может забирается из ресивера или от специальных вентиляторов (см. рис.8.9) для обдувания охлаждающей поверхности ВД или ГТД, насосов, компрессоров, аппаратов, электрогенераторов и т.д.

Система воздухоочистки, воздухоочистка обеспечивает забор воздуха, его сепарирование в воздух к главным и вспомогательным двигателям.

У СВП, оснащенных ГТД, система воздухоочистки в составе ЗУ является одним из самых крупных по габаритам и по массе компонентов. Это вызвано тем, что в зависимости от начальной температуры цикла потребле-

ное воздуха ГТД колеблется от 0,005 до 0,01 кг/кВт·с и при значительных мощностях двигателя часовой расход воздуха может превышать $4 \cdot 10^5$ кг/ч [81]. Соответственно потребление топлива и воздуха составляет 1:10.

Система воздухоприма характеризуется следующими параметрами:

- мощность воздуха, потребляемая (на входе в систему) и конечная (на выходе из системы воздухоприма) - содержание морской воды в потоке воздуха (кг воды/кг воздуха);

- содержание влаги в начале и в конце - массовое содержание всех солей морской воды в потоке воздуха (кг соли/кг воздуха);

- влажность морской воды (ком/литр воды);
- пылесодержание воздуха - массовое содержание твердых частиц в потоке воздуха (г пыли/кг воздуха или г пыли/м³ воздуха).

При эксплуатации над водой уровень концентрации примесей к воздуху перед воздухопримом шатой или воздушным отверстием системы воздухопримы зависит от состояния моря, которое определяется скоростью ветра, суша, направлением движения относительно распространения волны.

Концентрация соли в окружающем воздухе определяется сложным фактом моря, зависящим от погодных условий и от особенностей береговой линии, но в значительной степени зависит от биогоробразования, создаваемого сушей.

В воздухе над поверхностью воды существуют суше частицы соли размером (0,3...0,3) мк и капли морской воды размером (20...100) мк, из которых при испарении также образуются суше частицы соли. Содержание морской воды значительно колеблется. Так, если в открытых бассейнах страны влажность воздуха централи-соли характерна для воды Чорного моря. В малых условиях содержание пыли может достигать 20 г/кг воздуха.

Специально, система воздухоприма должна защищать двигатель от забрасывания в него выпускных газов, от попадания в него промывочных жидкостей и солей, содержащихся в морской воде, от пыли, песка и морской воды.

Загрязняющие примеси в воздухе, попадающие в рабочую часть ГТД, оседают на лопатках компрессора и уменьшают производительность ГТД. Соль, проникшая в турбину, вызывает коррозию лопаточного аппарата. Испытания английского ГТД "Марин Протей" показали, что при работе в среде, где в 1 млн. частей воздуха присутствует 1 часть морской соли, в течение лет часов его мощность на выхлопном фланге снижалась на (20...25)% (табл.8.3).

Сепарирование воздуха на СВП осуществляется в нескольких ступенях (например, рис.8.14, [81]). Для его очистки могут использоваться как инерция, турбулентная диффузия и силы магнетизма, возникающие при соприкосновении с вихревой поверхностью, электростатическим и динамическим полями.

Применяются инерционные очистители небольших объемов.

Это может быть лабиринтный водо- или пылеотделитель, в нем воздух несколько раз меняет свое направление, а капли воды, частицы песка и пыли собираются внизу в специальных отстойниках, откуда удаляются за борт.

Более совершенными инерционными сепараторами являются водо- и пылеотделитель вихревого, или циркулярного типа (рис.8.15), где при вращении воздуха на капли воды, пыль и песок действуют центробежные силы, способствующие удалению этих примесей из проходящего воздуха. Эти сепараторы работают тем эффективнее, чем меньше диаметр так называемых циклонов. Поскольку, применяя один к другому, объединяются в прямоугольные в плане камеры, устанавливаемые и одной из ступеней очистки.

Режим работы	До загрязнения				После загрязнения			
	$n_{гк}, 1/мин$	$t^{\circ}C$	$P_{гк}, кг/кгВг-ч$	$P_{гк}, кг/кгВг-ч$	$n_{гк}, 1/мин$	$t^{\circ}C$	$P_{гк}, кг/кгВг-ч$	$P_{гк}, кг/кгВг-ч$
Максимальная	11015	813	0,378		11400	882	0,384	
Номинальная	11025	743	0,410		10880	798	0,431	

Примечание.

 $n_{гк}$ - частота вращения вала компрессора.

Требования к содержанию морской соли все более ужесточаются и в настоящее время содержание не должно превышать (1...2) мг соли/кг воздуха.

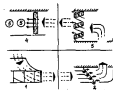


Рис.8.14. Четырехступенчатая очистка воздуха перед поступлением его в воздуховыпускное отверстие ГТД: 1 - первая ступень (в картридже); 2 - вторая ступень (жирный фильтр); 3 - третья ступень (сетчатый фильтр); 4 - четвертая ступень (сетчатый фильтр - тонкая очистка); 5 - воздуховыпускное отверстие двигателя

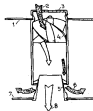


Рис.8.15. Схема действия воздухоочистителя вращающегося типа: 1 - наружная обшивка, в которую вставлен этот воздухоочиститель; 2 - лопасти загрязненного воздуха в очиститель; 3 - сетка; 4 - неподвижные спиральные конусы; 5 - кольцевой диффузор; 6 - отвод пыли или жидкостной смеси; 7 - задняя стенка, в которой крепится воздухоочиститель; 8 - выход чистого воздуха в двигатель

ки. В настоящее время существуют пакеты с диаметром от 30 до 300 мм со степенью очистки до 94%. Установка последовательно еще одной ступени выхлопных сепараторов повышает эффективность очистки воздуха до 99%. Количество блоков определяется из расчета скорости воздуха, проходящего через эти блоки. Она не должна превышать 20 м/с.

В следующей после выхлопных сепараторов ступени (см. рис. 8.14) устанавливаются обычно так называемые сетчатые фильтры, выполняемые, как правило, в виде рамок с натянутой на них вязкой сеткой из полипропиленовых (реже металлических) нитей. Сегодня пакеты сетчатых фильтров от 80 до 300 мм. На двухблочных судах эти фильтры вставляются специализированной английской фирмой Липтон [134]. Вязкие сетки состоят из плотно набитых в пакеты, вставленные в металлические рамки, что в совокупности представляет собой стандартную прямоугольную вязкую секцию (на английских СВП с размерами створки 1,0...1,5 м). Количество этих секций выбирается исходя из количества проходящего воздуха и ограниченной скорости воздуха, идущего через эти секции, которая должна быть одинаковой во всей площади фильтра и не должна превышать 4...5 м/с. Превышение этой скорости снижает эффективность сетчатых фильтров и способствует уносу капель отделенной воды с проходящим потоком. Если эти фильтры устанавливаются в сборном, то они с целью снижения шумовой нагрузки борта располагаются взаимно образно один над другим и воздух через них на существующих СВП обычно проходит снизу вверх (см. рис. 8.14). Эффективность очистки воздуха сетчатыми фильтрами может достигать до 90%. При снижении относительной влажности воздуха более 70% добавят сетчатые фильтры неэффективны с точки зрения отношения выхлопной сепараторов

из этой причине перед ступенью сетчатых фильтров должна быть ступень сепараторов жидкостного типа, которая должна уменьшать содержание воды в очищаемом воздухе.

На рис. 8.14 показано, что первой ступенью выхлопного сепаратора служит камера для разделения жидкостного суида, где отапливаются наиболее крупные капли. Таким образом может применяться двух-, трех- и четырехступенчатая фильтрация воздуха. Так, на СВП RN.7 воздух забирается из ресивера, т.е. после его предварительной очистки в индентаторе и в ресивере. Изнизу вверх через сетчатые фильтры, пакеты которых устанавливаются в полу машинного отделения, воздух поступает затем к ГТД "Марин Протей". Аналогичная схема очистки воздуха принята и на СВП VT 1, BRN 4. На французском СВП N500 для двигателей, работающих на воздушных баллонах и установленных в герметичной над бортовой палубой в корме судна, воздух поступает к двигателям после сепарации, пропуска снизу из помещений в надстроеке судна по специальным воздуховодам, проложенным внутри пиллоса.

При очистке воздуха от капель воды при низких температурах наблюдается образование выхлопных сепараторов, что приводит к их загромождению и понижению сопротивления проходу воздуха и росту разрежения. Чтобы решить эту проблему, в блоках выхлопных сепараторов может вводиться горячий воздух, отбираемый от главной турбины, или устраиваться их электрообогрев.

Камеры, подводящие к ГТД отсепарированный воздух, должны быть герметичными, чтобы не допустить поступления очищенного воздуха. Это требование относится и ко всему машинному отделению, если воздух после предварительной сепарации забирается прямо из него.

Для высокоскоростных дизельных двигателей и производства не стоит так остро, как для ГТД и мотопомп, достаточными для пыле- и масляной очистки, можно считать рациональное применение воздухозаборников на судне и установка инерционных выхлопных фильтров.

В заключение следует указать, что на фильтрующие и сепарирующие компоненты для удаления отложений соли, масла, пыли подается регулярной промывкой из пресной воды, что способствует их сепарированию свойствами и предотвращает увеличение разрывов на входе в двигатель. Выхлопные сепараторы могут промываться сжатым воздухом.

Система промывки двигателя пресной водой или содовосодержащим предназначена для удаления из проточной части солевых и других отложений, образовавшихся при работе двигателя в условиях попадания в его проточную часть каналь морской воды или загрязненного воздуха. Промывка проточной части от отложений из морской воды может производиться дистиллированной водой или паром из резервуара холостого прокрутки двигателя, резервуара холостого или из напорной магистрали двигателя. Если в элементах присутствуют еще масла и продукты сгорания, то для промывки используется смесь воды с керосином.

На современных СВП система промывки водой или содовосодержащим предпочитает поступление промывочных жидкостей от специальных береговых станций, но возможно наличие таких жидкостей и на борту судна.

Для очистки проточной части ГТД используется так называемый карбид-ласта (зернистого порошка растительного происхождения из скорлупы грецких орехов и других жестких орехов). Иностранная фирма производит специальную очистку ком-

прессора турбины путем введения (170...200) г карбида.

Система газодымового (газоиспользующего устройства) сжигания ГТД за счет большого потребления воздуха представляет собой, так же как и система воздухопритока, весьма громоздкое устройство. Такая система предназначена для отвода выхлопных газов за борт. При этом должна быть исключена возможность их попадания в систему воздухопритока главных и вспомогательных двигателей. В состав системы входят газодымовые трубы, крышки для закрытия и выхлопных отверстий (при неработающих двигателях) и механизмы привода для закрытия и открытия этих крышек. Газодымовые трубы являются из жаропрочных нержавеющей сталей.

Они не должны иметь большого сопротивления движению отходящих газов, ибо это сопровождается соответствующим снижением мощности ГТД.

Предполагается на СВП отводить ГТД, выходящим выхлоп газам силовой турбины через воздухоприточное отверстие двигателя.

Газодымовые трубы (рис.8.16) состоят из нескольких частей, соединенных между собой

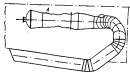


Рис.8.16. Система газодымового ГТД на судне: 1 - ГТД

габлями элементов (компенсаторами), регулируемые конструкции при термических деформациях и перепадах.

Энергия уходящих газов может быть использована для охлаждения горячих частей двигателя и самого выхлопного устройства путем инжектирования воздуха из выхлопного отпала.

Система запуска главного двигателя, т.е. раскрутка его к вводу на номинальный режим устойчивой работы, содержит специальный комплекс агрегатов и устройств, размещаемых на самом двигателе и на судне. Тип системы запуска определяется типом агрегата: преобразователь раскрутки ротора двигателя и таким источником питания. В качестве пусковых агрегатов чаще всего используются электростартеры и турбостартеры. Последние, в свою очередь, подразделяются на: работающие на топливе двигателя; работающие на жидком одноконтурном топливе; работающие на твердом топливе; воздушные турбостартеры.

Мощность пускового агрегата составляет, как правило, около 1% от полной мощности ГТД.

У ГТД с собственным электростартером расгоняется сначала сам стартер, а затем ротор турбины. Источники питания пусковых агрегатов могут быть судовыми или наземными. Источники питания стартер-генератора на судне в период запуска могут быть специальные турбо- или дизель-генераторы постоянного тока или аккумуляторные батареи напряжением 24-28 В. Наземный электростартер после запуска ГТД работает в режиме генератора для питания потребителей ЭУ и судна постоянным током.

Воздушная система запуска ГТД, использующая энергию сжатого воздуха (от баллонов или от специальных компрессоров), производится от подачи сжатого воздуха непосредственно

в лоптки турбины (для малых ГТД) либо к специальному воздушному стартеру, раскручивающему ротор турбины.

Запуск ВД чаще всего осуществляется сжатым воздухом от специальных баллонов, входящих в комплектацию соответствующей ЭУ.

Электроэнергетическая система (электрооборудование) СВН, будучи тесно связанной с работой ЭУ, предназначена для питания потребителей в зависимости от режима работы: посылки и включения в себя источников электроэнергии, преобразованием тока, главным и вторичные распределительные щиты, кабельные сети. В зависимости от типа судна, его назначения, района плавания потребители электроэнергии бывают на переменном трехфазном токе напряжением 220 В и частотой 400 (или 50) Гц и на постоянном токе напряжением (24-28) В.

В качестве источников постоянного и переменного тока могут использоваться как наземные, так и ГД генераторы, так и генераторы, имеющие привод от специальных вспомогательных двигателей (в зависимости от типа привода двигателя дизель-генераторы или турбогенераторы).

В качестве источников постоянного тока на СВН используются аккумуляторные батареи.

Кроме специальных устройств, определенных назначением судна, потребителями электроэнергии на судне являются навигационное оборудование, нагревательные приборы, осветительные приборы судовых систем, освещение, основное и аварийное освещение, топливные и масляные насосы, средства сигнализации, системы запуска главных и вспомогательных двигателей и т.д.

Для предупреждения столкновения с судами в море и на реках на СВН устанавливаются сигнально-отражающее огни, электросирены, светосигнальные приборы и пр.

К основным сигнально-оптическим приборам относятся бортовой (на мачте), ледовый (на мачте), правый бортовой, кормовой огни, жетон проблесковый (на мачте), фонари-оповещения.

В заключение отметим, что системы устройств, обеспечивающие главным образом вспомогательные двигатели топливом, маслом, водой, воздухом, включают в себя трубопроводы с арматурой, насосы, теплообменные аппараты (охлаждающие, подогреватели), фильтры, также механизмы, насосы, вентильеры, компрессоры. Механизмы ЗУ могут приводиться главным двигателем, распределительного редуктора или от трансмиссии, они могут быть газотурбинными, т.е. с приводом от специальных газотурбинных двигателей, газовых турбин, дизелей.

Например, на ГТД LM 500 [89] набор механизмов для привода вспомогательных механизмов производится от вала компрессора через одну или несколько ступеней с коническими шестернями. В корпусе вспомогательного редуктора здесь смонтированы шаровинтовые масляный и топливный насосы, стартер и другое оборудование.

Заканчивая характеристику условий эксплуатации и требований к составу и компоновке ЗУ на СВП, следует подчеркнуть, что все вышесказанное относится к обычным климатическим условиям.

Если же предполагается эксплуатация СВП в тропической зоне или районах с особыми климатическими температурами воздуха (выше $+40^{\circ}\text{C}$), то к ЗУ СВП предъявляются наиболее высокие требования, касающиеся запуска и спуска главным и вспомогательных механизмов, работы систем, устройств и т.д. (см. главу 1).

Глава 9. НАГРУЗКА СВП. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАССЫ

§ 9.1. Расчет массы судна.

Особенности расчета. Разбивка нагрузки

На начальных этапах проектирования СВП его массу определить труднее, чем при создании обычных судов, поскольку ограниченное число элементов, которые к тому же отличаются сложностью архитектурного облика, различия в конструкциях, применяемых материалах и деталях. ЗУ, их компоненты, разнообразны и отличаются незначительными сериями-прототипов. Их объективность имеет конструкторские примечания для оценки компонентов нагрузки надежности, а присутствующие в них конкретные указания, пригодные лишь в ограниченном числе случаев компонент элементов в характерности судна, сочетание которых определяет форму установившихся зависимостей. Загруженность возникает с увеличением объективности остальных элементов нагрузки от условий эксплуатации, особенно если учесть динамический характер процессов. Это выражается в том, что многие свойства и характеристики как судна в целом, так и отдельных его систем, устройств, компонентов значительно меняются в процессе эксплуатации.

Так, показатели устойчивости, жесткости и распределения нагрузки судна по длине, ширине и высоте, динамический коэффициент при дрейфе "на стояне" над водой или над льдом, крен, устойчивость СВП над льдом и т.д. во вращательной поверхности изменяются с изменением скорости хода, что над теоретическими вызывается аэродинамическими силами и моментами от набегающего потока воздуха и

мобильности от убора двигателя, а над водой, — и влиянием ее гидратности.

В разных режимах эксплуатации судна существенно меняются потребляемая мощность и ее отнесение к полезному, и к тепловому комплексам. Существенно зависимо и режимное движение убора от скорости, которая определяет время нахождения на в пути и запасы топлива. При одной и той же потребляемой мощности ЗУ она может быть от (0,5 до 1,0) от $\dot{Q}_{\max}$ из-за изменения условий эксплуатации и режимов колебаний связанного с этим сопротивления движению. Отражается на требованиях к ЗУ, на запасах топлива, конструкции и прочности ГО и всего корпуса.

Эти обстоятельства вносят дополнительные трудности в расчеты нагрузки судна, ибо вводят проблемы с выделением доминирующих расчетных условий, которые оказываются различными для отдельных компонентов нагрузки. Специальные условия эксплуатации и даже и эксплуатационный подход не дают возможности значительных погрешностей из-за целого ряда применяемых допущений оставаться на одном и том же методе расчета того или иного компонента нагрузки. Требуется значительно больше, чем для традиционных судов, время возможных критических условий, из которых надо выбрать доминирующий и выделить характеристики скотта, устройства, комплексов или в целом. Такая неопределенность, характерная для объектов сложной техники, может преодолена традиционным применением в тех случаях методом сопоставительных приближений, когда от приближения к приближению нарастает точность применяемых методов и формул расчета.

Отсюда, что анализ нагрузки и ее определение требует единого систематического подхода и ее разбивки и классификации.

Классификация компонентов нагрузки весьма условна и постоянно изменяется. Это затрудняет сравнение идентичных объектов, ибо оно возможно только при наличии подробных таблиц нагрузки, доступ к которым по целому ряду причин затруднен, особенно для объектов военного назначения) классифицировать, описать тактико-технические характеристики судна, уровень развития техники и технологические возможности фирмы-заготовителя. В каждой стране, а иногда и в отдельных фирмах нагрузка является предметом стандартизации, предусматривающей полный перечень составляющих всех расчетов, что позволяет их сравнивать и устанавливать зависимости массы отдельного раздела или его компонентов от размеров и характеристик судна. Составы разделов даже при полном соответствии различны, это видно по форме действующих стандартов в области судостроения нашей страны и США. В отечественной практике применительно к СВП существует разбивка нагрузки, показанная в упрощенном виде в табл.9.1.

Таблица 9.1
Разделы, составляющие нагрузку СВП

Характеристики нагрузки	Раздел нагрузки	Код по стандарту	Вариант обозначения	
			в стандарт	в данной работе
1	2	3	4	5
Масса судна и его компонентов	Корпус	01	P_{01}	$D_{кр}$
	Устройства судна	02	P_{02}	$D_{уд}$
	Системы (судовые)	03	P_{03}	$D_{ст}$

Основные табл.

1	2	3	4
Полная грузоподъемность	Установка энергетическая	04	P_{04}
	Электроэнергетическая система, внутрисудовая связь и управление	05	P_{05}
	Вооружение (радиотехническое, артиллерийское)	07	P_{07}
	Запасные части	08 ¹⁾	P_{08}
	Балласт (постоянный, жидкий или твердый)	10 ²⁾	P_{10}
	Запас продовольствия, устойчивости	11	P_{11}
	Постоянные жидкие грузы	12	P_{12}
	Смазки, постоянные, жидкие	13	P_{13}
	Земляк, промисля, вода, расходные материалы	14	P_{14}
	Груз перекачиваемый (грузоподъемность)	15	P_{15}
	Запас топлива, масла, питательной воды	16	P_{16}
	Переменные жидкие грузы	17 ³⁾	P_{17}
	Жидкий балласт	18 ⁴⁾	P_{18}

1) Запасные части предусматриваются в составе районов 02, 03, 04, 05, 07.

2) Постоянный балласт здесь входит в массу груза, он может быть необходим для придания судну нужной устойчивости или продольной устойчивости.

3) К переменным жидким грузам относят относительно содержимое фидальной цистермы, когда ее-то небольшие размеры включаются в состав "дана" судовых систем" (03).

4) Жидкий балласт возможен при неблагоприятной загрузке судна, приводящей к недопустимой характеристике устойчивости или контроля. В том случае на судно его можно принять или за уменьшение массы полезного груза, или за счет жидкого топлива.

В проекте судна расчет нагрузки ведется в форме стандартных таблиц нагрузки [7], позволяющих получить в массовом составлении, и сокращении центра тяжести, определяющие в дальнейших расчетах показатели устойчивости и остойчивости судна "на стояне" и на ходу.

§ 9.2. Полная грузоподъемность СВП

Согласно табл. 9.1 в полную грузоподъемность включаются:

$$D_{\text{ПВГ}} = D_{\text{ГР}} + D_{\text{ЖН}} + D_{\text{ТО}}. \quad (9.1)$$

Масса судна полнотона (перевозимая) $D_{\text{ГР}}$ в соответствии с назначением судна определяется исходя из оговоренных в ТЗ числа пассажиров, автомобилей, устанавливаемых контейнеров и т.п. На судах специального назначения к полезной нагрузке следует относить применяемое оборудование, а также обеспечивающие функционирование этого оборудования дополнительные механизмы, системы, электрогенераторы и т.п. Это, на практике, в большой степени учитывается на этапе определения нагрузок проектируемого судна, сколько при сравнении между собой СВП различного назначения. В аналитическом отношении, применяемое для вычисления компонентов нагрузки и имеющие чаще всего статистический характер, должны вноситься коррективы, учитывающие возможные дополнительные механизмы, системы, электрогенераторы и т.п. (в составе массы электроэнергетической системы, массы той или иной судовой системы, дополнительной массы корпуса в связи с усилением палубы под тяжеловесные грузы или в связи с устройствами носовых и кормовых аппаратов СВП, перевозимых колесную технику и т.д.).

Здесь имеется в виду, что, базировавшись на измерителях массы на прототип, следует или использовать близкие прототипы или "исправлять" прототипы корректировкой ответствующих разделов их нагрузок.

По опыту постройки пассажирских СВП масса пассажира с багажом и произвольной ограниченной продолжительности хода (4-6 ч) колеблется от 70 до 100 кг в среднем для СВП может быть принята на расчете 90...100 кг (в авиации 90 кг/чел).

Численность экипажа судна определяет требования экипажа и по существующим материалам при оговоренных условиях эксплуатации. Для предварительной оценки масса экипажа может быть принята равной массе экипажа.

Полная нагрузка любого СВП относительно невелика и сравнение проектируемого с существующими аналогами следует проводить по полной грузоподъемности, включающей массу экипажа с багажом, продовольствием и пресной водой к массе топлива, доля которого из-за высокой энергоэффективности и легкой заправляемости применяемых типов ГД обычно невелика и может достигать до 20% полной массы судна.

9.3. Масса корпуса и несущего оборудования

Как уже отмечалось, корпус АСВП отличается прочностью обшивки и местную, по объему размещения и площади палуб, жесткостью, плавучестью, устойчивостью на волнении является несущей платформой, опорой для конструкции, воспринимающей силы давления со стороны области воздуха, воды, давления при парении на ВП или со стороны

воды при нахождении СВП в водозащитном положении. Важнейшим принципом, заложившим в основу проектирования корпуса СВП, является стремление к минимизации его массы.

Влияние массы корпуса определяется рядом факторов, к которым относятся:

- характеристики конструктивных материалов;
- геометрические параметры, определяющие форму и размеры конструкции;
- внешние нагрузки, определяющие величину действующих перерезывающих сил и изгибающих и крутящих моментов;
- внутренние силы, возникающие в элементах конструкции и определяемые величинами внешних сил, геометрическими параметрами и жесткой обшивкой;
- силовая схема, т.е. система конструктивных элементов, определяемая их количеством, расположением, формой, от которых зависит характер их работы (сжатие, растяжение, сдвиг);
- компоновка судна, зависящая от распределения грузов, двигателей, агрегатов, механизмов, запасов;
- требования прочности;
- требования эксплуатации (форма обшивки, ремонта, надежность, долговечность);
- технологические требования (технологичность конструкции, удобность, простота обработки и соединения конструктивных материалов и т.д.);
- производственные возможности и организация производства.

Снижение относительной массы корпуса $D_{кр}/D_0$ способствует понижению коэффициента использования полной массы при $D_0 = const$ и позволяет добиться также уменьшения давления на ВП, а значит, и величины потребляемой подлодкой комплексной мощности. Если у

сопременных СВП $G / S_a = 2,5 \dots 5,0$ кПа,

сухогрузных водонепроницаемых судов относительная жесткость G к площади грузовой палубы $S_{гпа}$ составляет $30 \dots 70$ кПа. Это подтверждает необходимость применения легких судов и обогранных конструкций для СВП.

Для первых приближений следует иметь в виду, что в долях от полной массы

$$D_{кр} = (0,25 \dots 0,32) D_{\Sigma} \quad (8.1)$$

Масса корпуса $D_{кр}$ при этом включает

массу несущего пояса, мастробов, рубок, весных конструкций, служивших для крепления фундаментов, подкреплений, изоляции корпусных жестких опор для стоянок судна на площадке, массу оборудования помещений.

Естественно, что большее значение имеет тип применяемых конструкционных материалов, технология постройки. Например, применение современной технологии по сравнению с традиционной судостроительной дает возможность существенно уменьшить массу корпусов. Используя статистические данные крайне затруднительно, ибо, как уже отмечалось, стандарты разных стран и даже разных фирм неидентичны.

Так, в практике США деление массы, оборудованное помещений, изоляции, окраска включены в специальный раздел, куда включены и ЗИП, а в раздел "корпус" включены только масса твердого и жидкого балласта.

Подобно этому масса ГО в английской практике, в отличие от традиций США и России включается в состав раздела "корпус". Такая разнохарактерность в подходе к идентификации каждого раздела нагрузок при включении от отсутствия сведений по ней построенных судна делает использование статистических данных

неполным, хотя некоторые выражения из приведенных ниже можно применять на первых этапах проектирования судов. В зависимости от нагруженности конструкций, характеризуемой коэффициентом $\bar{G}_s$, для ряда его значений могут быть предложены следующие формулы, полученные с учетом данных из [184]:

$$\text{— для } \bar{G}_s = 0,0075$$

$$\frac{D_{кр}}{D_{\Sigma}} = \frac{0,28}{D_{\Sigma}^{1/3}} + 0,01 \frac{D_{\Sigma}^{1/3}}{\bar{G}_s} \quad (8.3)$$

$$\text{— для } \bar{G}_s = 0,0156$$

$$\frac{D_{кр}}{D_{\Sigma}} = 0,24 + \frac{0,00175 D_{\Sigma}^{1/3}}{\bar{G}_s^{1/3}} \quad (8.4)$$

$$\text{— для } \bar{G}_s = 0,032$$

$$\frac{D_{кр}}{D_{\Sigma}} = 0,21 + \frac{0,002 D_{\Sigma}^{1/3}}{\bar{G}_s^{1/3}} \quad (8.5)$$

В представленных выражениях полная масса судна D_{Σ} принимается в тоннах.

При использовании легких сплавов масса металлического корпуса $D_{мк}$ в долях от массы корпуса составляет

$$D_{мк} = (0,52 \dots 0,65) D_{кр} \quad (8.6)$$

В составе металлического корпуса на массу продольных связей приходится:

$$D_{лс} = (0,55 \dots 0,60) D_{мк} \quad (8.7)$$

Расчет массы корпуса по второму приближению можно проводить по методике И.Г.Бубнова, предполагающей выражение из всей массы корпуса массы продольных связей, в изложенной при-

множительно к АСВП α [78]. Масса продольных связей D_{pc} может быть определена как масса эквивалентного бруса:

$$D_{pc} = \alpha_3 \rho_{мет} Q_3 L, \quad (8.6)$$

где α_3 - коэффициент, учитывающий увеличение площади поперечного сечения эквивалентного бруса в оконечностях СВП: $\alpha_3 = 0,83 \dots 0,95$; $\rho_{мет}$ - плотность основного конструкционного материала корпуса; L - расчетная длина, за которую может быть принята $L_{жк}$ или L_n , м; Q_3 - площадь поперечного сечения эквивалентного бруса, $см^2$.

Расчетное (приближенное) значение изгибающего момента

$$M_{изг} = \frac{QL}{K_{изг}}, \quad (8.7)$$

где $K_{изг}$ - коэффициент нагибающего момента для расчетного случая, который по данным статистики можно принимать в 5...10.

У СВП ВРН⁴4МК1 и у КВП ЗЕФФА $K_{изг} = 5,5$; у небольших СВП $K_{изг} = 7 \dots 10$.

Момент сопротивления эквивалентного бруса

$$W_{min} = \frac{\eta_H}{2} Q_3 H_{ж}. \quad (8.10)$$

Здесь η_H - коэффициент утилизации профиля эквивалентного бруса, по статистическим данным [78] его значения соответствуют интервалу 0,5...0,7. Если считать, что возникающие в эквивалентном брус напряжения от общего изгиба не должны превышать допустимых $\sigma_{доп}$, за которые принимается предел текучести $\sigma_{тл}$, то следует исходить из условия

$$\sigma_{тек} = \frac{M_{изг}}{W_{min}}. \quad (8.11)$$

Тогда выражение (8.8) примет вид

$$D_{pc} = \alpha_3 \rho_{мет} \frac{2QL^2}{K_{изг} \sigma_{тек} H_{ж} \eta_H}. \quad (8.12)$$

Естественно, что в массу металлического корпуса, кроме продольных связей, воспринимающих напряжения общего изгиба, входят переборки, платформы, выгородки, фундаменты, подкрепления и прочие связи и конструктивные узлы. Их масса в связи с разнотипностью и разноразмерностью компонентов может быть учтена с помощью дополнительного слагаемого $D_{МК}^{доп}$:

$$D_{МК}^{доп} = \alpha_4 V_{кр}^{2/3}, \quad (8.13)$$

где $V_{кр}$ - объем помещений внутри металлического корпуса; α_4 - статистический коэффициент, который для приближенных оценок может быть принят 0,17...0,22 [78].

Полная масса металлического корпуса определяется с помощью выражения

$$D_{МК} = D_{pc} + D_{МК}^{доп} = \alpha_3 \rho_{мет} \frac{2QL^2}{K_{изг} \sigma_{тек} H_{ж} \eta_H} + \alpha_4 V_{кр}^{2/3}. \quad (8.14)$$

Таким образом, используя зависимости (8.2) - (8.6), (8.14), можно в первом приближении получить величину массы корпуса $D_{кр}$.

В практике проектирования зачастую рассматривается масса оборудования корпуса, однако масса собственно корпуса объединяется с массой судовых устройств, судовых систем, во-

оружия, и для их определения можно привести следующие рекомендации.

Масса судовых устройств (рулевого, якорного, швартового, буксирного, спасательного, подъемного) без учета массы ГО, рассматриваемой в отдельной статье, определяется в выражении

$$D'_{cy} = p_{cy} D_n, \quad (9.15)$$

где $p_{cy} = 0,020...0,030$.

Состав и комплектация судовых устройств на АСВП весьма специфичны. Так, в рулевом устройстве включаются только массы вертикальных и горизонтальных рулей, которые часто выполняются в совокупности со стабилизаторами, а последние в существующей практике, как и пилоты ВВ, также выполняемые в виде стабилизаторов, относят к корпусным конструкциям и включают в раздел "корпус". В рулевое устройство входят струйные рули, представляющие собой поворотные заслонки для регулируемого выпуска воздуха. При планировании состава якорного и швартового устройств пользуются каталогами нормами. Вместо якорной цепи, как правило, используют якорный канат, а цепи, кнехты, клипсовые планки, скобы, приспособленные для хранения якорей выполняются из легких сплавов. С целью облегчения массы судовых устройств для СВП предусматривается применение буксирного и другим судном.

Спасательное устройство включает в себя спасательные надувные плоты, спасательные лодки, спасательные круги. Устройство подъемного, если оно имеется, состоит из цепей, тросов и рылов и используется для дополнительных возможностей маневрирования судном, применяется, как правило, только на малых СВП. Аппаратное устройство необходимо, если пред-

лагается прием на судно копеечной техники. Массы сходки и устройства ее подъема зависят от водонакачки на них нагрузок, размеров якорей и типа применяемого конструкционного материала.

Масса судовых систем может быть оценена выражением

$$D_{ст} = p_{ст} D_n, \quad (9.16)$$

где $p_{ст} = 0,02...0,03$.

В состав этого раздела входят массы движущих систем: осушительной, дифференциальной, фотоэлектрических (капаческого пожаротушения, зажигания, освещения), бытового водоснабжения, отопительно-фановой, вентиляционной, кондиционирования, отопления и пр. Для СВП большое значение имеет система гидравлики, при помощи которой осуществляется привод управления якорей, воздушных рулей, кворота наклона струйных рулей, подъем ГО и т.д. Широко используются трубопроводы и арматура из легких сплавов и материалов там, где это не ограничено химической агрессивностью рабочей среды системы.

Масса компонентов ЭЭС, внутрикорпусной связи и управления $D_{ээс}$ в зависимости от типа электроснабжения и частоты переменного тока на 50 Гц или 400 Гц и от мощности потребителей может быть оценена в доли от полной массы судна:

$$D_{ээс} = p_{ээс} D_n, \quad (9.17)$$

где $p_{ээс} = 0,01...0,05$.

Этот раздел включает в себя массу электродвигателей с винтным двигателем (дизель-генераторы или турбогенераторы), механические системы и редукторы топливных насосов.

верных двигателей, трансформаторов, аккумуляторов батарей, распределительных щитов, кабелей силовых магистралей и кабельных коробов, сети освещения, дистанционного и автоматического управления системным устройством и ЭУ, внутрикорабельной связи, крепежных и монтажных материалов. Для гражданских СВП в этот раздел можно включить и массу оборудования дистанционного и навигационного $D_{др}$, ибо ее

масса здесь оказывается пренебрежимо малой. Наряду с обеспечением нужд приводов судовых систем, устройств и вспомогательных механизмов, освещения, внутрикорабельной связи, управления работой главных механизмов, монтажа источника электроэнергии на СВП может обещать и запуск ГТД (с учетом коэффициента одномерности работы потребителей). Следовательно массой этого раздела можно считать массу необходимого оборудования, обечаемых кабелей, принадлежностей на ГД, электрогенераторов и вспомогательных механизмов.

Масса жидких грузов $D_{жгр}$, если в нее включить и массу постоянных и переменных жидких грузов, может быть определена в пределах

$$D_{жгр} = (0,003 \dots 0,02) D_{п}. \quad (9.18)$$

В нее входят остатки топлива и масла в главных и вспомогательных ЭУ, в механизмах и аппаратах судовых систем и устройств, остатки воды в корпусе.

Массу постоянного снабжения и имущества $D_{снп}$, в которую входит масса санитарного, швартово-спасательного, медико-санитарного и других составных, можно учесть, приняв ее равной:

$$D_{снп} = (0,003 \dots 0,005) D_{п}. \quad (9.19)$$

9.4. Масса энергетической установки

Данный раздел нагрузки включает массу судовых двигателей, деталей их крепления, трансмиссий, дизелей, магнетитов, вспомогательных механизмов, топливных систем и систем (линий) ГД, сепараторов (фильтров) для очистки воздуха, поступающего в главные двигатели, расходных топливных и масляных баков, маслораспределителей, системы запуска ГД в газодыхлоном оборудовании попутный ЭУ, системы контроля, дистанционного управления, автоматизации и защиты.

Масса ЭУ $D_{эу}$ в зависимости от ее комплектации, компоновки и тактико-технических характеристик составляет обычно (10...15)% от полной массы СВП, несмотря на то, что ГД, так и остальные оборудование, принимаются только облегченного типа, практически соответствующего авиационным стандартам. Протяну этого заключается в высокой энергооборуженности СВП по сравнению с любыми другими судами.

Очевидно, что масса ЭУ находится в прямой зависимости от суммарной мощности главного источника энергии (может быть одна или несколько ГД)

$$D_{эу} = P_{эу} N_{эу}, \quad (9.20)$$

где $P_{эу}$ — коэффициент этого раздела массы, который для повышения эффективности судна должен быть, по возможности, предельно минимизирован. Он зависит от типа ГД, их количества, способа передачи и преобразования крутящего момента между потребителями, компоновочной схемой ЭУ, вида редукторов, примененных конструктивных материалов.

Мощность ЭУ (Bt) в первых приближениях можно рассматривать, исходя из данных §1.4.3

$$N_{\Sigma} = N_{AK} + N_{BK}.$$

$$N_{\Sigma} = \frac{K_0 K_1 K_2}{\eta_{TP}} \left(\frac{R_{\Sigma} U}{\eta_{AK}} + \frac{K_3 P_n Q_n}{\eta_{BK}} \right) \quad (9.21)$$

(обозначения см. в § 4.3 и 5.6, в главе 3).

Используя понятие гидродинамического качества

$$K_{BK} = \frac{G}{R_{\Sigma}}$$

и принимая $P_n = G/S_n$ с учетом выражения (4.18) зависимость (9.21) преобразуем к виду

$$N_{\Sigma} = \frac{K_0 K_1 K_2 G U}{\eta_{TP} K_{TK} \eta_{AK}} \left(1 + \frac{K_3 K_4 K_{BK} \eta_{AK} \sqrt{h_{FO}}}{U \eta_{BK}} \right), \quad (9.22)$$

где по данным § 4.3 $K_0 K_1 \approx 1,1$; $K_4 = 0,79 \pm 0,05$; G - сила тяжести судна; U - скорость, м/с; h_{FO} - высота ГО, м.

Рекомендации к значению η_{BK} , K_0 , K_1 , K_2 приведены в § 4.3; η_{AK} - в § 5.6. Значение гидродинамического качества K_{BK} следует определять по прототипу или по статистическим данным, что вносит, однако, большую погрешность.

На такой зоне в интервале скоростей (50...80) уз большинство АСВП имеют $K_{BK} = 16...22$. При наличии прототипа значения R_{Σ} для определения K_{BK} с его кривых сопротивлений движению берутся для ожидаемого у проектируемого судна значения Fr_L (или $Fr_V = \frac{U}{\sqrt{g \Delta / \rho}}$).

может оказаться, что используя, например, данные прототипа, скорость которого U равна скорости проектируемого судна, но по полной массе прототип меньше. Тогда значение гидродинамического качества создаваемого судна будет заниженным.

Если перейти к использованию принятых для размерностей и полной массы судна D_n (н), то полученная зависимость (9.22) для N_{Σ} примет вид:

$$N_{\Sigma} = \frac{K_0 K_1 K_2 G}{\eta_{TP}} \frac{D_n U}{K_{BK} \eta_{AK}} \left(1 + \frac{K_3 K_4 K_{BK} \sqrt{h_{FO}}}{U} \frac{\eta_{AK}}{\eta_{BK}} \right). \quad (9.23)$$

Из опыта, что для средних и крупных СВП наиболее приемлемым типом ГД является ГТД, который после конвертирования по сравнению с валовыми турбинами обладает несколько большей удельной массой. Как видно из табл. 9.1, значения масс сухого двигателя находятся чаще в пределах (0,25...0,75) кг/кВт.

Конвертированные ГТД, при разработке которых в качестве базовых использованы серийные авиационные двигатели, как следует из тех же таблицы, имеют удельную массу даже (0,2...0,4) кг/кВт. Статистические данные по встроеным СВП, основанным ГТД, позволяют считать величину P_{93} (относительно к данной мощности N_{Σ}) из диапазона

$$P_{93} = (2,0...3,0) \text{ кг/кВт}. \quad (9.24)$$

Масса сухих двигателей составляет от полной массы ЭУ около одной трети (табл. 9.2).

Значительно реже, как видно из таблицы, используют также большую протяженность валов и редукторы, изготавливаемые чаще всего из высокопрочных сталей или титановых сплавов, нагнетатели, двигатели, а также вспомо-

испытательные отдельно стоящие механизмы, типа ЗУ, оборудованные помехами ЗУ, включаются системы воздухопровода и т.д.

Таблица 4

Приближенное распределение нагрузки ЗУ, современных СВП, оснащенных ГТД

№ п/п	Наименование статьи нагрузки	Доля статьи от полной массы ЗУ
1	Масса сухих двигателей	$28,0 \pm 6,0$
2	Трансмиссия	$30,0 \pm 6,0$
3	Нагнетатели	$16,0 \pm 5,0$
4	Двигатели	$9,0 \pm 3,0$
5	Вспомогательные механизмы, оборудованные помехами ЗУ, системы, обслуживающие ЗУ	$18,0 \pm 7,0$

Если выражение (9.20) дает возможность оценить полную массу ЗУ, исходя из потребляемой мощности ГД, то данные таблицы позволяют лучше конкретизировать основные статьи расхода $D_{ЗУ}$.

Масса сухого двигателя приводится в таблицах, из которых выбирается приемлемый вариант. Масса нагнетателей может быть оценена по зависимости (4.36), (4.38), (4.40). Так же можно поступить при определении массы ВВ, для чего можно образно использовать данные по их массовым характеристикам, которые можно получить табл. 5.1 и по выражениям (5.38)-(5.41).

Классический способ определения массы трансмиссии, включающей массу валов, шестов (прессор, муфт, опорных и упорных

шестов) и массу редуктора, следует отметить, что предпочтительно использование ГТД с астроинерцией, как правило, планетарными редукторами, которые в этом случае имеют наилучшие отношения 2...8.

Как показано в [136], масса планетарного редуктора с цилиндрическими колесами (кг):

$$D_{pu} = 25 q^{4,31}, \quad (9.25)$$

редуктора планетарного типа (кг):

$$D_{pn} = 9,56 q^{0,95}, \quad (9.26)$$

или

$$q = \frac{1,36 N_i (i_p + 1)^3}{n i_p}, \quad (9.27)$$

N_i — подводимая к редуктору мощность, кВт;

i_p — передаточное отношение редуктора; n — частота вращения входного колеса, мин^{-1} .

Большой проблемой является передача крутящего момента от двигателя, включенного в корпус СВП, к ВВ, подвешенным на плечах моста над палубой, как на английских СВП ВМ.7 и ЗРМ.4. Протяженность вала, наличие опорных подшипников, упорного подшипника, верхнего и нижнего угловых редукторов могут быть причиной того, что трансмиссия двигателя-шестового комплекса окажется лишнего тяжелее, чем прикладной ГТД. К этому добавляется высокая стоимость и малый ресурс угловых редукторов. Значительный опыт в создании подобных трансмиссий (угловых колонн накопителей для постройки СПК с глубоконгруженными волновыми крыльями (СПК США и Канады "Вактор", "Фигстаф", "Денсон", "Хай Поинт", "Браз Фор" [93]). Этот опыт (а в некоторых слу-

чаки и модули этих трансиссов) может достигаться при проектировании СВП, состоящих ВВ. Удельная масса угловых колесных составов у СПК "Дамсон" 0,81 кг/кВт, у 1,22 кг/кВт - у СПК "Виктория". Удельные угловые колески в состоянии трансформации мощностью до 13 тыс.кВт. Значительное снижение массы и стоимости трансиссов достигается, применяя комплексное проектирование СВП, применяя приводные двигатели в гермоне непосредственно на ВВ, как на фрикционных СВП К500. После выполнения массы редукторов можно оценить и массу валопровода, которая зависит от его суммарной протяженности $L_{\text{вал}}$, частоты вращения $n_{\text{вал}}$, массы передаваемого крутящего момента и плотности использованного для изготовления материала $\rho_{\text{мат}}$. В массу валопровода $D_{\text{вал}}$ входит масса всех валов, опорных и главных упорных подшипников (если последние не встроены в двигатель или редуктор), вспомогательных упорных подшипников, муфт, соединительных болтов [102]:

$$D_{\text{вал}} = (1 + \alpha_{\text{вал}}) \rho_{\text{мат}} d_{\text{вал}}^2 l_{\text{вал}} (1 - m_{\text{вал}}^2); \quad (9.22)$$

$$\alpha_{\text{вал}} = \frac{2,75}{1 - m_{\text{вал}}^2} \sqrt{l_{\text{вал}}}; \quad (9.23)$$

$$d_{\text{вал}}^{\text{та}} \approx 0,26 \sqrt[3]{\frac{N}{n_{\text{вал}} [\sigma_T]}}; \quad (9.24)$$

$$d_{\text{вал}}^{\text{а}} \approx 0,645 \sqrt[3]{\frac{N}{[\tau_n] n_{\text{вал}} (1 - m_{\text{вал}}^2)}}; \quad (9.25)$$

$\alpha_{\text{вал}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную массу вспомогательных элементов валопровода;

$d_{\text{вал}}$ - диаметр валопровода, м;

$m_{\text{вал}}$ - степень расточки вала валопровода - отношение внутреннего диаметра болтового вала к его наружному диаметру;

$l_{\text{вал}}$ - длина валопровода, м;

$d_{\text{вал}}^{\text{а}}$ - диаметр вала с дисковой установкой, м;

$d_{\text{вал}}^{\text{та}}$ - диаметр вала с турбинной установкой, м;

$[\sigma_T], [\tau_n]$ - соответственно предел текучести и допускаемое напряжение сжатия для используемого материала.

Здесь подразумевается, что значения $L_{\text{вал}}$ и количество главных двигателей $K_{\text{гб}}$

$$L_{\text{вал}} = K_{\text{гб}} l_{\text{вал}}. \quad (9.26)$$

Учитывая разноточность в большую температуру составленных нагрузок ЗУ (см. табл. 9.2), их целесообразно учитывать в виде поправки к сумме составленных масс, входящих в табл. 9.2. Можно отметить, что существенно специфический характер имеет здесь система воздухопривода, масса которой считается пропорциональной количеству воздуха, подвергнутого сжатию перед поступлением его на входное отверстие двигателя, или мощности установочного ГПД. Имеет значение в способ подачи воздуха, и количество ступеней. В частности, сетчатые фильтры (треугольного типа) выполняются в виде модулей, устанавливаемых в стандартном разном размере обычно 1000 x 500 мм, (400 x 600) мм, количество ко-

торых выбирается из условия получения скорости течения через них очищаемого воздуха предельных $\psi_1 = (3...5)$ м/с, где необходимая минимальная площадь рамок δ_{Σ} (м²) может найтись из:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{Q_{\text{вз}}}{\psi_1} \quad (9.33)$$

Тогда масса сетчатого фильтра без учета массы рамок определится так:

$$D_{\text{фс}} = m_{\text{фс}} \delta_{\Sigma} \quad (9.34)$$

где $m_{\text{фс}} = (5...7)$ кг/м².

В целом масса воздухоприемной системы, кроме инерционных и сетчатых фильтров, имеет система их обогрева при отрицательных температурах окружающего воздуха, а также система слива собранной после очистки воды, может быть оценена приближенно:

$$D_{\text{ф}}^{\Sigma} = m_{\text{ф}}^{\Sigma} N_{\Sigma} \quad (9.35)$$

где $m_{\text{ф}}^{\Sigma} = (0,1...0,2)$ кг/кВт.

Если в качестве ГД используются воздушные компрессоры отелей нагрузки и раздала, то масса значительно уменьшается. Удельная масса двигателей (см. табл. 8.2), как правило, находится в пределах $(3...6)$ кг/кВт [38]. Поскольку частота вращения выходного вала практически всегда совпадает (или близка) к частоте вращения магнетола и двигателя, трансмиссии составляет здесь значительно меньшую долю от полной массы ЭУ. Поэтому значения передаваемой мощности позволяют пользоваться рекомендациями и удельными расходами. Однако компонентов ее можно произвести с

использованием приведенных выше рекомендаций. Ввиду малого количества воздуха, потребляемого ЭУ по сравнению с ГД, значительно упрощается и облегчается система газооборота и воздухоподготовки. Этому способствует и то обстоятельство, что ВД менее чувствительны к присутствию в воздухе морских солей, аэрозоль, пыли и т.п. Масса сухих двигателей в том случае находится в пределах 30...50% от полной массы ЭУ. Тогда для СВП, оснащенных ВД, измеритель $P_{\text{вн}}$ в (9.20) не превышает 1...10 кг/кВт.

§ 9.5. Расчет запасов топлива

Запасы топлива $D_{\text{тн}}$, необходимого для обеспечения судна заданной дальности хода T , определяются исходя из суммарной мощности полной ЭУ N_{Σ} , расчетной скорости хода V , удельного расхода топлива $P_{\text{тн}}$, мощности турбо- или дизель-генераторов, которые используются для запуска ГД и питания судовой электросети, и удельного или часового расхода топлива приводных двигателей, потребляемый в единицу массы для работы трансмиссий главных и вспомогательных двигателей:

$$D_{\text{тн}} = \alpha_1 \alpha_2 P_{\text{тн}} N_{\Sigma} \frac{T}{V} \quad (9.36)$$

где α_1 — коэффициент, учитывающий морскую волну на случай непогоды, вызывающей снижение скорости. Ход судна на расчетном (проектном) волнении при скорости, равной скорости движения по тихой воде, на так называемой длительной мощности ГД сопровождается снижением скорости на (30-40)% из-за

режимо увеличения прежде всего гидравлического сопротивления (сопротивления "задвижки"). В связи с этим коэффициент α_1 изменяется обычно 1,1.

С помощью коэффициента α_2 учитываются неизбежный остаток в топливных системах и дополнительные расходы топлива на прогрев ГД, работу их на холостом ходу, запуски, а также расходы топлива на работу пусковых агрегатов, судовых источников тока и, кроме того, на пары смазочных материалов, обеспечивающих смазку шарниров трансмиссий, главных и вспомогательных двигателей. Среднее значение этого коэффициента также оценивается величиной 1,1.

Удельный расход топлива $P_{тн}$ как величина, зависит от типа установленного двигателя и от режима его работы. Уровень экономичности ГТД, приемлемых для установки на СВП, может быть определен по данным рис. 8.7.

С ростом агрегатной мощности удельный расход топлива имеет явную тенденцию к снижению, особенно когда $N < 10$ тысяч лт. При дальнейшем росте мощности снижение $P_{тн}$ замедляется, приближаясь тем не менее к

указанным показателям дизелей. И в табл. 8.5 и на рис. 9.1 можно заметить существенный разброс характеристик экономичности различных ГТД, который определяется температурой газа перед турбиной и степенью совершенства двигателя. С увеличением мощности ГТД относительные потери в нем уменьшаются, что способствует росту удельного расхода топлива.

Аппроксимируя графическую зависимость рис. 9.1 в интервале $N = (2000...7000)$ можно получить приближенное выражение $P_{тн}$ (кг/кВт·ч) для этого интервала

$$P_{тн} = 0,38 - 0,024(N \cdot 10^{-3})^2. \quad (9.37)$$

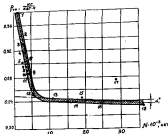


Рис. 9.1. Зависимость удельного расхода топлива от агрегатной мощности зарубужных ГТД: 1 - TF 25с; 2 - TF 35; 3 - TF 40; 4 - 501MP; 5 - LM 300; 6 - ME 900-3; 7 - GTPF 980; 8 - RMic; 9 - 570KB; 10 - RM20; 11 - LM 300; 12 - 570KB; 13 - SPEY; 14 - LM 2500; 15 - RB 211; 16 - FT9; 17 - FT4; 18 - LM 5000

Для интервала мощностей $N = (8...35)$ тысяч лт мощность приобретает вид

$$P_{тн} = 0,25 - 1,43 \cdot 10^{-6} N. \quad (9.38)$$

Говоря об экономичности ГТД, следует иметь в виду уменьшение потребления ими топлива в паравальных режимах [36], [135], что исключает возможность установки в качестве главного ГТД значительно больших, чем требуется для проки СВП, мощностей, если нет по-

238
ходящего среди предлагаемых промышленностью
(рис.9.2).

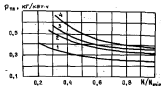


Рис.9.2. Удельный расход топлива зарубеж-
ных ГТД на различных режимах работы:
1 - LM 2500 ($N_{\max} = 19700$ кВт,
 $t^* = 27^\circ\text{C}$); 2 - Таёж ($N_{\max} = 3300$ кВт;
 $t^* = 38^\circ\text{C}$); 3 - LM 1500 ($N_{\max} = 10300$ кВт,
 $t^* = 38^\circ\text{C}$); 4 - Протей ($N_{\max} = 3300$ кВт)

Повышение удельного расхода топлива можно определить по следующему приближенному формулам:

- для ГТД

$$(P_{тн})_i = (P_{тн})_{ном} \left[0,74 + 0,26 \frac{N_{ном}}{N_i} \right]; \quad (9.39)$$

- для ВД изменение удельного расхода менее существенно

$$(P_{тн})_i = (P_{тн})_{ном} \left[0,9 + 0,4 \left(\frac{N_i}{N_{ном}} - 0,5 \right)^2 \right]; \quad (9.40)$$

где $(P_{тн})_i$, N_i и $(P_{тн})_{ном}$, $N_{ном}$ - удель-

ный расход топлива и мощность двигателя на i -м и номинальном режимах соответственно.

Изменение $P_{тн}$ у ВД при переходе с режима на режим, как правило, пренебрежимо мало.

Использование ГТД в качестве ГД ставит и другие проблемы по обеспечению судна топливом. ГТД весьма чувствительны и по ресурсу, и по увеличению расхода топлива к параметрам окружающего воздуха, в частности, к его температуре, к насыщенности солями морской воды (табл.9.3 и рис.9.3).

Из табл.9.3 видно, что с повышением температуры окружающего воздуха снижается мощность на выходном валу и одновременно повышается удельный расход топлива. Это обстоятельство требуется учитывать при подсчете запасов топлива, если судно будет эксплуатироваться в регионах с повышенной температурой воздуха.

В то же время данные таблицы подтверждают, что ГТД можно использовать в основном на тех морских судах, длительных переходах, не превышающих $N = 0,8 N_{ном}$, либо

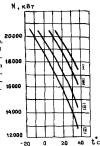
в полной номинальной мощности предусматривается продолжительность работы их не более (15-20)% от отпущенного условным на запуск двигателя ресурса (в настоящее время он составляет обычно менее 2 тыс.ч).

Те же проблемы приходится решать и при создании СВП высокоскоростными двигателями. Для СВП применимы только ВД с воздушным или водовоздушным охлаждением. Для них характерна значительно большая удельная масса по сравнению с ГТД, но главное препятствие к применению ВД с водовоздушным охлаждением заключается в затруднении с отводом тепла с поверхности ВД. Это может привести к значительному перегреву ЗУ, а не исключено,

Таблица 9.3
Зависимость мощности ГТД LM-2500 от срока его службы
и температур наружного воздуха

Режим исполь- зования двигате- ля	Ресурс (до появ- ления поло- мки), ч	при $t^* = 21^{\circ}\text{C}$		при $t^* = 315^{\circ}\text{C}$	
		Мощность, кВт	Удельный расход топлива, г/кВт · ч	Мощность, кВт	Удельный расход топлива, г/кВт · ч
I	500	19800	233	17200	242
II	2500	18700	234	16000	245
III	5000	18050	238	14200	250
IV	8000	15400	244	12550	260

рис. 8.3. Зависимость
мощности ГТД LM2500
и температуры окру-
жающего воздуха на
удельных эксплуата-
ционных режимах I -
ресурс 500 ч; II -
2500 ч; III - 5000 ч;
IV - 8000 ч



но вытраты в эквивалентности в стоимости агрегата по сравнению с ГТД будет сведен на нет.

По этой причине в качестве главных на АСВП используются ВД воздушного охлаждения, вытесняющиеся в относительно узком диапазоне расчетной мощности (см. табл. 8.2), что позволяет применять их только на небольших СВП.

Значительно возрастают капитальные затраты по сумме на создание необходимых трансмиссий, отличающихся сложностью, большой массой и высокой стоимостью.

Для подсчета массы топлива определяем часового времени $t_{\text{вдв}} = r/v_{\text{расч}}$ при заданной

в ТЗ дальности хода r производится для скорости длительного хода - на волнении с интенсивностью (0...2) балла (при высоте волны 3%-го обеспечения около 0,5 м) и длительной мощности ГД, соответствующей $N_{\Sigma} \approx 0,8 N_{\text{ном}}$.

Это приводит к тому, что расчетная (для опре-

запасов топлива) скорость хода $V_{расч}$ (на (3...5) уз меньше максимальной V_{max} , со-
ответствующей условиям тихой воды и $N = (0,9...1,0) N_{max}$;

$$V_{расч} = V_{max} - (3...5). \quad (0.41)$$

Таким образом, проблема мощности, а также выигрыш в запасах потребляемого топлива, прива-
дуют к проекту и массе и стоимости ЗУ по компонентам трансмиссии и двигателя-
лей. При обосновании типа и компоновки ЗУ речь идет о решении экстремальной задачи (1,24), в процессе решения которой должны быть учтены эксплуатационные расходы и капитальные затраты, связанные не только с выбором и функционированием ЗУ, но и с изменением эффективности судна из-за сопутствующих изменений полезной грузоподъемности.

Доля запасов топлива на СВП достаточна велика при сравнительно незначительной дальности хода:

$$\frac{D_{TN}}{D_n} = a_1 a_2 g P_{TN} r \frac{N_x}{g D_n V}. \quad (0.42)$$

Здесь $\bar{N}_x = \frac{N_x}{g D_n V}$ - безразмерная характеристика,

используемая для транспортных средств (g - гравитационное постоянная). Для одного из наиболее совершенных гражданских АСВП - французского СВП N 300 [158]:

$$(\bar{N}_x)_1 = \frac{N_x}{g D_n V} = 0,129. \quad (0.43)$$

Сравним его возможности с возможностями судна, име-

щего $D_n = 21425$ т, $N_x = 17000$ кВт, $V = 22,3$ уз, $P = 13000$ мВт, $D_{TN} = 2337$ т, $P_{TN} = 0,21$ кг/кВт-ч

$$(\bar{N}_x)_2 = \frac{N_x}{g D_n V} = 0,00708.$$

Здесь индекс 1 при N_x относится к характеристикам СВП, а индекс 2 - характеристикам сравнимого с ним сухогрузного судна

$$r_1 = r_2 \frac{(\bar{N}_x)_2}{(\bar{N}_x)_1} \frac{(P_{TN})_2}{(P_{TN})_1}.$$

Удельный расход топлива ГД TE40 установленных на СВП N500, составляет при эксплуатации ЗУ на длительной мощности $(P_{TN})_1 = 0,34$ кг/кВт-ч. Стремление сократить D_{TN}/D_n на уровне 10,8% возможно для СВП типа N500 только при условии назначения дальности его хода $P = 440$ миль.

Согласно большому запасу топлива у СВП в процессе расхождения диаметрально изменяет величину полной массы. Уменьшение массы судна приводит к снижению потребляемой полезным и дополнительным комплексом мощности. Пренебрегая уменьшением удельного расхода топлива P_{TN} на парциальных режимах работы ГД и предполагая скорость хода судна V постоянной, а массу топлива D_{TN} в составе полной массы D_n изменяющейся во времени t , представим от такого значения $(D_n)_t$ по времени можем записать в виде [164]:

$$\frac{d(D_n)_t}{dt} = - \frac{d(D_{TN})_t}{dt} = - P_{TN} N_x, \quad (0.44)$$

где $(D_{TN})_t$ - текущее значение массы топлива.

Приращение пройденного судном расстояния

$$dr = v dt_t. \quad (9.45)$$

Пройденное судном за время t_t расстояние r можно определить, интегрируя правую часть выражения (9.45) от 0 до t_t или, наоборот, dt_t его зависимость от $d(D_n)_t$ (9.44). После интегрирования нового выражения от $(D_n)_H$ до $(D_n)_K$ найдем уточненное значение дальности хода судна r^* (миль):

$$r^* = \frac{(D_n)_K v}{N_{\Sigma} P_{TN}} 1000 \ln \frac{(D_n)_H}{(D_n)_K}, \quad (9.46)$$

где исходим из условия, что масса топлива есть разность между начальной и конечной массой судна:

$$D_{TN} = (D_n)_H - (D_n)_K. \quad (9.47)$$

Преобразуя выражение (9.46) при помощи (9.47) и принимая принятое ранее обозначение $(D_n)_H = D_n$, получаем:

$$r^* = \frac{1000 (D_n - D_{TN}) v}{N_{\Sigma} P_{TN}} \ln \frac{D_n}{D_n - D_{TN}}. \quad (9.48)$$

Выражения (9.48) и (9.49), есть измененное выражение Брота [184], [82], в котором D_n , D_{TN} подставляются в тоннах, v в узлах, N_{Σ} - в киловаттах, P_{TN} - в киловаттах на киловатт час (квт/кВт·ч).

Различие в значениях $(r^* - r)$ при установленном запасе топлива в зависимости от отклонения D_{TN}/D_n и экономичности ГД P_{TN} может доходить до (10...15)% от r , принятого в предварительном расчете дальности хода.

Говоря о формировании запаса горюче-смазочных материалов на судне [176], надо отметить, что они не должны быть легкоиспользуемыми, а в отечественной и зарубежной практике на СДПН чаще всего используется дизельное топливо, а также керосин. Объем топливных цистерн определяется исходя из его количества, которое в расчетах следует принимать $\rho \approx (0,82...0,84) \text{ т/м}^3$ (в частности, дизельное топливо имеет $\rho = 0,84 \text{ т/м}^3$, применяемое в зарубежной практике JP-5 имеет $\rho = 0,82 \text{ т/м}^3$).

Расположение топливных цистерн основного запаса и возможности топливной системы должны позволять использовать топливо в качестве регулируемого балласта для регулирования центра судна.

§ 9.6. Определение массы ГО

В составе нагрузки по судну в отечественной практике ГО включается в раздел "сухие устройства" и на него приходится, как правило, (60...70)% от этого раздела. Под массой ГО понимают не только массу эластичных конструкций, но и массу крепежа. Сюда же относят и приспособления для управления ГО или крепления его к корпусу, если таковые имеются.

Естественно, что основная часть совокупной массы ГО приходится на массу используемого материала, из которого изготавливаются

податливые конструкции. Раскрой плоских деталей, которые затем соединяются в пространственную конструкцию (она может сжиматься, сдвигаться, собираться на болтах), выполняется из рулонной обработанной стали, толщиной и поверхностной плотностью которой соответствуют требованиям прочности ГО прямого типа. Как отмечалось, доминирующими в назначенном толщине и поверхностной плотности является избыточное давление в области ВП и в изогнутых конструкциях гибкого размера, а также геометрические размеры, определенные радиусами цилиндров, конусов, сфер, торов, из которых собирается пространственная конструкция, выполненная ГО. Большое значение имеет и тип ГО, его конструкция, отношение $h_{ГО} / B_{ГО}$, отношение высоты гибкого размера в НЗ, форма и количество этих элементов, наличие или отсутствие сжимающихся плоскостей ВП ГО, условия эксплуатации. В конечном итоге масса ГО пропорциональна совокупной площади использованного материала, поэтому можно предположить, что приближенная зависимость для оценки $D_{ГО}$ в начальных стадиях проектирования будет, вы-

$$D_{\text{co}} = g_{\text{co}} \Pi h_{\text{co}}, \quad (B.48)$$

$$D_{re} = q'_{re} S_0 h_{re} \quad (2.50)$$

Может ли $\bar{g}_{\text{гг}}$ и $\bar{g}_{\text{гг}}^*$ в этих выражениях быть принято, или по приближенному аналогу $\bar{G}_0$, или по статистическим данным. Различия это типов $\bar{G}_0$, специфически особенностей структуры и малая выборка влияют статистику для данных крайне неоднородны, поэтому из-за использования аналога (прототипа). Измерения

для СВЧ, основанные по I типу, имеют довольно значительный разброс $\bar{g}_{\text{свч}} \approx (45 \pm 15) \text{ кг/м}^2$. Значительно большей устойчивостью обладает материал $\bar{g}'_{\text{свч}}$ для излучения того же типа:

$$g_{\text{Fe}}^J = (11 \pm 1.5) \text{ erg cm}^{-2}$$

Так, например, американские КВП JEFFA и JEFFB имеют значения этого параметра соответственно 9,35 кг/м³ и 11,6 кг/м³. При одинаковой высоте ГО, близких значениях размеров и площади в ВП сравнимых корабельных масс ГО в полых от полной массы у JEFFA составляет 2,3%, а у JEFFB - 3,3%. Это объясняется прежде всего отсутствием соединяющих продольных и поперечных килей у JEFFA и (см. табл. 6.3) использованием для всех компонентов ГО материала с повышенной плотностью $\rho_{ГО} = 1,69 \text{ кг/м}^3$, в то время как у JEFFB для габаритного размера применялся материал $\rho_{ГО} = 1,88 \text{ кг/м}^3$, а для НЗ $\rho_{ГО} = 3,05 \text{ кг/м}^3$.

Для отечественных и зарубежных СВП массово ГО в долях от полной массы СВП составляет (рис.8.4) [164] в среднем (3...5)%. Профи-
 $P_{\text{ГО}}/P_{\text{СВП}} = 100\%$

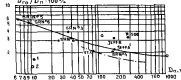


Рис. 8.4. Массы ГД в долях от полной массы системы [64]: 1 - симметричные сдвиг; 2 - несимметричные

ческой зависимости, полученная по сумм, казанным в основном ГО 1 типа, может служить для определения приближенных значений его массы в долях от D_{Π} .

У СВП, оснащенных ГО без замкнутого ресивера и соединяющих линий, а также ГО, изготовленных из легких материалов, как это видно на примере СВП VT1, можно достигнуть снижения их массы на (15...20)%.

У СВП NS00, оснащенного ГО III типа, имеющего полную массу 265 т, $S_{\Pi} = 840$ м², $h_{\Pi} = 2,5$ м, ГО обладает массой $D_{\Pi} = 81$ т, что составляет 3,4% от D_{Π} . Суммарная площадь разверток используемого материала составляет 2000 м².

После того как схема ГО принята, можно найти его массу, определив прежде суммарную площадь материала S_{Π}^{Σ} , который будет использоваться для его изготовления.

Рассмотрим алгоритм приближенного определения S_{Π}^{Σ} , если в качестве образцовой принята форма ГО 1 типа (рис.9.5):

$$S_{\Pi}^{\Sigma} = S_{\Pi}^{\Sigma} + S_{\Pi}^{\Sigma} \quad (9.51)$$

где S_{Π}^{Σ} - площадь материала, необходимая для гибкого ресивера, без учета отходов при раскрое; S_{Π}^{Σ} - площадь материала, используемая для всех НЗ.

Для подсчета S_{Π}^{Σ} предположим, что он состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое учитывает площадь материала, формирующего периферийный гибкий ресивер:

$$S_{\Pi}^{(1)} = L_{\Pi} \Pi \quad (9.52)$$

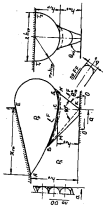


Рис.9.5. Схема ГО 1 типа для расчета его массы

где $L_{гг}$ - длина гибкой вилки поперечного сечения ресивера, соответствующая длине $ABCD$ на рис. 9.5.

Второе слагаемое позволяет найти площадь материала гибкого ресивера секционированных продольного и поперечного килей в продольном, что продольный киль непрерывен до жесткого днища судна от точки A в его носовой оконечности до такой же точки в корме. Гибкий ресивер поперечного секционирования кила состоит из двух равных отражек между точками A и T_1 и A и T_2 с каждой стороны от продольного кила. Выражение для 2-го слагаемого примет вид

$$S_{гг}^{(2)} = 2h_{гг}(L_n + b_n - 4\alpha_{гг} - 2h_{гг}). \quad (9.53)$$

Предполагается, что суммарная поверхность периферийного НЗ состоит из двух боковых стенок и соединившей их передней заклонной стенки

$$(S_{нз})_n = \frac{2h_{нз}(h_{нз} + b_n \cos \theta_{гг}^*)}{\sin 2\theta_{гг}^*}. \quad (9.54)$$

Число НЗ при условии единичности их по всему периметру ВП можно определить как

$$n_{нз} = \frac{\pi}{b_n}. \quad (9.55)$$

Поверхность каждой стенки, образующей внутреннюю часть секционированных килей, приблизительно можно найти с помощью выражения

$$(S_{нз})_c = \frac{h_{нз}}{\sin \theta_{гг}^*} (L_n + b_n - 4\alpha_{гг} - 2h_{гг}). \quad (9.56)$$

Общая площадь материала ГО

$$S_{гг}^{\Sigma} = S_{гг}^{(1)} + S_{гг}^{(2)} + n_{нз}(S_{нз})_n + 2(S_{нз})_c. \quad (9.57)$$

Для материала периферийного гибкого ресивера согласно выражению (8.40) можно найти приближенное значение его поверхностной плотности $S_{гг}$.

Если все ГО изготавливается из одинакового материала, то массу его можно найти, используя выражение

$$D_{гг} = C_{гг} S_{гг} S_{гг}^{\Sigma}, \quad (9.58)$$

где коэффициент $C_{гг} = 1,15...1,20$ позволяет учесть массу арматуры, коммисов, диффрэг, стоек, погрешности продольной связи раската килем $S_{гг}^{\Sigma}$ и, в частности, килем килей ланга крепления гибкого ресивера в носовой части судна, а также использование секций НЗ в кормовой и в угловых частях П. Аналогично могут быть получены приближенные методы вычисления массы ГО других типов (конусных, ГО с несмонтированным ресивером и т.д.).

Очевидно, что окончательное значение массы ГО определяют по его рабочим чертежам.

4.9.7. Точность расчетов нагрузок, назначенные эмпирические коэффициенты и устойчивости СВП

У рассматриваемых судов для массы погрузки в составе килей их массы значительна, чем у судов традиционного типа, потому повышение эффективности СВП за счет увеличения полноты грузоподъемности возможно только на основе тщательного анализа нагрузок и контроля масс с учетом ресурса, стоимости, технологичности комплектующих компонентов,

Формулы, по которым производится расчеты размеров нагрузки, как правило, эмпирические и сугубо приближенные, должны систематически уточняться по данным близких типов. Расчеты желательно выполнять по нескольким альтернативным зависимостям, среднюю из которых, уточнив эмпирическими практичными коэффициентами (измерениями), используя для этого данные статистики и опытных прототипов. Такой предварительный анализ нагрузки является базой для разработки рабочих данных и лимитов при расчетах нагрузки.

Разработкам корпуса, систем, устройств, ЭУ, электрооборудования выданы лимиты масс, в пределах которых ожидается получение нагрузки по соответствующему разделу. Для данного типа судов совершенно объективной является неточность выданных лимитов, что можно объяснить отсутствием достаточного опыта при проектировании и постройке, отсутствием установленных архитектурных форм и компоновочных решений создаваемых судов, а также тем, что многие применяемые на судах механизмы, оборудование, приборы оказываются специально разработанными для рассматриваемого проекта судна, поэтому в корабельных конструкторских постановках масса изделия часто значительно отличается от предварительно согласованной. В расчетах разделов нагрузки играет роль вид формул и степень разбивки нагрузки на составляющие. Это делает обоснованным практикуемое при проектировании резервирование массы судна на нагрузку каких-то составляющих, возможные отклонения в расчетах и другие случаи, а именно включение в массу проектируемого судна, с учетом которого компенсируются возможные превышения общей массы и которая в ее стандартной разбивке включает запасное

Запас возмещения в свою очередь состоит из следующих статей:

$$D_{30} = D_{301} + D_{302} + D_{303}, \quad (9.59)$$

- где D_{301} - отсрочиваемый заказчиком и нерасходуемый им при проектировании, им при постройке запас на модернизацию создаваемого объекта (он может и отсутствовать);
- D_{302} - отсрочиваемый заказчиком и расходуемый только с его разрешения запас технического прогресса, обеспечивающий возможность модернизации объекта устаревшего уже в процессе проектирования и постройки типа оборудования, если учесть, что этот процесс занимает сегодня 3...10 лет (в зависимости от степени новизны, сложности и размеров создаваемого объекта, наличие или отсутствие D_{303} в нагрузке - прерогатива заказчика);
- D_{303} - собственно запас возмещения в традиционном понимании, назначаемый главным конструктором и расходуемый с его ведома для компенсации возможных отклонений, о проношении которых было сказано выше.

Величины D_{301} и D_{302} предусматривают, как правило, возможность замены, например, компонентов вооружения, систем управления агрегатами, радиотехнических и навигационных приборов, т.е. тех составных оборудования объекта, которые развиваются и совершенствуются особенно стремительно и которые могут существенно улучшить его тактико-технические харак-

25-4

теристика. Каждая из этих статей может составлять резерв нагрузки в пределах (1...3)% $D_{гр}$.

Величина запаса водонизменения в зависимости от массы создаваемого судна в стадии разработки его проекта принимается для судов с полной порожней до 100 т:

- при наличии прототипа

$$D_{за\bar{в}} = (0,02 \dots 0,03) D_n \left(1 - \frac{D_{гр} + D_{тн}}{D_n} \right); \quad (9,80)$$

- при отсутствии прототипа

$$D_{за\bar{в}} = (0,03 \dots 0,05) D_n \left(1 - \frac{D_{гр} + D_{тн}}{D_n} \right). \quad (9,81)$$

Если в выражениях (9,80) и (9,81) численные коэффициенты рассматривать в качестве термистов, как измерители запаса водонизменения $p_{за}$, то значения их для судов с полной массой порожней свыше 100 т при наличии прототипа оказываются в пределах

$$p_{за} = 0,015 \dots 0,025, \quad (9,82)$$

- при отсутствии прототипа

$$p_{за} = 0,025 \dots 0,040. \quad (9,83)$$

Нужно в виду, что в (9,80), (9,81) выражения в последних скобках реально соответствуют значениям 0,4...0,6, рекомендуемая доля разброса запаса водонизменения от полной массы судна колеблется в пределах (1,0...2,5)% от D_n .

В приведенных выражениях большие значения коэффициентов соответствуют стадии технического предложения, средние значения - ста-

дии рабочего проекта, и меньшие значения - стадии технического проекта.

Низшие нормы запаса водонизменения $D_{за\bar{в}}$ для малых особо сложных и не имеющих аналогов судов могут иногда увеличиваться на (50...100)%. Предполагается, что центр тяжести всего запаса водонизменения $D_{за}$ по длине и по ширине судна совпадает с центром тяжести судна порожнем:

$$(x_g)_{за} = \frac{\sum_i D_i x_i}{D_n - D_{гр} - D_{тн}}; \quad (9,84)$$

$$(y_g)_{за} = \frac{\sum_i D_i y_i}{D_n - D_{гр} - D_{тн}}. \quad (9,85)$$

Кроме запаса водонизменения при расчете нагрузки вводится так называемый запас остойчивости $\Delta Z_{за}$. Это выражается в том, что центр тяжести запаса водонизменения принимается с коэффициентом $(x_g)_{за}$ на $\Delta Z_{за}$ больше, чем аппликата центра тяжести судна порожнем. Запас остойчивости нормируется: он принимается большим у судов большого водонизменения, при отсутствии прототипа его увеличивают. В процессе проектирования $\Delta Z_{за}$ уменьшают при переходе от одной стадии к другой.

$$(x_g)_{за} = \frac{\sum_i D_i x_i}{D_n - D_{гр} - D_{тн}} + \Delta Z_{за}. \quad (9,86)$$

Здесь $\sum_i D_i x_i$, $\sum_i D_i y_i$, $\sum_i D_i z_i$ - суммы моментов масс судна порожнем относительно медиаль-вертикали, диаметральной и осевой плоскостей соответственно.

Для судов с массой прогоним по 100 т

$$\Delta Z_{30} = (0,07...0,15) \text{ м} \quad (9,87)$$

свыше 100 т

$$\Delta Z_{30} = (0,08...0,20) \text{ м} \quad (9,88)$$

Столь значительный запас устойчивости обусловлен тем, что избыточных ошибок в предварительной оценке нагрузки следует ожидать в так ее разделах, которые комплектуются из поставляемых сторонними исполнителями механизмов, устройств, приборов и зачастую разрабатываемых заводов. Это в первую очередь касается приборов управления, автоматики, контроля, навигации, боевого и радиотехнического вооружения, которые, как правило, располагаются на палубе, в рубке, на крыше надстройки, и ошибки в назначении их массы чреваты снижением устойчивости судна.

Указанная величина специфика рассматриваемых судов требует тщательного весового контроля, включающего на всех стадиях их проектирования и при постройке возможность чрезмерного роста массы. Рост массы по перечисленным выше причинам в большинстве случаев есть явление объективное, однако перетяжеленность отражает недостаток опыта, неоптимальность конструкторских решений, отсутствие справочных и обоснованных расчетных методов, чрезмерные прочностные запасы при проектировании конструкций, отсталость технологии или отсутствие должной технологической культуры производства.

§ 9.8. Использование метода приращений в расчетах нагрузок СВП

В проектировании судов широко известен способ составления и решения уравнений нагрузки в дифференциальной форме (форма приращений). Этот метод предполагает наличие судно-прототипа, а характеристики которого заданием на проектирование предусматривается значением изменений. Изменения могут подвергаться скорость V , дальность хода R , требования кривизности (высота преодолеваемой волны $H_{\text{вкл}}$),

дискарированность, тип, количество ГД и компоновка ЭУ, может предусматриваться установка дополнительного или замена (модернизация) оборудования и т.п.

Изменение в связи с этим полной массы судно-прототипа можно определять с помощью дифференциальных методов (приращений), чем основным далее методом последовательных приближений. Эта же идея может использоваться и в расчетах нагрузок судна при его удлинении, уширении, увеличении высоты несущих конструкций, надстроек и т.п.

В этом случае новая масса судна (D_n) определяется выражением

$$(D_n)_1 = (D_n)_0 + \sum_k \left(\frac{\partial D_n}{\partial i_k} \Delta i_k \right). \quad (9,89)$$

Здесь $(D_n)_0$ - исходная полная масса судна-прототипа; i - изменяемый параметр (их возможный перечень приведен выше); k - число изменяемых параметров.

В выражении (9,89) $\sum_k \frac{\partial D_n}{\partial i_k} \Delta i_k$ есть приращение массы судна D_n .

258

Слагаемые, стоящие под знак суммы, могут иметь вид

$$\Delta D_n \approx \frac{\partial D_n}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial D_n}{\partial R} \Delta R + \frac{\partial D_n}{\partial p_{ог}} \Delta p_{ог} + \dots + \frac{\partial D_n}{\partial i_k} \Delta i_k \quad (9.70)$$

Каждое из слагаемых правой части выражения (9.70) можно рассматривать как градиент полной массы судна в связи с изменением той или иной характеристики, как скорость его хода на величину ΔV , величину хода — на ΔR ; с поведением какой-то дополнительной массы Δm , например, массы перевозимого груза $\Delta D_{гр}$ и с изменением типа или конструкции ЭУ $\Delta p_{ог}$, и т.п. Приращения ΔV , ΔR , $\Delta D_{гр}$, $\Delta p_{ог}$, ..., Δi_k определяются в задании, а коэффициенты роста полной массы

$$\frac{\partial D_n}{\partial i_k}$$

числяются при наличии функциональных связей компонентов нагрузки от $V, R, D_{гр}, \dots, i_k$.

Одна из возможных ситуаций использования этого метода сводится, например, к пересчету расчета нагрузки прототипа при изменении его элементов:

$$(D_n)_i = (D_n)_s \pm \frac{\partial D_n}{\partial i_k} (\bar{D}_i \Delta i). \quad (9.71)$$

Здесь $\bar{D}_i$ — удельный показатель массы, отнесенный к изменяющимся параметрам судна i (например, к длине корпуса $L_{кор}$, к площади волюновой подпудки S_n или к площади мостового понтонка $S_{пнт}$ к высоте носового понтонка $H_{пнт}$ и т.п.). Это может быть, к при-

меру, масса жесткого корпуса, отнесенная к длине $L_{кор}$:

$$(\bar{D}_{кр})_L = \frac{D_{кр}}{L_{кор}}. \quad (9.72)$$

или к площади ВП:

$$(\bar{D}_{кр})_S = \frac{D_{кр}}{S_n}. \quad (9.73)$$

В выражении (9.71) $\frac{\partial D_n}{\partial D_{гр}}$ оказывается коэффициентом Нормана. Действительно, рассматривая $(\bar{D}_i \Delta i)$ как приращение постоянной массы $\Delta D_{гр}$ в уравнении нагрузки, можно получить

$$\Delta D_{гр} = (D_n)_i - D_{пер} - D_{гр} - D_{то} - D_{всм} \quad (9.74)$$

Совокупность последних четырех слагаемых правой части выражения (9.74) есть полная масса судна прототипа $(D_n)_s$, включающая массу судна кораблем $D_{пер}$, массу перевозимого им груза $D_{гр}$, массу топлива и экипажа со снаряжением $D_{то}$ и массу $D_{всм}$. Сумма $(D_{гр} + D_{всм})$ может быть принята постоянной, следовательно

$$D_{гр} = (D_n)_i - D_{пер} - D_{то} - D_{всм}. \quad (9.75)$$

Дифференцируя (9.75) в частных производных, получим

$$\frac{\partial D_{гр}}{\partial (D_n)_i} = 1 - \frac{\partial (D_{пер} + D_{то})}{\partial (D_n)_i}, \quad (9.76)$$

т.е. видно, что это величина, обратная коэффициенту Нормана $\eta_{нор}$ [103]:

$$\eta_{\text{нор}} = \frac{\partial D_n}{\partial D_{\text{гр}}} = \frac{1}{1 - \frac{\partial(D_{\text{нор}} + D_{\text{тн}})}{\partial D_n}} \quad (9.77)$$

Тогда при пересчете можно пользоваться эквивалентными соотношениями:

$$(D_n)_1 = (D_n)_2 \pm \eta_{\text{нор}} [(\bar{D}_{\text{нор}})_L \Delta L_{\text{мк}}] \quad (9.78)$$

Для приближенной оценки значений коэффициента Нормана существующих АСВП будем исходить из следующего предположения:

$$\frac{\partial(D_{\text{нор}} + D_{\text{тн}})}{\partial D_n} = \frac{D_{\text{нор}}}{D_n} + \frac{D_{\text{тн}}}{D_n} = \bar{D}_{\text{нор}} + \bar{D}_{\text{тн}} \quad (9.79)$$

Реальные значения коэффициента $\eta_{\text{нор}}$ (табл. 9.4) довольно велики и в среднем составляют $\sim 3,0$.

Коэффициент Нормана есть мера увеличения полной массы СВП, вызванного эквивалентным увеличением отдельных составляющих при условии сохранения характеристик судна.

Использование этого коэффициента, однако, возможно только для ориентировочных оценок массы и характеристик СВП в начальных стадиях проектирования и при незначительных изменениях параметров и составных нагрузок судна-прототипа, поскольку в основе расчета коэффициента Нормана (9.77) лежит принцип использования правил линейного подобия. В выражении (9.77) не учитываются, например, запасные резервы прочности конструкций, учет которых сделал бы в ряде случаев этот коэффициент меньше по величине. Наше предположение о возможности замены частных производных от компонентов нагрузки по полной массе $\partial D_L / \partial D_n$ величиной вида $m \bar{D}_L$ (см. (9.78)),

Таблица 9.4

Коэффициент Нормана $\eta_{\text{нор}}$ у зарубежных СВП

Страна, выпускающее СВП	Англия SRN 3	Англия SRN 40 мк.1	Англия SRN 4 мк.1	Англия VT 2	Франция H 500
$\eta_{\text{нор}}$	3,05	2,84	3,21	3,05	3,12

где коэффициент m есть показатель степени в выражении для определения рассматриваемого компонента, например

$$D_i = \alpha_i D_n^m, \quad (9.80)$$

имеет силу в крайне ограниченных пределах относительной массы $(D_n)_i$ от массы $(D_n)_0$.

Для пересчета составленных нагрузки СВП на незначительных изменениях обрабатываемых их размеров, диаметров или объемов можно, пользуясь понятием, введенным (9.72) или (9.73), найти, например, по зависимости, аналогичной приведенной выше, новую массу металлического корпуса $(D_{кр})_{\text{нов}}$ при некотором увеличении или его длины $\Delta L_{\text{кр}}$, или высоты пояса $\Delta H_{\text{кр}}$ некоторым уширением сужа $\Delta B_{\text{кр}}$ и т.д.

$$[(D_{\text{кр}})_{\text{нов}}]^m = [(D_{\text{кр}})_{\text{ст}}]^m + q_{\text{кр}} [(D_{\text{кр}})_{\text{ст}}] \Delta H_{\text{кр}}, \quad (9.81)$$

Глава 10. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВП

В 10.1. Главные размеры СВП и их взаимосвязь с его характеристиками и требованиями исходных данных

Свойства изучаемых сужов определяются, в первую очередь, параметрами и характеристиками ВП.

После предварительного определения относительной массы сужа D_n по статистическим данным, или решая уравнений нагрузки, с учетом

$$p_n = \frac{q D_n}{S_n}$$

можно установить связь между характеристиками и размерными сужа;

$$D_n = p_{\text{вп}} \frac{\alpha_n^{1/3} \bar{G}_n}{(L_n/B_n)^{1/2}} L_n^3, \quad (10.1)$$

Вводя по аналогии с нормируемыми сужа понятие относительной длины ВП

$$L_n = \frac{L_n}{(D_n/p_{\text{вп}})^{1/3}}, \quad (10.2)$$

из (10.1) можно получить выражение

$$L_n = \frac{(L_n/B_n)^{1/2}}{\alpha_n^{1/3} \bar{G}_n^{1/3}}, \quad (10.3)$$

Значения L_n/B_n рекомендуется принимать

в интервале 2,0...2,5 [55], а коэффициент плотности площади ВП α_n близок к 1 и для большинства СВП может определяться с помощью выражения (1.5). Величина коэффициента $\bar{G}_n$

в наибольшей степени зависит от назначения СВП и колеблется от 0,01 до 0,03.

Пользуясь данными протокола или статистическими данными, можно определить L_n и соответственно B_n .

Если принять, например $L_n/B_n = 2,5$, то по формуле ВП в плане (рис.10.1) согласно (1.5) $\alpha_n = 0,86$, а для СВП с малыми значениями данных в ВП, введенный коэффициент $\bar{G}_n \approx 0,01$, получим $L_n = 7,74$. Аналогично

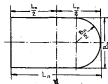


Рис.10.1. Наиболее распространенная форма ВП в плане

для СВП, предназначенных для перевозки тяжелых грузов и имеющих малые габариты и относительно высокие значения давления в ВП (как у американских КВП JEFFA, JEFFB, LCAC), получим $L_0 = 5,56$.

Предлагаемый путь определения L_0 , B_0 , основанный на использовании существующего опыта или данных прошедшего прототипа, применим только для их предварительной оценки.

Эксплуатация существующих СВП позволяет установить, что имеются тесная связь размеры СВП, характеристики его конструкции с одной стороны, и условия, в которых предполагается его применение, с другой. Именно по этой причине в ТЗ на проектируемое судно всегда дается предполагаемый район его эксплуатации.

Для военных артиллерийских СВП, находящихся в состоянии готовности к боевым действиям, указывается предельная высота преодолеваемых торосов, углы преодолеваемых уклонов и т.д. В соответствии с высотой препят-

ствиями и клиренсом под жесткими деками, который можно считать базовой величиной при установлении высоты ГО.

Для морских АСВП изучается район эксплуатации с точки зрения оценки маневренности корабля и влияния на предлагаемый путь следования суша [37], [82]. Это важно для построения кривых обеспеченности скорости ветра и высот преодолеваемых волн применительно к району эксплуатации. С помощью этих кривых можно учесть условия будущей эксплуатации при выборе принимаемого СВП, а также установить расписание его эксплуатации в различные время года и получить годовой резерв времени (продолжительности) его эксплуатации для оценки эффективности и прогнозирования ожидаемой прибыли. Степень снижения скорости хода различных СВП на волнении различной интенсивности по сравнению с их предельной скоростью хода на такой воде показана на рис.10.2 [78], а описывается выражениями (3.33) и (3.34).

Видно, что снижение скорости определяется величиной клиренса под жесткими корпусом и соотношением ширины суша и высоты преодолеваемой волны. В то же время с точки зрения обеспечения устойчивости СВП существуют тесная связь между допустимой высотой ГО и шириной суша B_0 . Именно поэтому высота преодолеваемой волны, характерная для предполагаемого района эксплуатации, сразу представляет в максимально допустимые размеры суша.

На рис.10.3 [112] приведены зависимости максимально допустимых значений поднимания B_0 от высоты H_{CG} в функции от параметров волнения и максимальной скорости хода СВП при наличии ограничений вертикальных перегрузок P_{Σ} .

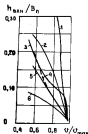


Рис. 10.2. Отношение предположенной высоты волны $h_{вн}$ к ширине АП в зависимости от отношения средней скорости v к скорости на такой высоте $u_{вн}$: 1 - SRN#6 ($h_{гс} = 1,2 \text{ м}$); 2 - SRN#5 ($1,2 \text{ м}$); 3 - SRN#2 Мк 2 ($1,2 \text{ м}$); 4 - SRN#2 ($0,6 \text{ м}$); 5 - SRN#2 ($1,2 \text{ м}$); 6 - SRN#Q3 м

испытываемых сунном на волнении, с ограничением $n_z = 0,5$ и $n_z = 0,1$. Для исследования СВЧ при длительных режимах эксплуатации допустимым считается уровень ускорений, не превышающий $n_z = 0,1$ при частотах 2 Гц, а то время как перегрузки с ограничением $n_z = 0,5$, как отмечено в [12], допустимы при продолжительности их воздействия не более 20 мин. Эта зависимость следует использовать в качестве ограничительных для оценки приемлемых размеров и массы СВЧ, получаемых согласно требованиям целостности, остойчивости, надежности.

Высота предположенной волны $h_{вн}$ и высота ГО, как отмечалось выше, обычно находится в соотношении

$$h_{гс} = (1,1 \dots 1,2) h_{вн} \quad (10.4)$$

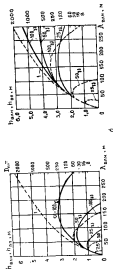


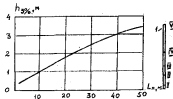
Рис. 10.3. Высота АП над водой поперек сунном, необходимая для обеспечения ограничения перегрузки: а - $n_z = 0,5$; б - $n_z = 0,1$; 1 - максимальная возможная высота волны $h_{вн}$; 2 - высота волны; 3 - высота волны; 4 - высота волны; 5 - высота волны; 6 - высота волны

Минимумы периода $h_{\text{вн}}$ уменьшают устойчивость ГО в уалах крепления его к жесткому корпусу судна.

Прокладывание под днищем СВП волны, высота которой точно равна высоте ГО, вызывает резкое увеличение сопротивления движению от волнения, рост усилий в уалах крепления ГО к корпусу и передачу этих усилий или динамических воздействий на корпусные конструкции.

Следует еще раз указать (см. рас. 10.3 и (7.16), (7.17)) на связь рекомендуемой высоты $h_{\text{ГО}}$ с шириной судна B_n и площадью ВП S_n , что диктуется преимущественно требованиями устойчивости.

Принимая значения удлинения СВП в интервале $L_n/B_n = 2,0 \dots 2,5$ и переходя при помощи выражений (7.17) и (10.4) от $h_{\text{вн}}$ к L_n , можно заметить, что соотношение между высотой преобладающей волны $h_{\text{вн}}$ и длиной L_n , приведенные на рас. 10.4 незначительно



Рас. 10.4. Зависимость инерсообразной длины L_n СВП от интенсивности и характеристик расчетного волнения; 1 — шкала интенсивности волнения (баллы)

отличаются от полученных по предложенной зависимости (10.3) в ограниченных, подобным приведенным на рас. 10.2 и 10.3.

Рас. 10.4 воспроизводит зависимость $L_n = f(h_{\text{вн}})$ в предположении, что волны, длиной $(1,0 \dots 2,0)L_n$, являются наиболее неблагоприятными, так как СВП в этих условиях составляет сильную вертикальную качку. При более длинных волнах СВП обгоняет профиль волны, а при более коротких — пробуксовывает на вол собою (при достаточной высоте ГО), не реагируя на них.

Существенное значение имеет соотношение длины и высоты волны. Это соотношение различно не только для разных морей, но может быть различным даже в пределах одного бассейна на разных направлениях по отношению к преобладающему пути судна. Для более суровых условий эксплуатации требуются суда больших размеров и массы, чтобы обеспечить необходимую надежность эксплуатации (см. рас. 10.3).

При меньших размерах СВП L_n и B_n 1 скорости его хода дополнительно в виде ограничений могут использоваться режимные условия качки, когда наблюдается совпадение собственного периода качки СВП и периода воздействия его с волной.

Собственные периоды бортовой и килевой качки $T_{\text{б}}$ и $T_{\text{к}}$ зависят от показателей устойчивости α , и частоты, от коэффициентов $\bar{K}_{\text{б}}$ и $\bar{K}_{\text{к}}$ (см. (7.7) и (7.8)) или от значений критических высот $\bar{m}_{\text{б}}^{\text{к}}$ и $\bar{m}_{\text{к}}^{\text{к}}$ (см. (7.5) и (7.6)). На рас. 10.5 для ряда длин судна L_n (или ширины B_n) дана зависимость собственных

перехода киловой (или бортовой) качки в форму от коэффициентов $\bar{K}_\Psi = \bar{K}_\Theta$ [112].

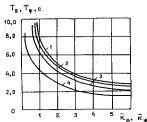


Рис.10.5. Зависимость периода бортовой и килевой качки T_Θ, T_Ψ от показателей устойчивости АСВП, оцененных по 1 типу для ряда значений L_n (или B_n): 1 - 15 м; 2 - 30 м; 3 - 45 м; 4 - 60 м

Приведенные графические зависимости $T_\Theta = f(\bar{K}_\Theta)$ и $T_\Psi = f(\bar{K}_\Psi)$ позволяют для заданного значения длины или ширины судна определить ожидаемые значения показателей устойчивости в качке и скорректировать их в случае необходимости.

Значения коэффициентов $\bar{K}_\Theta$ и $\bar{K}_\Psi$ принимаются согласно выражениям (7.13), (7.14). Приход встречного судна с волной T_n можно определять, используя выражения (3.36), из которых

$$T_n = 2\pi/\omega.$$

Резонансные условия могут возникнуть при бортовой, килевой и вертикальной качке, если T_n совпадает с T_Ψ, T_Θ, T_z . Этого можно избежать корректировкой размеров и форм судна и установившейся скорости хода судна для характерных для заданного района эксплуатации параметров преобладающей волны.

§ 10.2. Построение вычислительного алгоритма

Создание вышеназванного проектного материала дает основание говорить о том, что создание СВП весьма специфично по сравнению с созданием традиционных судов. И, хотя цель проектной работы также выражается в получении параметров и характеристик объекта, описывающих геометрию, обводы, конструкцию, вооруженность, компоновку, применяемые материалы, технологии, у СВП своеобразны и качественно, и математические модели, используемые в рамках как внутренней, так и внешней связи и представляющие его как сложную технологическую систему.

Задача методологии проектирования СВП заключается в разработке совокупности принципов, методов, математических моделей, установившихся алгоритмов получения образа судна, отвечающего требованиям ТЗ, нормативным документам, Правилам классификационных обществ, эксплуатационным и производственным ограничениям.

Создание и совершенствование любых технологий и транспорта происходит эволюционно и революционно. Уже само появление первых СВП было, безусловно, фактом революционным в развитии транспорта, потребовавшим огромного объема научных исследований, опытных, конструкторских и технологических исследований и

самостоятельных моделей, является, с нашей точки зрения, что постепенно углубляло знания и совершенствовало аналитические методы определения проектных параметров и характеристик. Основными СВП гибких образованных областей конформного отображения являются следующие важнейшие события, кардинально изменившие и свойства, и облик судов рассматриваемого типа.

Эволюционные пути создания СВП предполагают широкое использование статистических данных прототипов, когда достоверность имеющихся проектных характеристик разрабатываемого судна базируется на принципах экстраполяции или интерполяции. Наиболее естественными оказываются дифференциальные (вариационный) методы, предусматривающие наличие прототипа или базового проекта, в который могут вноситься изменения, в предположении линейности связей между переменными, отсутствия масштабного эффекта, моделируемости параметров, свойств и характеристик. По этому пути можно идти, совершенствуя существующие суда, модернизируя их, включая их масштабно за счет переоборудования, создания суда, близкие к существующим по свойствам, характеристикам, критериям эффективности, или это явилось бы при производственной модификации английских СВП BRN⁷⁵, BRN⁷⁶, BRN⁷⁹, BN.7, "Tiger", AP.1-88, французских N500 и японских MV-PP.5, MV-PP.15 [158].

Предлагавшиеся методики расчета массы, размеров нагрузки, характеристик ходкости, стоимости, подъемного и цинкительного комплексов, ГО и ЗУ служат основанием для разработки алгоритмов проектирования СВП, отвечающего требованиям, которые, включая и ТЗ, были обозначены здесь как исходные данные. Аналитические методы определения проектных характеристик, являющиеся основой систематизированной математической модели судна, базируются на принципах, изложенных в § 1.5, т.е. предпо-

смет формирования вектора искоемых переменных X , составление и решение уравнений связи между известными переменными X_1 и характеристиками СВП U_2 , рассмотренных в ТЗ с учетом ограничений.

Структура математической модели СВП зависит в значительной мере от типа задаваемых характеристик будущего судна, от количества и вида искоемых проектных параметров. Следует подчеркнуть, что выше уже устанавливалась и анализировалась их взаимосвязь. Важнейшими абсолютными параметрами (элементами) принимаются обычно:

- полная масса B_n ,
- длина области ВП L_n ,
- ширина области ВП B_n ,
- расход воздуха из ВП Q_n .

Перечень абсолютных параметров с учетом устойчивости формы ВП в плане и соотношения L_n / B_n , а также вытекающий из выражения (1.28) взаимосвязи вида $P_n = \frac{Q_n B_n P}{S_n}$ может включать в себя и такую совокупность:

- давление, срезаемое в области ВП P_n ,
- площадь ВП S_n ,
- расход воздуха из ВП Q_n .

10.2.1. Определение проектных параметров. Последовательность действий.

Последовательность и характер действий в назначении проектных параметров определяется, как и для традиционных судов, наличием прототипов и полнотой информации по ним. Создание судна, являющегося в ряд сходных между собой судов, для проектианта предполагает широкий доступ к проектной документации, позво-

можно получить необходимые практические коэффициенты, измеренные в расчетах парусных коэффициентов эффективности (зрелые, зрелые, динамического качества и т.д.).

ОПЕРАЦИЯ 1. Составление уравнения груза для получения предварительного значения полной массы судна D_n :

$$D_n = (p_{np} + p_{сг} + p_{гг} + p_{гг} + p_{гг} + p_{гг} + p_{гг}) \cdot \frac{r}{v_{расч}} + \\ + (p_{гг} + a_1 a_2 p_{гг} \frac{r}{v_{расч}}) N_{гг} + \\ + D_{гг} + D_{гг} \quad (10.5)$$

где измеренные разрывы массы можно принять, посылать данными § 8.2-8.7, а коэффициенты a_1 и a_2 - § 8.5. Для определения запасов топлива расчетную скорость хода $v_{расч}$ следует принимать согласно выражению (8.41).

Входящая в уравнение (10.5) мощность $N_{гг}$ (кВт) может быть представлена в виде:

$$N_{гг} = \frac{5,042 D_n v}{\kappa_N} \quad (10.6)$$

где D_n - полная масса, т; v - заданная в ТЗ предельная скорость, уз; κ_N - безразмерный коэффициент мощности (см. табл.1 и 2 приложения), который принимается по прототипу или по статистическим данным близким к проектируемому судну;

$$\kappa_N = \frac{G v}{N_{гг}} \quad (10.7)$$

Решение полученного алгебраического уравнения нагрузок одним из известных способов позволит найти в первом приближении полную массу судна D_n , составить таблицу нагрузок и

сверить ее с имеющейся по судну-прототипу, или ориентировочное значение полной мощности газных двигателей ЭУ согласно выражению (10.7). Определить D_n при отсутствии такого прототипа можно с помощью выражения для коэффициента утилизации полной массы для $\eta_{гг}$ по полной грузоподъемности:

$$\eta_{гг} = \frac{D_{гг} + D_{гг}}{D_n} \quad (10.8)$$

$$D_{гг} = a_1 a_2 p_{гг} \frac{N_{гг}}{D_n} \frac{r}{v_{расч}} \quad (10.9)$$

В выражении (10.9) значение компонентов $D_{гг}$ производится по рекомендациям, приведенным для анализа уравнения (10.5).

Удельная мощность $N_{гг}/D_n$ может быть взята, например, по данным рис.8.1 или по рекомендациям § 8.1, либо по статистическим показателям, полученным с близких судов-аналогов. Коэффициент утилизации по полной грузоподъемности $\eta_{гг}$ (см. табл.1 и 2 приложения), как правило, находится в интервале 0,38...0,48. Используя выражения (10.8) и (10.9), можно определить полную массу судна:

$$D_n = \frac{D_{гг}}{\eta_{гг} - a_1 a_2 p_{гг} \frac{N_{гг}}{D_n} \frac{r}{v_{расч}}} \quad (10.10)$$

Если здесь для определения величины $N_{гг}$ воспользоваться выражениями (10.6) и (10.7), а расчетную скорость $v_{расч}$ найти по (8.41), то зависимость (10.10) примет вид

$$D_n = \frac{D_{гр}}{\eta_{гр} - 5,842\alpha_0\alpha_2 P_{гв}} \frac{r}{\kappa_n \left(1 - \frac{4+1}{Q}\right)}, (10,11)$$

где Q — предельная скорость хода судна на та-
кой воде, уг. В выражениях (10,10) и (10,11)
указанный расход топлива $P_{гв}$ назначается или по
данным табл.8.1 и 8.2, или по рис.8.1 или по
зависимостям (8,37), (8,38).

ОПЕРАЦИЯ 2. Наименшие главные размеры
ши. Используя статистические данные по сум-
марным судам, подобным проектируемой
(см. табл.1 и 2 приложения), принимают $L_n =$
 $= L_n / (D_n / \rho_{вг})^{1/2}$. Это позволяет вычесть
абсолютное значение длины судна L_n , которое
сравнивается с данными рис.10,4, со-
ответствующим значению допустимой
(L_n)_{min}, т.е. $L_n \geq (L_n)_{min}$.

Необходимое для определения (L_n)_{min} за-
чение $h_{зв}$ можно найти, пользуясь справоч-
ны данными [37], если известен район мо-
нотации, и учитывая возможные ограничения.
Требования мореходности и устойчивости
определяются и при назначении вер-
ны B_n , связанной, как видно из (7,17),

величиной $h_{гв}$, которая согласно (7,16) и
рис.7,16 в 10,3 непосредственно зависит
высоты предельной судна волны $h_{вв}$.
Таким образом, последовательно устанавли-
ваются $h_{гв}$, $h_{вв}$ и B_n .

Получившиеся в итоге отношения L_n/B_n
как подтверждает данные рис.3,21, должны

лежать в интервале 2,3...2,5. Это условие мо-
жет потребовать корректировки значения B_n .

Если L_n/B_n установлено в указанном
диапазоне, то для формы ВП в плане, зна-
чительной приведенной же рис.10,1, согласно вы-
ражению (1,5) коэффициент поправки площади ВП
составляется в интервале 0,853...0,857.
Найденные значения α_n , L_n и B_n опре-
деляют величину S_n (согласно выражению (1,4)).

ОПЕРАЦИЯ 3. Наименшие главные размеры
ши. Используя статистические данные по сум-
марным судам, подобным проектируемой
(см. табл.1 и 2 приложения), принимают $L_n =$
 $= L_n / (D_n / \rho_{вг})^{1/2}$. Это позволяет вычесть
абсолютное значение длины судна L_n , которое
сравнивается с данными рис.10,4, со-
ответствующим значению допустимой
(L_n)_{min}, т.е. $L_n \geq (L_n)_{min}$.

Расход воздуха Q_n через ВП на началь-
ных стадиях проектирования можно найти, поль-
зуясь выражением (4,16), учитывая в то же
же ограничения, данные условия (1,16)
(1,18) или (1,17) и (1,19) соответственно.

ОПЕРАЦИЯ 3. Оценка соответствия получе-
ны параметров и характеристик исходным тре-
бования. Комплексная и массовая судна. Кор-
пусная нагрузка, размеров и характеристик
СВП.

Оценка судна и его свойств при столь
значительной, как у СВП, универсальности
зависит от типа, комплектации, компоновки ЭУ,
части N_x ГД, обеспечивающих функциониро-
вание и подвижность и подвижного комплексов. Со-
ответная мощность ЭУ N_n (кВт):

$$N_n = \frac{\kappa_n \kappa_1 \kappa_2 Q D_n \psi}{\eta_{гр} \kappa_{гв} \eta_{вв}} \left(1 + \frac{\kappa_3 \kappa_4 \kappa_{гв}}{Q \eta_{вв}} \eta_{вв} \sqrt{h_{гв}}\right), (10,12)$$

где компоненты выражения для N_{Σ} могут быть получены, соответственно $\eta_{\text{вк}}, K_0, K_1, K_2, K_3$ из § 4.3; $K_{\Gamma K}, K_4$ из § 9.4; $\eta_{\text{дв}}$ из § 5.6. Найденное значение N_{Σ} предполагает использование суммарной ЭУ. Разветвленная подача крутящего момента на ПК и ДДК от независимых силовых агрегатов редизается, если для определения $N_{\text{дв}}$ и $N_{\text{ПК}}$ воспользоваться соответственно выражениями (8.21), (4.47), (4.57). Получив величину потребляемой мощности, можно рассмотреть выбрать тип и комплектность силовых агрегатов, пользуясь данными табл. 8.1, 8.2 или аналогичными им. Подъемный комплекс судна, как правило, включает в себя ограниченное число пилотетелей, как на СВП N500, BN.7, SRN*4, SRN*6, VCA-36 [158], но распространено применение большого числа пилотетелей с малым диаметром ПК (как правило ИИ), как бы наводимых на одну ось вращения по какому-то бортов, подобно схеме, принятой на американских КВН LCAC, JEFFA, JEFFB и английском VT.2 [156]. Такой вариант компоновки приемлем, если на судне допускается выделение длинной колонны воды бортов. Среднюю часть судна представляют при этом для принятия грузов или для размещения специальных элементов.

Принят вариант компоновки ПК, можно определить геометрические размеры маневритора, используя выражение (4.33) для $D_{\text{ПК}}$.

Входящее в него значение $Q_{\text{ПК}} = K_3 Q_0$ является из число пилотетелей, устанавливаемых на судне (1, 2, 4, 6, 8, ... штук).

Полная дальность, разная для пилотетелей, предварительно определяется с помощью данных табл. 4.1 и рекомендаций § 4.3,

Размер ВВ (м) с учетом указаний § 8.2 можно вычислить с помощью выражения (5.12) по формуле

$$d_{\text{вв}} = \frac{31,62 \cdot R_{\Sigma}^{3/2}}{\rho_{\text{бл}}^{1/2} N_{\text{вв}} \left(1 - \frac{Q_0}{202}\right)^{3/2}}. \quad (10.13)$$

Здесь $N_{\text{вв}}$ (кВт) определяется из $N_{\text{дв}}$ после учета потерь в трансмиссии, т.е. $N_{\text{вв}} = N_{\text{дв}} \eta_{\text{тр}}$; R_{Σ} (кН) приближенно определяется по значению коэффициента гидродинамического качества $K_{\Gamma K}$ (см. § 9.4).

При использовании ВВН влияние насадки и диаметр как самого нитя, так и насадки вычисляется при помощи выражений (5.19), (5.21) с учетом замечаний к формуле (10.13) и рекомендаций § 5.4.

При использовании воздушно-реактивного двигателя его параметры определяются выражением (5.28). Знаясь (5.28) позволяет найти требуемое количество воздуха $Q_{\text{дв}}$, а скорость истечения воздуха $U_{\text{исч}}$ из сопла двигателя и площадь истечения $S_{\text{исч}}$ можно найти, используя зависимости (5.29) и (5.30) и данные § 5.8.

На этом этапе должны быть осуществлены предварительные компоновки общего расположения, чтобы подтвердить правильность выбранных выше значений L_d, B_d, S_d и возможность реализации требований к судну. Должен быть осуществлен контроль достаточности запаса маневренности.

Подобное число АСВП создано одинаковыми, и для таких объектов осуществляется

проверка единственности, т.е. возможность решения на суше;

- перископных трубок, перископов, фотоаппаратов, спецоборудования;

- техника;

- масса необходимого топлива и ЗУ, как для двигателя и подъемной системы, так и для аппаратуры из системы и устройства;

- обоснований и вспомогательных пояснений.

Компьютерные решения целесообразно применять подобным образом существующим суше [63], [158], используя в качестве базовых нормы, рекомендуемые для пассажирских пассажирско-пассажирских салонов и помещений, в том числе жилых, ходовых рубок [67, с.214-216], [78, с.47-53]. Можно использовать также рекомендации [67], [76] по размерам обжитых и вспомогательных помещений, а также объему и протективности машинных отсеков, которые необходимо учитывать для размещения аппаратуры и обеспечения их функционирования компонентов трансмиссии.

Запасы топлива на СВП принимаются из расчета, установленные в объеме водоналивного контура. Цистерны для легких сортов топлива чаще всего являются выдвинутыми. Остаточное пространство водоналивного контура, как правило, не используется. Соответствие размеров контура $L_{\text{конт}} \cdot B_{\text{конт}} \cdot T_{\text{конт}}$, $H_{\text{конт}}$ и его формы выбирается исходя из рекомендаций § 1.7, 7.1 и в соответствии рис.1.6, 1.7, 7.1, 7.18.

Следующий шаг требует уточнения нагрузки на сушу. Для определения массы корпуса $D_{\text{к}}$ можно воспользоваться более точными выражениями (8.14), (8.3)...(8.5), все данные по которым в них заданы и коэффициентами α и β в § 9.3,

Ввиду малости в общей нагрузке суше для масс судовых устройств, систем, электрооборудования, мидовых грузов, постоянного снабжения их можно идти по формулам, приведенным в (10.5). Масса ГО может быть найдена по формуле (9.50) или (9.49) с использованием соответствующего коэффициента по данным близкого прототипа. Полученные выше значения мощности $N_{\text{д}}$ (см. (10.12)) позволяют, используя выражения (9.20) и (9.38), найти более точные значения $D_{\text{д}}$ и $D_{\text{т}}$. Суммирование всех расчетов дает возможность уточнить найденные в первой операции значение $D_{\text{д}}$, для чего целесообразно воспользоваться понятием коэффициента Нормана, который определяется с помощью выражения (9.77), а затем получения уточненного значения $D_{\text{д}}$ достаточно легко описан в [103], [7].

Разность Δ между полученным $D_{\text{д}}$ и $\sum_{i=1}^n D_i$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n D_i - D_{\text{д}}, \quad (10.14)$$

представляет собой массу суше $\Delta D_{\text{д}}$

$$\Delta D_{\text{д}} = \eta_{\text{норм}} \Delta, \quad (10.15)$$

Уточненная полная нагрузка

$$D_{\text{д}}^{\text{норм}} = D_{\text{д}} + \Delta D_{\text{д}}. \quad (10.16)$$

Модуль уточнения параметров и характеристики суше находят в виде

$$\lambda_{\text{норм}} = (D_{\text{д}}^{\text{норм}} / D_{\text{д}})^{1/3}$$

и по его значению корректируют главные размеры $L_{\text{д}}$, $B_{\text{д}}$, площадь ВП $S_{\text{д}}$ и т.д.

ОПЕРАЦИЯ 4. Анализ и синтез водонитовой суше. Необходимо подробней и обстоятельней рассмотреть

чет поперечного и диаметрального комплексов. Берется так и схема ГО с обоснованным элементом перепада давлений Δp и с учетом

конструктивных способов обеспечения остаточности и требований унифицированности. Проводится компоновочная схема размещения поперечного комплекса: водозаборные отверстия, магнетитов, системы раздаточных раскатов, соответствующих со схемой водозаборного комплекса и ГО области ВП. Разрабатывается теоретический чертеж водозаборного комплекса, схематическая геометрия линии крепления ГО на жестком корпусе или на выносных конструкциях с соответствующим выпуском теоретического чертежа ГО. Производится подробный расчет характеристик сети, основанный на данных главы 2 и § 4.1, после чего на предложенных промышленностью образцах магнетитов, указанных в § 4.2 и содержащихся в [19], [21], [22], [23], [24], [91], [92], [117], окончательно выбирается применяемый тип и на основе его аэродинамической схемы выполняется в случае необходимости корректировка компоновки и расчетов ПК с оценкой массы магнетитов. По рекомендации главы 3 производится расчет критичного сопротивления движению для условий течения воды и на предложенном варианте, а для остальной ТЗ скорости хода согласно методике, изложенной в главе 5, выбираются тип и основные характеристики двигателя, соответствующие полученной расчетной величине сопротивления движению R_{Σ} . Окончательный расчет двигателя P_{Σ}

полученная кривая зависимости развиваемого удара T от скорости хода судна производится по методикам, изложенным в главе 5, а также в [12], [78], [118]. Масса двигателя определяется по рекомендациям § 5.9. Потребляемая магнетитовым и двигателем мощность (с учетом

убора на корабельные нужды, а также требования к эксплуатации ВД или ГТД на СВП, изложено в § 4.3, 5.5, 5.6 и в главе 8) служит основой для окончательного выбора ГД (одного или нескольких) как источника крутящего момента. Проводятся необходимые трансформации, включающая раздаточные и промежуточные редукторы, муфты, валопроводы [102]. Желательно компоновать трансмиссию из серийно выпускаемых промышленностью узлов, агрегатов, с тем, чтобы уменьшить стоимость разработки [156]. Завершение этой части работы и информация о характеристиках и свойствах, связанных с ЭУ, и для основного, и на промежуточных режимах эксплуатации основного судна. Прокладки в итоге располагаются уточненными значениями масс D_{30} и D_{40} .

По методикам, изложенным в § 6.4-6.6, и по теоретическому чертежу ГО производятся расчеты формы и прочности ГО, на основе которых выбирается применяемый материал и выпускаются конструктивные чертежи ГО. Расчеты прочности корпуса (см. § 1.7, а также [31], [83], [84]) дают возможность выбрать конструктивный материал, толщину металла корпуса, размеры скелета и тем самым уточнить массу металлического корпуса D_{10} .

Обоснование, расчеты и выбор применяемого оборудования, судовых устройств, судовых электроборудований производится по морского или Речного Регистра РСФСР для соответствующего класса или с учетом иной методики. Уточнение всех радиаторов с фиксацией координат их массы является основой для уточнения расчетов совокупной нагрузки D_{Σ} и координат центра тяжести.

Проводится сравнение полученного значения D_n с найденным по выражению (10,16).

Может потребоваться также использование корректирующих методов, если величина превосходит значение запаса водонепитания. Оценивается положение судна на действии сил тяжести, подвешивания и дифференциальных моментов (см. (1,30) и (1,31)). Несоответствие показателей утиффрирован, тем, которые рекомендуются опытом эксплуатации (см. выражение (1,32), может потребовать или перераспределения нагрузки (например, запаса топлива), и, если необходимо, корректировки положения центра подвешивания по длине судна за счет смещения линий крепления ГО в носу или в корме. Колеса шестерки судна в значительной степени зависят от от начальной величины $\frac{1}{2}$ (см. рис.3,17) - возмущения линии приложения действующего утяжелителя.

Данные по проектной нагрузке и координатам центра тяжести служат основой для проверки устойчивости в различных режимах эксплуатации согласно методике, изложенной в главе 7. Полученные параметры и характеристики используются для выполнения промежуточных расчетов по методикам, базирующимся на знании взаимосвязи конструктивных элементов и в первую очередь таких, как теория корабля и строительная механика корабля, а также выполнения корпусных чертежей и чертежей общего расположения и т.д.

Очевидно, что изложенный вычислительный алгоритм, даже имея ряд вариаций в характере выполняемых процессов, нельзя считать совершенным и бесспорным. Изменить его может постановка задачи, так и выполняемая база данных, которая может расширяться, совершенствоваться, углубляться по мере накопления информации об имеющихся судах, проводимых

испытаний в опытовых бассейнах серии моделей судна с систематически изменяющимися элементами, изучения и усовершенствования ГО, применение новых материалов, разработки специальных серий двигателей для СВП.

§ 10.3. Критерии оценки проектов.

Принципы автоматизации процесса проектирования

Рассмотрен алгоритм определения конкретного вектора возможных вариантов X . Он удовлетворяет требованиям исходных данных, взаимосвязей которых с переменными X_i представляет собой одну из возможных математических моделей СВП, отвечающих заданию таких стадий проектного процесса, как технико-экономическое предложение и окончательный проект. Степень адекватности математической модели объекту проектирования может быть оценена за счет использования вычислительной техники.

В рассмотренной постановке задачи нельзя утверждать, что выходные данные представленной математической модели, описываемые рядом критериевальных показателей типа, например, $\bar{Q}_B, \bar{Q}_L, \bar{Q}_{nB}, \bar{Q}_{nB}, K_{гк}, K_{нв}, \bar{R}_2$, отвечают оптимальному сочетанию X_{opt} . В основе предлагаемой модели лежит опыт, накопленный при создании ранее построенных судов. Он выражается в виде приближенных оценок базисных геометрических параметров, характеризующих форму судна (к примеру L_n/B_n). Энергетические соотношения (таблица K_p), измеренной массе разделов нагрузки, назначенный на основе статистики в данных специальных, в том

числе и судостроительных наук (гидродинамика, внутренней аэродинамика, строительной механика и т.п.). Эти данные, отвечающие оптимальности существующей сложной системы, не являются гарантией оптимальности создаваемой системы, которой является проектируемое судно. Для получения наиболее эффективной (оптимальной) системы необходимо найти сочетание характеризующих ее возмущаемых независимых параметров, соответствующих экстремальному значению (максимальному или минимальному) целевой функции, т.е. критерию оценки решений.

В качестве целевой функции на разных стадиях проектирования может применяться один из упомянутых тактико-эксплуатационных критериевых показателей, отвечающих требованиям к целевой функции, который носит наиболее общий характер и отражает связь со всеми интересующими разработчика и эксплуатационника параметрами и характеристиками судна.

Так, выше говорилось о том, что универсальной характеристикой СВЛ, определяющей и скоростью, и транспортные, и энергетические, и стоимостные показатели судна является его полная масса D_n .

Поэтому, сравнивая возможные варианты судна при постоянных значениях дальности хода t , эксплуатационной скорости $\bar{v}$, величине полезной нагрузки D_{np} и ее погрузочных усилий, стоимостные критерии с приемлемой степенью приближения можно свести к сопоставлению вариантов судна по значению его полной массы. Наилучший вариант судна обладает минимальной полной массой: $D_n \rightarrow \min$.

Столь же универсальными оказываются упомянутые выше критериевые показатели, связанные со значимыми для нас потребностями

мощности N_{Σ} , провозоспособности судна D_{np} ²⁸⁷ или с его транспортными моментами $D_n \bar{v}$:

$$K_N = \frac{g D_n \bar{v}}{N_{\Sigma}} ; \quad (10.17)$$

$$K_N = \frac{g D_{np} \bar{v}}{N_{\Sigma}} . \quad (10.18)$$

Оптимальное сочетание возмущаемых параметров соответствует максимальному значению критерия K_N или K_N .

Характеризуя физические понятия этих показателей, используемых в качестве целевой функции, следует отметить, что суммарное значение мощности N_{Σ} при некотором сочетании определяющих ее параметров и характеристик действительно будет иметь минимальное значение. Это связано с тем, что доля мощности, потребляемая полезным комплексом N_{Σ} , с ростом скорости движения снижается из-за использования возрастающего динамического напора встречного потока воздуха, а часть мощности, обеспечиваемая функционированием движительного комплекса N_{Δ} , увеличивается, так как увеличение скорости сопровождается возрастанием сопротивления движению. Так, для французского СВЛ N500 на скорости 36 уз $N_{\Delta} \approx N_{\Sigma}$ и на скорости хода около 70 уз $N_{\Delta} \approx \frac{1}{2} N_{\Sigma}$.

Это говорит о том, что существует значение $\bar{v}$, соответствующее $(N_{\Sigma})_{\min}$ (при фиксированных значениях $\eta_{\text{мк}}, \eta_{\Delta}, t_3/L_n$ и др.). [153], например, показывают, что дифференциальное выражение $(1/K_N)$ по переменной $\bar{v} = v/v_3$

(где $\bar{Q}_1 = \sqrt{2P_n/\rho_{\text{жн}}}$) и приравняв нулю по-
лученную производную, можно получить значе-
ние $\bar{Q}$, соответствующее экстремальному зна-
чению критерия $(1/\kappa_n)_{\text{опт}}$. Здесь величину
относительного значения $\bar{Q}$ при ряде допущений,
принятых в [153], можно определить так:

$$\bar{Q} = \sqrt[3]{\frac{\eta_{\text{жн}}}{\eta_{\text{жк}}} \frac{\alpha}{2}} = \frac{\alpha}{3}, \quad (10.19)$$

где $\alpha = \frac{(n/s_n)\mu_{\text{жн}}t_{\text{ж}}}{(s_{\text{ж}}/s_n)c_{\text{ж}} + 2\beta_{\text{ж}}}$; (10.20)

$$\beta_{\text{ж}} = 3.3 \left(\frac{0.75h_{\text{жк}} - 2t_{\text{ж}}}{L_{\text{ж}}} \right)^{1.5}. \quad (10.21)$$

Кроме приведенных выше технико-эксплу-
атационных критериальных показателей, рекомендо-
ванных здесь в качестве целевой функции, мо-
гут быть названы и другие, удовлетворяющие
следующим требованиям:

- иметь количественный характер и алге-
брить его расчет;
- учитывать назначение объекта, условия и
ограничения его эксплуатации;
- быть функцией варьируемых параметров,
оптимальное сочетание которых отыскивается.

В случае использования на разных уровнях
проектирования разных критериев оптималь-
ные не должны быть противоречивыми
друг другу.

Судно, как отмечает Л.М.Носов [103], оце-
няется для того, чтобы приносить доход,
предпочтительную экономическую эффективность

разных сравнимых объектов принято опре-
делять по условным приведенным затратам, учи-
тываемым сопоставление текущих затрат и ка-
питальных вложений [7]. Затраты относят к
общей пригодноспособности судна $\bar{Q}_r$, учитывая-
ая [7] коэффициенты использования пассажи-
роемкости (грузопоемкости) и скорости
хода. Текущие (эксплуатационные) затраты, опре-
деляющие себестоимость перевозок, содержат сле-
дующие составляющие, отнесенные к часу служ-
бы судна $A_{\text{ж}} = \sum_1^7 A_i$:

- расходы на эксплуатацию судна в целом
и его двигателей (A_1, A_2);
- расходы на текущий ремонт и техниче-
ское обслуживание судна, включая его ГО, ос-
татки воздухопроницаемости, газопровода, обшивку
ЭП и двигателей (A_3, A_4);
- стоимость расходуемого топлива (A_5);
- заработную плату экипажа (A_6);
- затраты на содержание пунктов, баз и
базисное обслуживание (A_7);

Капиталовложения $K_{\text{ж}}$ с учетом норматив-
ного коэффициента $E_{\text{норм}} = 0.12$ складываются
из стоимости судна, движимого имущества ГО,
двигателей или установленных на судне, так и
заказанных для судна с учетом предстоящей
стоимости двигателей, строительных ресурсов.

Тогда приведенные затраты оцениваются в
виде

$$B_{\text{ж}} = \frac{A_{\text{ж}}}{\bar{Q}_r} + \frac{E_{\text{норм}} K_{\text{ж}}}{\bar{Q}_r}. \quad (10.22)$$

Остановимся на особенностях оптимизации
ключевых параметров СМП.

Учитывая специфику рассматриваемого оптимизируемого объекта, ограниченность информации комплексуемого оборудования, существующую зависимость свойств и технико-эксплуатационных характеристик создаваемого судна от типа применяемых ГД, ГО, двигателей, магнитотетелей, компоновки ЭУ и общего расположения помещений, процесс оптимизации варьируемых переменных заключается с определением типовых схем судна в целом и его подсистем, ибо они имеют доминирующее значение в формировании дальнейших действий. В частности, компоновочная схема определяет размещение судна, установленные в него необходимые размеры пассажиров, автомобилей, автобусов и другой полезной техники или груза и специоборудования.

Итерационный процесс выявления основных технических характеристик в ходе поиска из оптимальных значений предполагает нахождение искомого варианта, т.е. поисковой точки, для чего используются приближенные зависимости эмпирического характера, площади и веса деталей. В него включаются как необходимые информационные обеспечения данные по прототипам, каталоги конструктивных материалов, данные о двигателях, комплектуемого оборудования, стандартные программы для расчета двигателей, магнитотетелей, формы и прочности ГО, ходкости, описание типовых компоновочных схем, а также формулы, таблицы стандартов, формулы и т.д.

Процесс поиска оптимальных значений проектных параметров судна и оборудования или технических характеристик ведется на основе функциональных зависимостей (математических моделей), принципиально отличающихся от тех зависимостей, которые используются в приближенных расчетах и, в частности, для нахождения искомого варианта, т.е. поисковой точки, после опре-

деления которой они должны быть исключены из итерационного процесса.

Касаясь общей концепции разработки оптимизационного процесса, следует иметь в виду, что параметры ряда компонентов подсистемы судна с определенного этапа должны переводиться в категорию постоянных параметров или характеристик, что может относиться к ГД, компоновкам транзитора, двигателя, магнитотетеля. В выбранной степени это касается ГД, ибо данные табл.8.1 и 8.2 показывают, что мировой парк двигателей достаточно скуден и дискретное значение мощности не дает возможности вести оптимизацию разрабатываемой системы неограниченно. Выбрать двигатель можно уже на первых этапах оптимизационного процесса с помощью приближенных расчетов его необходимых характеристик. Это, конечно, не исключает многократного обращения к каталогу и последующей сравнительной оптимизации всех параметров судна, соответствующих заданному варианту. В отечественной и зарубежной практике проектирования СДПП конкретный двигатель задается уже в ТЗ.

Описанные алгоритмы, касающиеся получения оптимального варианта судна, могут быть реализованы как вручную, с помощью метода чертаний [7], [103], так и при разработке СДПР, требующей включения в этот процесс сложной вычислительной техники и баз данных и необходимости аппарата таких специальных наук, как математическое программирование, использование операций, теория принятия решений, эвристика.

Типичная структура программной модели показана на рис.10.6, где последовательность действий, выполняемых на этапах "начало", "середина", и "конец", можно представить в "краткости, предложенной Д.Левассом.

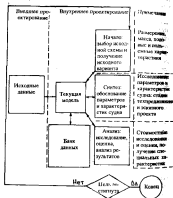


Рис. 10.6. Схема алгоритма процесса проектирования СВП с использованием ЗВМ

1. Установка исходных условий (см. рис. 10.7).
2. Определение начальных значений L_0 , B_0 , D_0 .

3. Определение сопротивлений движению и необходимого упора для предполагаемых эксплуатационных условий (для прямой скорости на ровной воде и на отогоревом волнении; для движения на "горбоной" скорости; для случая преодоления отогореванного уклона при движении над сушей).

4. Вычисление нужного количества волюта, возникающего в области ВП.

5. Определение размера и характеристик движителя и мощности, потребляемой пропульсивным комплексом.

6. Определение размера и характеристик насосотата и мощности, потребляемой подъемным комплексом.

7. Определение характеристик ГП и трансмиссии.

8. Вычисление разделов нагрузки.

9. Вычисление составляющих потребных площадей и объемов.

10. Уточнение величины полной массы судна D_0 и повторение действий, начиная с 3-й операции до получения ее сбалансированного значения.

11. Вывод результатов.

12. Повторение цикла операций 2...11 для новых значений L_0 , B_0 .

13. Определение оптимальных значений L_0 и B_0 для принятого критерия оптимизации (минимум стоимости или полной массы, или максимум полезной нагрузки и т.д.).

14. Вывод окончательных результатов для рассматриваемого варианта.

15. Повторение действий по операциям 1...14 для другого варианта исходных данных (например, иной компоновочной схемы).

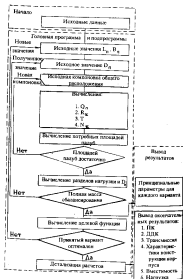


Рис. 10.7. Блок-схема процесса оптимизации системы переменных СВР

Представленный алгоритм оптимизации (рис. 10.7) рассматривается как один из возможных.

Главная программа и подпрограммы, в которых она должна обрабатываться, в основе своей должны иметь представленные здесь ранее алгоритмы расчета нагрузки, устойчивости, устойчивости, эластичности, подъемного и пропульсивного комплексов, ГО, корпус и их алгоритм в случае необходимости может быть дополнен соответствующими разработками, выполненными и упомянутых в списке использованной литературы справочниках, монографиях, статьях. Стенки несплошности частных вопросов в алгоритмах различны. Это может быть компенсировано за счет включения диалогового режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие АСВР остается процессом динамичным, наукоемким, сопряженным с решением множества неординарных технических задач.

Предоставляется тонус новым идеям, расширяется комплексная сфера, формообразование его корпуса, разработки перспективных типов и конструкций ГО ВП, совершенствования пропульсивного и подъемного комплексов. Хотя АСВР пока еще уступает традиционным судам в альтернативным видам транспорта и экологичности, а также в надежности и долговечности основных компонентов, их уникальные свойства и характеристики все в большей мере привлекают внимание специалистов и потенциальных заказчиков, что обещает повышение конкурентоспособности судов этого типа.

Монография соответствует программе образовательного курса для студентов судостроительных специальностей вузов. В доступной форме изложены проектные алгоритмы и для судна в целом, и для его основных элементов.

Большинство представленных алгоритмов не-
м, но аккумулирует в себе как личный опы-
та, так и лучшие достижения зарубежных и
особенно отечественных специалистов. Среди по-
сланных - известные ныне ученые и инженеры-
конструкторы, создавшие уникальные серийные ам-
фибийные КВП "Скат" ($D_0 = 27 \text{ т}$), "Кальмар"
(115 т), "Омар" (54 т), "Дельфин" (360 т),
"Мурена" (150 т), "Зубр" (550 т) - наиболее
крупные и совершенные из построенных в мире
стаи и кораблей рассматриваемого типа.

Амфибийные СВП и КВП несли и стро-
строение традиций автомобиле- и конструктора,
а также комплексные требования, dictumum на-
совыми технологиями. Новый подход касается и
организации постройки и условий обслуживания:
более высоким становится уровень квалификации
эксплуатации в обеспечении эксплуатации. Все это
в целом отражается на общем составе подраз-
деления.

ЛИТЕРАТУРА

1. АЛЕКСАНДРОВ В.Г., МАЙОРОВ А.В., ПА-
ЩЕТИК А.М. Автомобильный технический справоч-
ник. М.: Машиностроение, 1969.
2. АЛЕКСАНДРОВ В.Л. Воздушные катера.
М.: Оборонгиз, 1961.
3. АЛФЕРЬЕВ М.Я. Ходкость и управляе-
мость судов. Сопротивление воды движению су-
дов. М.: Транспорт, 1967.
4. АМОНСОНОВ Л.Б. Экспериментальное ис-
следование устойчивости модели СВП/Мореход-
ные качества судов: Тр./ ЦНБМФ. 1977.
Вып.221. С.22-29.
5. АРТЕМОВ Г.А., ВОЛОШИН В.Л. Анализ
размещения ГТУ на судне и определение дли-
ны машинного отделения: Сб. науч. тр. НКН.
Николаев, 1978. № 132. С.10-15.
6. АРТЕМЬЕВ А.А., СМЕРКОВ С.А. Антиг-
ский пассажирский катер на воздушной подушке
проекта АР.1-88/ Судостроение за рубежом.
1987. № 11 (251). С.5-17.
7. АШК В.В. Проектирование судов. Л.: Су-
достроение, 1988.
8. БАК С. Проектирование и расчет воз-
мателюров. М.: Госстройиздат, 1961.
9. БАТУРИН Т.А. Внешние формы корпуса
и размеры коза палубы на его КПД/ Тр./ ЦАГИ.
1939. Вып.392.
10. БЕЗРУКОВ Е.А., КУШЕЛЕВ В.В., МУД-
РОВ С.А., СУХАНОВ Г.П. Создание элементов
ГО СВП (на двустороннем опыте)// Технологии
судостроения, 1978. № 8. С.65-67.
11. БЕЛЮЗЕРОВ Н.В. Технологии ремонта.
М.: Химия, 1983.
12. БЕНУА Ю.Ю., ДЬЯЧЕНКО В.К., КОЛЫ-
ЗАЕВ В.А. и др. Основы теории судов на воз-
душной подушке. Л.: Судостроение, 1971.

13. БЕНУА Ю.Ю., КОРСАКОВ В.М. Суды на воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1982.

14. БЕНЬ Е. Мадина и любительские суда на воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1983.

15. БЕРЛИН А.А., БАСИН В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969.

16. БЛАТОВЕШЕНСКИЙ С.Н., ХОЛОДН. ЛИН А.Н. Справочник по статике и динамике корабля. Т.2. Динамика корабля. Л.: Судостроение, 1976.

17. БЛОХ Г.А., ТЕВЕРОВСКАЯ Е.Н., ПОРТУНЯНКО В.П. и др. Некоторые прочностные характеристики клееных соединений материалов гибких ограждений // Вопросы судостроения. Сер. Технологич. судостроения. Л.: Изд.ШПИИ "Румб". 1977. Вып.15. С.69-74.

18. БОЛЫШАКОВ В.П. Волновые сопротивления системы поверхностных давлений // Материалы по обмену опытом НТО Судпрома: Теория корабля. Л., 1963. Вып.49. С.88-89.

19. БОНДАРЕНКО А.Д., ЛИТВИНОВА Г.Д. Центробежные вентиляторы с плоскими кольцевыми диффузорами (с применением на СВП) // Судостроение. 1974. № 6. С.23-24.

20. БОНДАРЕН К.В., КЛИЧКО В.В. Расчет параметров формы элементов гибкого ограждения воздушной подушки // Тр.ШПИИ им.А.Н.Крылова. 1969. Вып.247. С.66-78.

21. БРУК А.Д., МАТИКАШВИЛИ Г.И., НЕВЕЛЬСОН А.И. и др. Центробежные вентиляторы. М.: Машиностроение, 1976.

22. БРУСИЛОВСКИЙ И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ. М.: Неора, 1978.

23. БРУСИЛОВСКИЙ И.В. Вентиляторы с меридиональным ускорением потока. Промышленные аэродинамика. Вып.24: Лопаточные машины и течения в каналах. М.: Оборонгиз. 1962. С.74-81.

24. БРУСИЛОВСКИЙ И.В. Нослеровские двухступенчатого нагнетателя осевого вентилятора типа ЦАГИ К-06 с двумя типами промежуточного аппарата. Промышленная аэродинамика. Вып.12: Вентиляторы и воздушники. М.: Оборонгиз. 1959. С.36-48.

25. БУТАКОВ С.Е. Воздушники и вентиляторы. М.: Машино, 1958.

26. ВАГАНОВ А.М. Проектирование скоростных судов. Л.: Судостроение, 1978.

27. ВЕТЧЕНКИН В.Л., ПОЛЯКОВ Н.Н. Теория и расчет воздушного гребного винта (аэродинамика). М.: Изд.ЦАГИ им.Н.Е.Жуковского, 1939.

28. ВЕЧЕРОВА Л.В. Транспортные средства с динамическим принципом поддержания: Зарубежное судостроение (1975-1985). Изд.ШПИИ "Румб". 1985.

29. ВОЙТКУНСКИЙ Я.И. Сопротивление движению судов. Л.: Судостроение, 1988.

30. ВОЙТКУНСКИЙ Я.И., ПЕРШИЦ Р.Я., ТИТОВ И.А. Сущность движителя и управляемости: Справочник по теории корабля. Л.: Судостроение, 1973.

31. ГАРИН Э.А. Конструкция корпуса судов на воздушной подушке: Учеб.пособие. Л.: Изд. ЛКИ, 1979.

32. ГАРИН Э.А. Конструкция корпуса судов на подводных крыльках: Учеб.пособие. Л.: Изд.ЛКИ, 1982.

33. ГАСПАРСКИЙ В. Правословотический анализ проекта-конструкторских разработок. М.: Мар, 1978.

34. ГИММЕЛЬФАРБ А.Л. Основы проектирования в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1980.

35. ГОРБУНОВ В.Н., ГАСЕВА Н.В., МОЛИН А.Д., ВАРНАЧЕВА В.В. Создание аэроплана высокоскоростных течений из динамических моделей для гибких ограждений судов на воздуш-

ной нагрузки// Текстильные изделия текстильного назначения. 1979. Вып.1. С.68-79.

36. ГОРБУНОВ Ю.В. Обеспечение остойчивости некоторых типов СВН// Судостроение за рубежом. 1971. № 3 (51). С.8-17.

37. ДАВИДАН И.Н., ЛОПАТУХИН Л.И., РОЖКОВ В.А. Регистр СССР. Ветер и волны в открытых и морях: Справочные данные. Л.: Транспорт, 1974.

38. ДЕМЕШКО Г.Ф. Динамическо-динамический комплекс судов на воздушной подушке. Учеб. пособие. Л.: Изд.ЛКИ, 1981.

39. ДЕМЕШКО Г.Ф. Использование метода приращений в расчетах нагрузок скоростных судов// Актуальные вопросы проектирования судов: Сб.науч.тр./ ЛКИ, Л., 1986. С.71-75.

40. ДЕМЕШКО Г.Ф. Ограждение воздушной подушки на судах и транспортных аппаратах: Учеб.пособие. Л.: Изд.ЛКИ, 1982.

41. ДЕМЕШКО Г.Ф. Определение главных размеров аэриальных судов на воздушной подушке// Оптимизационное проектирование судов: Сб.науч.тр./ Л., 1980. С.74-80.

42. ДЕМЕШКО Г.Ф. Определение пропускного коэффициента и характеристик динамического комплекса аэриального судна на воздушной подушке на начальных стадиях проектирования судов// Оптимизация проектируемых судов: Сб.науч.тр./ ЛКИ, Л., 1985. С.62-67.

43. ДЕМЕШКО Г.Ф. Определение характеристик аэродинамического двигателя аэриального судна на воздушной подушке на начальных стадиях проектирования// Оптимизация проектируемых судов: Сб.науч.тр./ ЛКИ, Л., 1985. С.67-69.

44. ДЕМЕШКО Г.Ф. О точности расчетов нагрузок, возникающих из-за возмущения и контроле массы скоростных судов// Проектирование морских судов и плановых технических средств: Сб.науч.тр./ ЛКИ, Л., 1987. С.13-17.

45. ДЕМЕШКО Г.Ф. Систематизация и анализ проектных элементов аэриальных СВН// Проектирование судов: Сб.науч.тр./ ЛКИ, Л., 1980. С.120-126.

46. ДЕМЕШКО Г.Ф. Устройство и оборудование судов на воздушной подушке: Учеб. пособие. Л.: Изд.ЛКИ, 1980.

47. ДЯЧКОВА Т.А., КЛИЧКО В.В. О влиянии параметров кормового гребного отразателя на ходовые и мореходные качества аэриальных СВН// Вопросы судостроения. Сер.: Проектирование судов. 1980. № 26. С.141-146.

48. ДЯЧКОВА Т.А., КЛИЧКО В.В. Расчет параметров формы кормового гребного отразателя// Вопросы судостроения. Сер.: Проектирование судов. 1981. № 29. С.18-20.

49. ЕВЕР С.М., ЛИСЕЙШЕВ Н.К., САМОЙЛОВИЧ О.С. Основы автоматизированного проектирования самолетов: Учеб.пособие. М.: Машиностроение, 1986.

50. ЕВЕР С.М., МАШИН В.Ф., ЛИСЕЙШЕВ Н.К. и др. Проектирование самолетов. М.: Машиностроение, 1983.

51. ЕГОРОВ И.Т., СОКОЛОВ В.Т. Гидродинамика быстродвижущих судов. Л.: Судостроение, 1971.

52. ЕРОХИН С.К., ФЛИПЧЕНКО Г.Г. Систематизация судов на воздушной подушке с помощью автоматического управления гребным отразателем// Тр.ИНИ им.акад. А.Н.Крылова. 1971. Вып.266. С.18-24.

53. ЖАРИНОВ К.В. Исследование коэффициентов расхода воздуха, вытекающего из АВН на разных вносках// Тр.ИНИ. 1970. Вып.1290.

54. ЗАЙЦЕВА Т.А. Влияние расхода воздуха и коэффициента давления на гидродинамические качества аэриальных СВН и устойчивость их движения// Вопросы судостроения. Сер.: Проектирование судов. 1980. Вып.26. С.135-140.

55. ЗАЙЦЕВА Т.А. Влияние удлинения воздушной подушки на сопротивление движению диффежных СВП// Вопросы судостроения. Сер.: Проектирование судов. 1979. Вып.20. С.74-77.
56. ЗАЙЦЕВА Т.А. Исследование сопротивления движению АСВП в условиях волнения// Всесоюз. научно-техн. симп. по вопросам повышения ходовых и мореходных качеств судов (Крыловские чтения): Тез. докл./ Л.: Судостроение. 1978. С.57-58.
57. ЗАЙЦЕВА Т.А. Исследование распределения гидродинамических сил по периметру ГО диффежных СВП// Всесоюз. научно-техн. симп. по вопросам повышения ходовых и мореходных качеств судов (Крыловские чтения): Тез. докл./ Л.: Судостроение. 1978. С.54-59.
58. ЗАЙЦЕВА Т.А., КЛИЧКО В.В. Гидродинамическое сопротивление движению АСВП: Материалы по обмену опытом. Л.: Судостроение. 1971. Вып.168. С.261-275.
59. ЗАЙЦЕВА Т.А., КЛИЧКО В.В. Исследование влияния оглаживания гребных ограждений судов на воздушной подушке// Тр. ЦНИИ им. академика А.Н.Крылова. 1971. Вып.206. С.3-12.
60. ЗАЙЦЕВА Т.А. Экспериментальное исследование влияния конструктивных параметров воздушной подушки на сопротивление движению СВП диффежного типа// Гидроаэромеханика СДП: Материалы по обмену опытом. Л.: Судостроение. 1972. Вып.166. С.212-220.
61. ЗАХАРОВ А.М., БУЛЫГИН П.А., РАЙКИН Л.И. и др. Воздухоподъемные и газоподъемные устройства быстроходных газотурбинных судов. Л.: Судостроение. 1977.
62. ЗЛОВИН Г.П., СИМОНОВ Ю.А. Судна на воздушной подушке. Л.: Судостроение. 1971.
63. ЗЛОВИН Г.П., СМЕГЕЛЬСКИЙ С.П. Судна на подводных крыльях и на воздушной подушке. Л.: Судостроение. 1976.

64. ЗОЛОТОВ С.С. Аэродинамика судовых крылатки. Л.: Судостроение. 1967.
65. ИВНИК В.К. Влияние нагрузки, определяющей общую прочность диффежных СВП: Конструкция и прочность СДП: Сб.НТО Судостроения. Л.: Судостроение. 1974. Вып.220. С.18-22.
66. ИДЕЛЬНИК И.Е. Справочник по гидродинамическим сопротивлениям. М.: Машиностроение. 1975.
67. ИКОНИКОВ В.В., МАСКАЛИК А.И. Особенности проектирования и конструкции судов на подводных крыльях. Л.: Судостроение. 1967.
68. ИСАЕВ В.К., КОЛЯЕВ В.С., КУРИЛКИНА П.И. Автоматизированные системы проектирования, конструирования и производства в аэрационной промышленности (по материалам открытой международной сессии). М.: Изд.ОНТИ ЦАГИ им.Н.Е.Жуковского. 1985. № 649.
69. КЛИЧКО В.В. Гидродинамическое сопротивление судов на воздушной подушке// Судостроение. 1965. № 5. С.12-17.
70. КЛИЧКО В.В. Особенности подпорки и ходкости судов на воздушной подушке, оборудованных гребными ограждениями: Доклад к XIII научно-технической конференции по теории корабля (Крыловские чтения). Л.: Изд. НТО Судостроения. 1967. С.1-19.
71. КЛИЧКО В.В. О способах снятия пророста сопротивления движению на волнении диффежных судов на воздушной подушке// Всесоюз. научно-техн. конф. "Проблемы повышения ходкости, мореходности и улучшения маневренности судов с динамическим принципом подпорки": Тез. докл./ Л.: Судостроение. 1983. С.121-123.
72. КЛИЧКО В.В. Причины и характерные особенности затопления ГО диффежных СВП// Всесоюз. научно-техн. симп. по вопросам повышения ходовых и мореходных качеств судов

(Крыловские чтения): Тез. докл./ Л.: Судостроение, 1976. С.61-62.

73. КЛИЧКО В.В. Расчет параметров потока воздуха на элементах гибкого ограждения воздушной подушки// Гидроаэродинамика судов с динамическими принципами поддержания. Л.: Судостроение. 1972. С.221-232.

74. КЛИЧКО В.В. Расчет параметров формы гибкого ограждения с учетом взаимодействия монолитного элемента с движущимися элементами жесткого корпуса// Гидродинамика СЛП: Тр./ ШНИИ им.акад.А.Н.Крылова. 1975. Вып.283. С.47-50.

75. КИВОННИК В.Е., СТАРКОВ И.Д., СУХАНОВ Г.Г., ТРОФИМОВ Ю.А. Новые методы испытаний материалов гибких ограждений// Технологии судостроения. 1977. № 2. С.80-82.

76. Код безопасности судов с динамическим принципом поддержания (Code of Safety for Dynamically Supported Craft). Л.: Ресурсы СССР, 1976.

77. КОЛЫЗАЕВ Б.А., КОСОРИУКОВ А.И., ЛИТВИНЕНКО В.А., ПОПОВ Г.И. Особенности проектирования судов с новыми принципами движения. Л.: Судостроение, 1974.

78. КОЛЫЗАЕВ Б.А., КОСОРИУКОВ А.И., ЛИТВИНЕНКО В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. Л.: Судостроение, 1980.

79. КОМИССАРОВ Д.С. Расчет формы и напряженного состояния плоского контура опорного сегмента ГО СВП с произвольным числом ярусов монолита// Вопросы судостроения. Сер.: Проектирование судов, 1983. Вып.3-й. С.47-52.

80. КОРАБЕЛЬНИКОВ А.А. Дизельные установки СВП. Л.: Судостроение, 1986.

81. КОРОТКИН Л.М. Аварии судов на воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1981.

82. Краткая динамическая энциклопедия. М.: Наука, 1981-1986 гг. Т.1. С.645-650, 673-675; Т.4. С.605-612.

83. КУЗОВЕНКОВ В.П. Прочность судов на подвижных крыльях в воздушной подушке: Учеб. пособие. Л.: Изд.ЛНИ, 1981.

84. КУЗОВЕНКОВ В.П. Прочность судов с динамическими принципами поддержания: Учеб. пособие. Л.: Изд.ЛНИ, 1975.

85. КУЗЬМИН Г.И. Воздушные винты. М.: Воениздат, 1937.

86. КУРЮН А.Г., МЕХЕРЕШИНСКИЙ А.Д., МИТЮШКИН Ю.И. и др. Газотурбинные установки быстроплавающих судов. Л.: Судостроение, 1988.

87. КУШЕЛЕВ В.В., НОСИКОВА В.Ф., СУХАНОВ Г.Г. Материалы для изготовления гибкого ограждения СВП (из иностранного опыта)// Технологии судостроения. 1975. № 3. С.104-110.

88. ЛАМБ Г. Гидродинамика. М.-Л.: Гостехиздат, 1947.

89. ЛЕНДЕНСКАЯ И.В. Новая морозостойкая корабельная газовая турбина LM500 мощностью 5300 л.с. компании G.E.// Судостроение за рубежом. 1990. № 2 (158). С.72-73.

90. ЛИТВИНСКИЙ Ю. Создание новой техники и технологии арктики// Наука и техника. 1983. № 10. С.24-25.

91. ЛОКИН А.Г., ЛОКИН И.Л., МАЗМАНИАН П.О. Новые типы центробежных вентиляторов ЦАПН: Промышленные аэродинамика. Вентиляторы и компрессоры. М.: Оборонгиз. 1959. Вып.12. С.125-154.

92. ЛОКИН И.Л., СОЛОМАХОВА Т.С. Аэродинамические характеристики центробежного вентилятора с радиальным диффузором: Промышленная аэродинамика. Лопаточные машины и техники в каналах. М.: Оборонгиз. 1982. Вып.24. С.90-99.

93. ЛОПАТИН Н.И. Технологии изготовления

сварных конструкций из алюминиевых сплавов. Л.: Судостроение, 1984.

84. ЛУКАШЕВСКИЙ В.А., ЧЕМАКИНА Г.Н. Расчет формы гибких ограждений аппаратов на воздушной подушке// Тр./ ЦАГИ, 1975. Вып.1691, С.11-18.

85. ЛОБУШИН Н.П. Экономическая эффективность проектных решений в судостроительстве. Л.: Судостроение, 1982.

86. МАВЛЮДОВ М.А., РУСЕЦКИЙ А.А., САДОВНИКОВ Ю.М. и др. Динамика быстроподвижных судов. Л.: Судостроение, 1973.

87. МАГУЛА В.Э. Судовые клановые конструкции. Л.: Судостроение, 1978.

88. МАКЛИН П. Суды на воздушных крышках и воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1981.

89. МАСЛОВ Л.А., ПАНОВКО Я.Г. Капитель аппарата на воздушной подушке при малых размерах// Механика твердого тела: Тр./ АН СССР, 1977. № 5. С.57-62.

100. МИЛОВАНОВ З.В., БОЯ Л.Г. Перспективы использования амфибийных СВП на рубежном// Судостроение, 1976. № 4. С.18-19.

101. МОХОВ Ю.М., СМЕРНОВ С.А., ОСИМОВ Н.В. Десантно-высадочные корабли на воздушной подушке для ВМФ США// Судостроение на рубежном, 1979. № 7. С.3-28.

102. НИКОЛАЕВ В.А. Конструкция и расчет судовых электроприводов. Л.: Судостроение, 1986.

103. НОГИД Л.М. Проектирование морских судов. Ч.1. Методика определения элементов проектируемого судна. Л.: Судостроение, 1984.

104. ОСИН М.И. Методы автоматизированного проектирования деталей аппаратов. М.: Машиностроение, 1984.

105. Пат.1368234 Великобритания, МКИ В60 V 1/16. Го с устройством для переоборудования воздушководов.

106. Пат.2145805 Франция, МКИ В60 V 1/00. Переоборудование ограждения на внешнем полукруге и корпусов ГО.

107. ПАШИН В.М., СЕМЕНОВ Ю.Н. Системы автоматизированного проектирования судов: Учеб.пособие. Л.: Изд.ЛКИ, 1981.

108. ПЕТИН Е.В. К проектированию формы двухрусных гибких ограждений: Соавт.-тр./ НКИ, Николаев, 1978. № 140. С.42-45.

109. ПЕТРОВА И.М. Экспериментальные и теоретические исследования гидродинамиче- ских судов на воздушной подушке на рубежном. Л.: Изд. ЦНИИТЭИС, 1988.

110. Регистр СССР. Правила обеспечения безопасности СДПП. Л.: Транспорт, 1980.

111. ПРЫГУНОВА Е.Г., ЧЕКАНОВА А.А., КУШЕЛЕВ В.В., ЗИЛЬБЕРМАН А.С. Влияние некоторых конструктивных параметров на разрывную прочность резино-пластмассовых материалов// Вопросы судостроения. Сер.: Судовые. Технологии и организация производства, 1988. Вып.6. С.81-84.

112. ПУЗЫРЕВ М.Н. Мореходные и маневренные качества судов и кораблей на воздушной подушке. Л.: Изд.ЦНИИТЭИС, 1988.

113. ПУЗЫРЕВ М.Н., МЕЛЛЕДОВСКАЯ Л.В. Помещение судов на воздушной подушке на волнении. Л.: Изд.ЦНИИТЭИС, 1989.

114. Регистр СССР. Правила классификации и постройки судов внутреннего пла- вания. Т.2. Ч.1. Корпус. М.: Транспорт, 1984.

115. РУСЕЦКИЙ А.А. Динамика судов с гидродинамическими принципами поддержания. Л.: Судостроение, 1979.

116. СМЕРНОВ С.А. Суды на воздушной подушке самонного типа. Л.: Судостроение, 1983.

117. СОЛОМАХОВА Т.С., ЧЕНЫШЕВА К.В. Центробежные вентиляторы. Аэродинамические схемы и характеристики: Справочник. М.: Машиностроение, 1980.

118. Справочник по теории корабля/ Под ред. Я.И.Войтковского. Т.1. Гидроэлектроника, Сопротивление движению судов. Давление. Л.: Судостроение, 1985.
119. Справочник по теории корабля/ Под ред. Я.И.Войтковского. Т.3. Управляемость подводных судов. Л.: Судостроение, 1985.
120. Справочник резинщика. М.: Химия, 1971.
121. СТЕПАНОВ Г.Ю. Гидродинамическая теория аппаратов на воздушной подушке. М.: Машина, 1983.
122. СТЕПАНОВ Г.Ю. Особенности гидродинамического расчета струйной завесы над поверхностью воды// Судостроение. 1985. № 9. С.8-8.
- 122^a. ТАЛКОВ В.Н. Аэродинамика автосамолета. М.: Госстройиздат. 1964.
123. ТЕУШ В.Л., ЧЕРНОВИЛЬСКИЙ М.В. Работа воздушного вала. М.: Оборонгиз, 1946.
124. ТИТОВ И.А., ЕГОРОВ И.Т., ДРОБЛЕНКОВ В.Ф. Ходовость быстрходных судов. Л.: Судостроение, 1979.
125. ТИХОНОВ В.Н., ЗАХАРОВ А.М. Легкие газотурбинные установки быстрходных судов. Л.: Транспорт, 1973.
126. ТИШЕНКО М.Н. и др. Вертолеты. Выбор параметров для проектирования. М.: Машиностроение, 1976.
127. ТОЛСТОВРОВ Е.П., АНДРИЕНКО В.М., СУХОВОКОВА Г.Л., КОЖЕВНИКОВА Г.Л. Применение композиционных материалов в изделиях авиационной техники (по материалам открытой иностранной печати за 1969-1980 гг.). Ч.1. М.: Изд.ОИИ ЦАПИ им. Н.Е. Жуковского. 1984. № 644.
128. ТРЕЩЕВСКИЙ В.Н., ВОЛКОВ Л.Д., КОРОТКИН А.М. Аэродинамический эксперимент в судостроении. Л.: Судостроение, 1976.
129. ХАНЖОНКОВ В.И. Аэродинамические аппараты на воздушной подушке. М.: Машиностро-

130. ХУДЯКОВ Л.Ю. Исследованиями протатирования кораблей. Л.: Судостроение, 1980.
131. ЧЕСТНОВ Е.И. Зарубежные суда на воздушной подушке// Тр./ ЦНИИЭВТ. 1975. Вып.117.
132. ШИМУРАК И.Л. Прочность связей толстыми материалами с резинами и пути ее повышения. М.: Изд.ИНВИТЭНФотехника, 1966.
133. Экономические и географические проблемы северной техники/ Под ред.Ю.М.Доганова. М.: Изд.МГУ, 1972.
134. ЭПШТЕЙН Л.А. Методы теории резонансов и подобия. Л.: Судостроение, 1970.
135. A Gas turbine for Air Cushion Landing Craft // Defence. 1979. Vol.30, № 6. P.447-448.
136. AMYOT J.R. A proportional control experiment on air cushion heave Stabilization/Cacts International Conference on Air Cushion Technology. 1984. Sept.25-27.
137. BAND E.G.U., LAVIS D.R. Computer-aided conceptual design of ACV // joint International Conference on Air Cushion Technology. Rockville Maryland USA. 1985. Sept. P.56-66.
138. BARR R.A., ETTER R.J. Selection of propulsion systems for high-speed advanced marine vehicles//Marine Technology. 1973. Vol.12. P.33-49.
139. CAA Paper 75017 Report of the ARB Special Committee on Hovercraft Stability and Control. 1975. June.
140. CAVANAGH R.A., RICCI J.J., HILLS S. Cushion stiffness characteristics of the amphibious assault landing craft JEFFA//Canadian Symposium in Air Cushion Technology. 1980. P.141-172.
141. CARRIER R., LUNDBLAD W., SWIFT M.R. The effect of skirt Configuration on the Seakeeping of ACV//AIAA/ SNAME Advanced Marine Vehicles. Conference. Arlington, Virginia. 1976. Sept.20-22. AIAA-Paper 76-864.
142. COX J.M. The evolution of Safety Requirements for Dynamically Supported Craft//Hovering craft and Hydrofoil. 1977. Vol.17. N 2. P.27-37.
143. COX R.J., TATERSALL E.G. An assessment of the

resent claims associated with the captive air bubble concept// *Hovering Craft and Hydrofoil*, 1964, Vol.3, N 5, P.10-14.

144. CRAGO W.A. Problems Associated with the use of skirts on Hovercraft//*Hovering Craft and Hydrofoil*, 1968, Vol.7, N 11, P.20-33.

145. DYKE R.W. Development in ACV Spray Suppression//15th Canadian Symposium on Air Cushion Technology, 1981, Sept.29-30, P.113-125.

146. ELSLEY G.H., DEVEREUX A.J. Hovercraft Design and Construction. David and Charles Newton Abbot, 1968.

147. EMMAS D.E. New concept in hovercraft design diesel versus gas turbines//16th Canadian Symposium on Air Cushion Technology, 1982, Oct.19-21, Charlottetown Prince Edward Island Preprints, P.64-68.

148. FAIRBANKS J.W. The FT-9 Marine Gas Turbine Engine Development Programme//*Hovering Craft and Hydrofoil*, 1977, Vol. 16, N 5, P.5-20.

149. FORSTELL B.G., HARRY C.W. The Use of Model-Test data for predicting full-scale ACV resistance//Joint International Conference on Air Cushion Technology: Rockville Maryland USA, 1985, Sept. P.67-73.

150. FOWLER H.S. Thrust systems for light Air Cushion Vehicles. NRC Mechanical Engineering Report LTR-ENG-21, 1974, P.1-40.

151. GOLDBERG L.L., TUCKER R.G. Current Status of US Navy Stability and buoyancy criteria for advanced marine vehicles//AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles conference, San Diego California, 1974, Febr. 25-27.

152. GORNSTEIN R.J. Design criteria for propellers used in Hovercraft: A case study of US Army LACV-30//CACTS International Conference on Air Cushion Technology Canada Montreal (Quebec), 1987, Sept. 22-24, P.267-281.

153. GUIENNE P. Optimum Speed of an ACV-A Navipac N 500 Application//*Hovering Craft and Hydrofoil*, 1977, Vol.16, N 9-10, P.18-26.

154. GUIENNE P. Stability of the Tonnage on the Ground//*Hovering Craft and Hydrofoil*, 1964, Vol.4, N 1, P.22-23.

155. GUIENNE P. The search for economic transportation capability in marine hovercraft design inception//*Hovering craft and Hydrofoil*, 1975, Vol.15, N 2, P.21-25.

156. High Speed Marine Diesels//*Defence*, 1979, Vol.10, N 6, P.437-442.

157. INCH F., PRENTICE M.E., LEWIS G.J. Development in skirt systems for ACV. AIAA-Paper 89-1492.

158. JAMES SURFACE SKIMMERS. James Yearbooks, London, 1977-1989.

159. JONES D., SULLIVAN P.A. Canadian experience with ACV seals//Proceedings of the 1989 Intersociety Advanced Marine Vehicles Conference, Arlington, 1989, AIAA-Paper 89-1494.

160. KELLY J.J., KLEMENS W., PREISER H.S. Development and evaluation of skirt/seal materials for surface effect vehicles//*Hovering Craft and Hydrofoil*, 1976, Vol.15, N 12, P.20-28.

161. LAVIS D. Air Cushion Craft//*Naval Engineers Journal*, 1985, Febr. P.259-316.

162. LAVIS D.R., BARTHOLOMEW R.J., Jones J.C. On the prediction of acceleration response of ACV to random seaways and the distortion effects of the cushion inherent in scale models. AIAA-Paper 72-998.

163. LEONARD J.C. AP.1-88. High Speed Surface Craft Conference. Royal Garden Hotel, London, UK, 1983, May 9-12, P.321-337.

164. MANTLE P.J. Air cushion craft development (first revision) Bethesda: David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1980.

165. MANTLE P.J. Technical Summary of Air Cushion Craft Development, Bethesda: David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1975.

166. MORAN D.D., WATERS R.T., JENNINGS A.N. Full-scale evaluation of a Hovercraft lift system//CACTS International Conference on Air Cushion Technology, Vancouver, Canada, Preprints, 1984, Sept.25-27, P.45-50.

167. NEUMAN J.N., FOXLE F.A.P. The Wave Resistance of a Moving Pressure Distribution in a Channel//*Schiffstechnik*, 1962, Bd.9, H.45.

168. PLACKETT M.J., WADE R.B. Design Aspects of Seal Systems for Air Cushion Vehicles//AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, San Diego, California, 1978, April 17-19, P.1-20.

169. RICCI J.J., GERZINA D.M. Overland performance

trials of the amphibious assault landing craft JEFFB//Canadian Symposium on Air Cushion Technology. 1980. P.201-205.

170. RUSSEL B.J. Hovercraft propellers//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol. 13. N 4. P. 15-20.

171. RUSSEL B.J. Vosper Thornycraft hovercraft//*High-Speed Surface Craft*. 1979. Vol.19. N 2-3. P.4-13.

172. SCHNELL E., OBERLÄNDER G., GUTENNE P. Light Weight gas turbines as power plants for air cushion vehicles-power packages of SEDAM-Naviplane N 900//*Schiff und Hafen*. 1977. Sept. N.9. S.807-809.

173. SILVER S., LAURIAT T.B. The Avco Licensing TP40 Marine Gas Turbine for the US Navy LCAC//*High-Speed Surface Craft* Conference. London UK, 1983. May 9-12. P.39-48.

174. SMITH B.S.L. Comparisons between powering and propulsion Systems//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.21-22.

175. SMITH B.S.L. Engine specifications//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.48-65.

176. SMITH B.S.L. Fuel and Consumption//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.34.

177. SMITH B.S.L. Gas Turbines for ACV's and hydrofoils//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.17-20.

178. SMITH B.S.L. Propulsion and Lift for hovercraft//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.28-30.

179. SMITH B.S.L. The principles of hovercraft powering and propulsion//*Hovering Craft and Hydrofoil*. 1979. Vol.18. N 9-10. P.10-14.

180. STANTON J. Hovercraft skirt development an engineering and performance review//*Quarterly Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*. 1968. Vol.110. N4. P.499-524.

181. STEVENS M.J., PROKHOROV S.D. Air Cushion Vehicles: Report DTNSRDS-81/026. 1981. Yuly. P.153-185.

182. THOMPSON G.Y. Mountbatten Development//*Air Cushion Vehicles*. 1969. Vol.14. N 85. P.18-25. 30.

183. TREMILLS J.A., BAND E.G.U., LAURENT R.S. A design synthesis model for ACV/SES Lift Systems//15th Canadian Symposium on Air Cushion Technology. Toronto, Ontario. 1981. Sept.29-30. P.143-160.

184. US Army Logistic Voyageur Hardening Analysis Report. 7467-930001. 1973. Nov. Section V.

185. VITALE D.J. Combat Damage - a unique element. 10th Canadian Symposium on Air Cushion Technology. Charlottetown. 1982. Oct.19-21. P.93-96.

186. WACHNIK Z.G., LIVINGSTON W.H. ACV Lift System Flow Simulation Model//ALAA 18th Aerospace Science Meeting. Pasadena. California. 1980. Jan.14-16.

187. WHEELER R.L. Recent United Kingdom Hovercraft Development//*Journal of Hydronautics*. 1978. Vol.12. N 1. P.3-17.

188. WILSON R.A., VIARS P.R. Operational Characteristics Comparison (ACV and SES)//ALAA-Paper 81-2064.

189. WILSON R.A., WELLS S.M., HEBER C.E. Powering Prediction for Surface Effect Ships Based on Model Results//*Journal of Hydronautics*. 1979. Vol.13. N 4. P.113-119.

190. WOODWARD M.L. British Experience Using the Aero Derived Gas Turbine for Main Propulsion in ACV and Fast Patrol Craft//International Conference. Melbourne ASME. 1971. Decemb.28.

Важнейшие тактико-технические

Показатели и характеристики судна, их размерность	Наименование			
	SR NS Англия	BN TMR2 Англия	SR No404 Англия	BAH 220 Англия
1	2	3	4	5
Полная масса, т	7,0	48	1700	-
Длина наибольшая, м	11,8	33,9	18,8	12,0
Ширина наибольшая, м	7,0	13,8	7,9	4,2
Высота ГЗ, м	1,23	1,78	-	0,5
Масса перевозимого груза, т	2,0	15	4	2,2
Пассажироемкость, чел	18	72+(7-8) автолюб.	35	23
Площадь ВП	~ 64	-	-	-
Среднее давление в ВП, кПа	1,15	1,50	-	-
Полная длительная мощность ГЭУ, кВт	660	2640	940	1 x 141
Колесность/двиг. ГД	1 x ГТД "Марион Поле"	2 x ГТД "Марион Поле"	1 x ГТД "Марион Поле"	1 x ВД Поле; BPHLS13c
Кол-во стел. двигат. Кол-во стел. насосов	1 x BR 1 x PH	1 x BR 1 x PH	1 x BR 1 x PH	1 x BPH 1 x PH
Диаметр двигателя Диаметр насосов	178 113	178 131	168 113	-
Предельная скорость, км/ч на полной массе, уз	60	58	60	40
Дальность хода, миль	240	270	232	300

характеристики АСВП

судна, страны				
Tiger 40 Англия	PUC 22 Латвия Фокландия	Ten T3 Котик	MV-PF5 Норман	MV-PF15 Виско
6	7	8	9	10
12,36	-	65	16,3	36
10,3	13	27,2	16,0	26,4
6,8	14,7	13,8	8,6	13,9
0,8 (средняя)	1,0	1,5 - 1,8	0,6	1,6 - 2,0
3,0	50	15	3,3	16,31
40	50 (или 14 автолюб.)	-	42 - 32	125
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
1 x T35 1 x 141 4 x BR Поле 2 x BPHLS13c 2 x BPHLS13c	1600	1 x T360 2 x T125	772	3106
1 x BPH 1 x PH	4 x BR -	-	1 x ГТД 1 x PH	1 x ГТД TP 15
1 x BPH 1 x PH	1 x BPH 2 x PH	2 x BR 6 x PH	1 x BR 1 x PH	2 x BR 2 x PH
1,80 0,94	-	-	1,08 1,1	1,2 1,3
36 - 40	15	55	35	60
-	-	-	100	-

Важнейшие тактико-технические

Значения и характеристики судна, их равномерность	Нормализованные			
	№ 800 Франция	Высунут Канал	VCA-36 Италия	LACV-3 США
1	2	3	4	5
Полная масса, т	27	41,3	36	32
Длина наибольшая, м	34	38	25,3	22,3
Ширина наибольшая, м	10,5	11,2	11,84	6,4
Высота ГЦ, м	3,8	1,22	1,4	0,91
Масса перевозимого груза, т	~ 13	15 - 25	14	4,53
Наклонированность, чел	100 - 120	-	-	-
Площадь ВП	160	166	-	56,6
Объемное давление в ВП, кг/м	2,14	2,44	-	2,08
Полная двигательная мощность ГЭВ, кВт	1884	1912	3676	-
Количество и тип ГЭ	2 × ГТЭ Турбо Пиз	2 × ГТЭ S16T-75	2 × ГТЭ TF 25	3 × ВД Deutz DPFL412P
Кол-во и тип двигат.	2 × ВД 4 × СД	2 × ВД 2 × ПД	2 × ВД 4 × ПД	2 × ВД 2 × ПД
Диаметр двигателя, мм	3,5	2,74	4,0	-
Диаметр цилиндров	1,85	2,13	-	-
Предельная скорость вращения шкотов вала, об/мин	54 - 60	54	60	-
Дальность хода, миль	175	550	3 × 500	200

характеристики АСВП

судна, страны				
TURT IV Южная Корея	AFI-88/200 Англия	"Пума" СССР	"Норко" СССР	"Бере" СССР
6	7	8	9	10
26	47,2	5,7	10,7	2,69
12,7	24,3	12,3	13,5	3,0
7	11,3	5,2	6,2	3,35
0,8	1,32 - 1,53	0,6	0,6	0,45
1,5	До 11,45	~ 1,65	2,6	До 0,82
-	-	16	20 - 32	7 - 9
-	-	40,7	-	-
-	-	-	-	-
2 × 228 1 × 210	1900	2 × 88	2 × 141	1 × 129
2 × ВД	4 × ВД Deutz DPFL515cr	2 × АМК 2M73-35-11	1 × ВД Deutz DPFL7030	1 × АМК M-14H30
1 × ВД 2 × ПД	2 × ВД	1 × ВД 4 × ПД	2 × ВД	ВД 2 × ПД
2,75 1,98	2,75 0,38; 0,44	-	-	- 1,8
55	55	32,4	32,4	38
200	-	108	-	158

Таблица 2

Соответствия между элементами и характеристиками
английского АСВП

Элементы и характеристики сухоп., на размерность	Наименование сухоп.				
	SR N8 Mk.1	SR N4 Mk.2	VT.2	SR N4 Mk.3	AP.3-88 серия 400
1	2	3	4	5	6
Длина кабелепровода, м	14,8	39,7	30,2	56,39	22,6
Ширина кабелепровода, м	7,0	22,8	16,6	27,09	30,1
Масса сухоп. полн. P_{Σ} , т	30	200	111,5	300	36,3
Длина ВП L_{Σ} , м	12,5	30	-	52,07	10,5
Ширина ВП B_{Σ} , м	6,0	20	-	20,5	8,3
Габаритные ВП L_0/B_0	2,08	1,67	1,83	2,51	2,60
Площадь ВП S_{Σ} , м ²	69	681	326	1068,4	106
Высота ГО h_{Σ} , м	1,20	2,44	1,7	2,7	1,2
Относительная высота НО ГО h_{Σ}/B_{Σ}	0,5	0,4-0,5	0,20	0,5	0,5
Относительная длина $L_{\Sigma}/L_0 = L_{\Sigma}/(P_{\Sigma}/\rho \cdot g)^{1/2}$	8,824	6,894	-	7,84	6,486
Параметр ВП P_{Σ} , м	34,4	100	-	136,5	33,3
Определяющее значение в области ВП B_{Σ} , м/с	1,42	2,88	3,4	2,737	2,05
Проводимость кабелей суммарная, м ² /с	75	-	-	750	-

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Расход воздуха через ВП Q_{Σ} , м ³ /с	70	401	-	700	130
Относительная высота ГО h_{Σ}/B_{Σ}	0,2	0,12	-	0,12	0,148
Коэффициент давления K_p	1,6	1,5	1,15	1,1	1,12
Полная двигательная мощность ГД N_{Σ} , кВт	670	16540	3280	12180	1260
Количество сек. автоматизации ГД 30	1xГТД, "Морск Протек"	4xГТД, "Морск Протек"	2xГТД, "Морск Протек"	4xГТД, "Морск Протек"	4xВД, D8U72, BPTD.439PC
Мощность ГД N_{Σ}/P_{Σ} , кВт	770 670	4x3058 4x2640	2x3120 2x2640	- 4x2708	4x367 4x315
Количество двигателей - м/с	1xВВ	4xВВ	2xВВВ	4xВВ	2xВВВ
Диаметр анкавера, м	2,74	3,76	4,12	6,4	2,9
Частота вращения анкавера, 1/мин	3000	622	678	700	1516
Количество катушек - т/с	1xВВ	4xВВ	6xВВ	4xВВ	6xВВ двухк. котом.
Диаметр РК катушки, м	2,10	3,50	1,20	3,30	0,84
Частота вращения РК катушки, 1/мин	800	700	1000	600	-
Предельная скорость хода на тросовой виле, м/с	32	До 68	До 60	До 67	До 50
Относительная скорость P_{Σ} (сравнительно)	7,56	4,5	4,51	4,27	4,52

1	2	3	4	5	6
Масса полного груза $D_{\text{гр}}, \text{т}$	3,45	69,8	32,6	11,2	3,26
Количество перевозимых пассажиров/автомобилей, чел/шт	$\frac{38}{1}$	$\frac{382}{37}$	-	$\frac{418}{34 \cdot 10^3}$	$\frac{101}{1}$
Значимое усилие $D_{\text{из}}, \text{т}$	0,81	14,3	10,7	3,2	3,26 (3790 н)
Удельная нагрузка/срок службы $N_{\text{из}} / D_{\text{из}}, \text{н/Вт/т}$	67,3	52,8	47,38	37,17	34,7
Коэффициент надежности $K_{\text{д}} = G_{\text{д}}/N_{\text{д}}$	1,908	6,329	6,418	8,091	7,246
Удельный расход энергии через ИП $Q_{\text{из}}/D_{\text{из}}, \text{н}^2/\text{Вт} \cdot \text{т}$	7,9	2,26	-	2,33	3,6
Безразмерный коэффициент расхода энергии $G_{\text{из}} \cdot 10^{-2}$	2,13	0,88	-	8,99	1,31
Безразмерный коэффициент расхода энергии $G_{\text{из}}$	0,145	0,105	-	0,11	0,044
Относительная высота ГО $h_{\text{из}}/R_{\text{из}}/p_{\text{из}}$	0,57	0,42	0,36	0,43	0,37
Расчетная величина микра под микроскопической ГО по выражению (4.16) при $\mu = 0,35$	0,078	0,107	-	0,107	0,075
Относительный микра под микроскопической ГО $(h_{\text{из}}/L_{\text{из}}) \cdot 10^{-3}$	6,38	2,39	-	2,63	1,47
Относительный микра под микроскопической ГО $G_{\text{из}} D_{\text{из}} / S_{\text{из}} \cdot 10^{-3}$	3,87	1,77	-	1,79	2,43

1	2	3	4	5	6
Коэффициент нагрузки $G_{\text{д}} \cdot 10^3$	1,7	1,1	1,88	0,838	1,45
Коэффициент нагрузки $G_{\text{д}} \cdot 10^3$	1,13	0,82	-	0,59	1,0
Прямая температурная деформация ИП изотермическая $T_{\text{из}} = \frac{D_{\text{из}} D_{\text{из}}}{G_{\text{из}}}, \text{с}$	1,2	3,68	-	4,12	1,53
Объемный эффект вертикальной нагрузки $T_{\text{из}} = 1,5 \sqrt{h_{\text{из}}} \text{ по } / \text{В} \cdot \text{с}$	1,21	3,13	2,64	3,29	2,2
$\bar{\epsilon} = \epsilon_{\text{из}} / T_{\text{из}}$	0,58	1,18	-	1,25	0,70
Водопоглощение пористости $D_{\text{из}}, \text{т}$	-	-	63,64	-	25,5
Коэффициент усадки полной массы по полной сжимаемости $\eta = (D_{\text{из}} + D_{\text{из}}) / D_{\text{из}}$	0,44	0,42	0,39	0,44	0,32

Сводный список параметров и характеристик АСНП
США, СССР, Франция

Таблица 3
3
3
3

Данные и характеристики сухо, по расчет- ности	Нормативные сух, сух							
	ДВТА		ДВТФ		ЛОАС		ЛАН-30	
	США	2	3	США	4	США	СССР	Франция
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина выхлопной, м	28,3	28,4	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3
Ширина выхлопной, м	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Масса сухих топлив $D_{\text{сух}}$, т	157	154,2	153,5	153,5	153,5	153,5	153,5	153,5
Длина ВТ $L_{\text{ВТ}}$, м	27	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
Ширина ВТ $B_{\text{ВТ}}$, м	13,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
Удлинение ВТ $L_{\text{ВТ}}/B_{\text{ВТ}}$	2,05	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
Площадь ВТ $S_{\text{ВТ}}$, м ²	3,28	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Высота ГО $H_{\text{ГО}}$, м	1,52	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Омываемая площадь ГО $GO_{\text{нм}}, \text{ м}^2$	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

1	2	3	4	5	6	7
Омываемая площадь $L_{\text{нм}} \cdot B_{\text{нм}} / B_{\text{нм}}$, м ²	5,046	4,40	4,38	4,38	4,38	4,38
Параметр ВТ $\Pi_{\text{ВТ}}$	74,70	66,27	67,63	67,63	67,63	67,63
Омываемая площадь по высоте ВТ $P_{\text{ВТ}}$, м ²	4,81	5,25	4,81	4,81	4,81	4,81
Проектируемая интенсивность осолонения, $\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	362	348	-	-	-	-
Время осолонения при ВТ $Q_{\text{ВТ}}$, ч	362	292	200	200	200	200
Омываемая площадь по высоте ГО $S_{\text{ГО}} / B_{\text{ГО}}$	0,115	0,125	0,122	0,122	0,122	0,122
Коэффициент осолонения $K_{\text{ГО}}$	1,27	1,48	1,25	1,25	1,25	1,25
Площадь осолонения по высоте ГО $S_{\text{ГО}} / B_{\text{ГО}}$, м ²	12566	12566	12540	12540	12540	12540
Коэффициент осолонения по высоте ГО $K_{\text{ГО}}$, м ²	0,17703	0,17703	0,17703	0,17703	0,17703	0,17703
Коэффициент осолонения по высоте ГО $K_{\text{ГО}}$, м ²	17940	17940	17940	17940	17940	17940
Мощность ГО $S_{\text{ГО}} \cdot N_{\text{ГО}}$, м ²	0,02780	0,02780	0,02780	0,02780	0,02780	0,02780
$S_{\text{ГО}} \cdot N_{\text{ГО}}$, м ²	0,02801	0,02801	0,02801	0,02801	0,02801	0,02801
7064	103,6	14,63	1,75	3,03	6,517	3,03
1175	2,418	14,145	412	1175	1175	1175
3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03
3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03	3,03

3	2	3	4	5	6	7
Количество измерений n , шт.	4 × 1000	2 × 1000	2 × 1000	2 × 100	1 × 100	3 × 100
Длина l , мм	2,25	3,6	3,6	2,24	2,9	4,4
Число измерений диаметра d , мм	-	-	-	-	1000	600
Количество измерений d , шт.	8 × 100	$\frac{4 \times 1000}{\text{измеряемое количество}}$		2 × 1000	2 × 1000	2 × 1000
Длина l , мм	1,3	1,23	1,23	2,1	1,9	4,9
Число измерений l , шт.	3000	1750	-	3900	1900	900
Предельная погрешность σ , мм	до 0,00	до 0,00	до 0,00	до 0,01	46	до 75
Число измерений σ , шт.	5,68	5,69	3,36	5,26	5,42	1,93
Масса m , кг	94,5	94,5	94,5	до 30	1,27	60,3
Количество измерений m , шт.	-	-	-	-	$\frac{14}{\sigma}$	$\frac{400}{\sigma}$

1	2	3	4	5	6	7
Длина l , мм	18,1	18,1	-	8,36 (10000 м)	0,47	20,5
Угловая измерительная $N_{\text{из}} / D_{\text{из}}$, мкм	70,76	80,2	84,3	86,4	71,3	44,6
Коэффициент $K_{\text{из}} = G_{\text{из}}/N_{\text{из}}$	5,128	5,241	3,257	8,120	3,067	9,309
Угловой период $\sigma_{\text{из}} (1/\text{мм})$	2,21	1,89	1,87	0,66	5,26	3,04
Безразмерный коэффициент периода $\sigma_{\text{из}} \cdot 10^3$	1,26	1,12	1,06	1,93	1,77	1,80
Безразмерный коэффициент периода $\sigma_{\text{из}} \cdot 10^3$	0,15	0,126	0,125	0,207	0,140	0,157
Среднее значение $\sigma_{\text{из}} \cdot 10^3$	0,284	0,186	0,186	0,310	0,165	0,192
Рассчитанное значение $l_{\text{из}}$ по формуле (10) при $\mu = 0,25$, мм	0,100	0,087	0,087	0,126	0,083	0,152 ($\mu = 0,50$)
Оценочная погрешность	-	-	-	-	-	-

	1	2	3	4	5	6	7
линейный размер ГД $(l_p / L_p) \cdot 10^3$		1,7	3,76	3,62	3,63	3,36	3,36
Отношение линейных размеров линейный размер ГД $0,2(l_p / S_p) \cdot 10^3$		2,3	2,03	1,99	3,51	3,07	2,26
Коэффициент нагрузки $G_p \cdot 10^4$		2,96	3,36	3,76	1,83	3,07	1,07
Коэффициент нагрузки $G_p \cdot 10^5$		3,77	3,43	3,83	1,93	3,77	0,69
Длина цилиндрической области ВП относительно T_p $= G_p l_{p0} / G_p \cdot c$		1,36	1,67	1,62	0,96	0,73	2,59
Собственный период вертикальных колебаний $T_p =$ $2\pi \sqrt{h / g} \text{ sec}$		2,47	2,47	2,47	3,1	1,68	3,17
$\bar{T}_p = T_p / T_p$		0,56	0,66	0,66	0,44	0,45	0,63
Воздействие на корпус A_p				60,7	35,4	3,68	104
Коэффициент увеличения полюсной массы по средней продольной оси $= (G_p + G_p) / G_p$		0,46	0,47	Др 0,46	Др 0,38	0,46	0,42

Глава 6. Назначение характеристик ограждающей области ВП	3
§ 6.1. Гибкие ограждения ВП. Назначение, условия эксплуатации, требования к ним	3
§ 6.2. Типы ГО, применяемые на АСВП	7
§ 6.3. Расходно-калорийные характеристики СВП, оборудованного ГО области ВП. Итоговая жесткость материалов ГО и ее моделирование	34
§ 6.4. Установление взаимосвязи расходно-калорийных характеристик ВП и ГО на АСВП	45
§ 6.5. Принципы обеспечения и расчета формы ГО	49
§ 6.6. Оценка прочности ГО. Принципы ее расчета. Использование опыта проектирования и прототипов при выборе материалов ГО	64
§ 6.7. Материалы для ГО	78
§ 6.8. Изготовление и сборка ГО	92
§ 6.9. Износ, повреждения и ремонт ГО	96
Глава 7. Обеспечение устойчивости и устойчивости СВП в различных режимах эксплуатации	100
§ 7.1. Учет требований к устойчивости. Понятие об устойчивости в различных режимах эксплуатации СВП	100
§ 7.2. Расчет статической устойчивости СВП. Поперечная и продольная устойчивость при закреплении СВП над твердым экраном	129
§ 7.3. Обеспечение вертикальной устойчивости СВП над твердым экраном и над водой. Установление связи вертикальной устойчивости с динамическими характеристиками судна. Предотвращение выброса ГО	139

§ 7.4. Статическая устойчивость над водой "на стоя" и на ходу, ее связь с проектными характеристиками судна	151
§ 7.5. Динамическая неустойчивость формы ГО и методы ее предотвращения. Борьба с подлоном и затоплением ГО	157
Глава 8. Основы проектирования и комплектации энергетической установки АСВП	166
§ 8.1. Проектные аспекты комплектации ЗУ и обеспечения условий ее функционирования на АСВП	168
§ 8.2. Учет особенностей ГТД при их использовании на СВП	180
§ 8.3. Специфика использования высокооборотных двигателей	188
§ 8.4. Комплектация, компоновка и конструктивное исполнение ЗУ СВП	191
§ 8.5. Особенности систем и устройств, обеспечивающих функционирование ЗУ СВП	196
Глава 9. Нагрузка СВП. Определение соответствующих массы	213
§ 9.1. Расчет массы судна. Особенности расчета. Разброс нагрузки	213
§ 9.2. Полная грузоподъемность СВП ...	217
§ 9.3. Масса корпуса и находящегося его оборудования	218
§ 9.4. Масса энергетической установки	227
§ 9.5. Расчет запасов топлива	235
§ 9.6. Определение массы ГО	245
§ 9.7. Точность расчетов нагрузки, влияющие запасы оборудования к устойчивости СВП	251
§ 9.8. Использование метода пропорций в расчетах нагрузки СВП	257
Глава 10. Методология проектирования СВП	262

§ 10.1. Главные размеры СВП и их взаимосвязь с его характеристиками и требованиями исходных данных	262
§ 10.2. Построение вычислительного алгоритма	271
§ 10.3. Критерии оценки проекта. Принципы автоматизации процесса проектирования	285
Заключение	295
Литература	297
Приложение	314