

Оглавление

1. Классификация ПЛ и ГА	2
2. Конструктивные типы ПЛ и ГА	7
3. Внешние силы, действующие на конструкции корпуса	9
5. Безмоментное напряженное состояние	14
6. Конструктивные варианты оболочек	17
7. Обеспечение условий прочности	19
8. Обеспечение условий устойчивости	20
9. Конструкция обшивки основного корпуса.	22
10. Шпангоуты ОК	24
11. Напряжения, действующие в элементах ОК	26
12. Расчет элементов корпуса методом приближений	27
13. Проверка прочности обшивки	28
14. Проверка устойчивости обшивки	29
15. Проверка устойчивости отсека в целом	30
16. Выбор элементов шпангоута, оценка жесткостных характеристик	31
Центральный момент инерции определяется как	31
17. Погружение ГА и ПЛ	32
18. Всплытие ГА и ПЛ	34
19. ЦГБ, прочность и расположение	35
20. Цистерны вспомогательного балласта, прочность и расположение	36
21. Обеспечение плавучести в надводном и подводном положении	37
22. Общее расположение. Торпедный отсек	38
23. Общее расположение. Аккумуляторный отсек	39
24. Общее расположение. Центральный пост	41
25. Общее расположение. Прочная рубка и ограждение	42
26. Общее расположение. Ракетный отсек	44
27. Общее расположение. Энергетические отсеки	45
28. Первое приближение	46
29. Второе приближение	47
30. Третье приближение	51
31. Разработка чертежа секции ОК	54
32. Разработка растяжки наружной обшивки	56
33. Разработка продольного разреза секции	57
34. Разработка сечений по шпангоутам	58

1. Классификация ПЛ и ГА

Подводные лодки — это боевые корабли, способные погружаться и длительное время действовать под водой и предназначенные для разрушения наземных объектов на территории противника, уничтожения подводных лодок, надводных кораблей и торговых судов и выполнения других задач (ведения разведки, высадки диверсионных групп и др.).

В зависимости от основного вооружения подводные лодки подразделяются на **ракетные, торпедные и ракетно-торпедные.**

Ракетные подводные лодки вооружаются баллистическими или крылатыми ракетами различной дальности стрельбы. **Подводные лодки с баллистическими ракетами** предназначены для нанесения ядерных ударов по важным в военном отношении объектам, расположенным в глубине территории противника. **Подводные лодки с крылатыми ракетами** предназначены для уничтожения наземных объектов, расположенных вблизи побережья, и морских целей, главным образом надводных кораблей и судов. В зависимости от типа ракет подводные лодки могут быть с надводным или подводным пуском их, а по дальности стрельбы — малой, средней и большой дальности.

Ракетно-торпедные подводные лодки в качестве основного оружия несут ракеты-торпеды с ядерным и обычным зарядом, которые выстреливаются из торпедных аппаратов, для поражения морских целей. Они имеют также торпеды различных образцов.

Торпедные подводные лодки предназначаются для уничтожения подводных лодок, надводных кораблей и судов противника и вооружаются дальнеходными, с ядерными и обычными зарядами, самонаводящимися и другими торпедами. Из торпедных аппаратов может также производиться постановка мин.

Подводные лодки с крылатыми ракетами, ракетно-торпедные и торпедные в связи с широким кругом решаемых задач в ряде флотов отнесены к **разряду многоцелевых.**

Кроме подводных лодок, предназначенных для решения задач, связанных с уничтожением объектов и целей противника, в военно-морских флотах имеются и подводные лодки специального назначения, к которым за рубежом относят подводные лодки радиолокационного дозора, десантно-транспортные и транспортные подводные лодки, подводные лодки-цели (или мишени), экспериментальные, учебные, научно-исследовательские, а также сверхмалые подводные лодки, предназначенные для диверсионно-разведывательных действий.

Подводные лодки радиолокационного дозора располагают необходимыми средствами и устройствами для ведения радиолокационной разведки. Так, например, американская атомная подводная лодка «Тритон» была оснащена радиолокационными станциями обнаружения воздушных целей, наведения истребительной авиации

противовоздушной обороны, обнаружения работающих радиолокационных станций, опознавания, создания помех, боевыми информационно-управляющими системами, обеспечивающими сбор и обработку поступающей информации, специальной аппаратурой для ретрансляции полученной информации, Для скрытного ведения разведки, поддержания связи с командованием и взаимодействующими силами и выполнения других функций на перископной глубине подводные лодки радиолокационного дозора имеют около 20 различных выдвижных устройств.

Десантно-транспортные и транспортные подводные лодки могут быть оборудованы специальными погрузочно-разгрузочными устройствами, в том числе средствами для погрузки и высадки десанта, колесной и другой военной техники. Лодки-мишени имеют конструкцию корпуса, оборудование и специальные средства, обеспечивающие им наибольшую живучесть и непотопляемость.

Все подводные лодки в зависимости от типа главной энергетической установки могут быть **атомными или дизельными** (дизель-аккумуляторными) и в соответствии с этим относиться к различным подклассам.

В зависимости от тактико-технических элементов (водоизмещения, вооружения, численности экипажа и др.) и предназначения все военные корабли, в том числе и подводные лодки, **делятся на ранги**. В ВМФ РФ установлены четыре ранга кораблей. Высшим рангом является первый. К нему относятся атомные и ракетные подводные лодки; ко второму рангу — большие и средние дизельные подводные лодки и т. д.

Разделение подводных лодок на классы, подклассы и ранги определяется установленной в военно-морских флотах классификацией корабельного состава.

Для удобства управления, обеспечения, совместного базирования, организации боевой подготовки, а также ведения боевых действий подводные лодки наряду с другими кораблями флота сводятся в соединения и объединения, являющиеся штатными формированиями данного рода сил. К ним относятся дивизионы, бригады, дивизии, эскадры и флотилии.

Классификация подводных лодок — Википедия

Подводные лодки классифицируются по следующим признакам:

По типу энергетической установки

Атомные

Атомные подводные лодки есть у пяти стран: США, Россия, Великобритания, Франция, Китай. Ещё две страны ведут строительство подводных лодок, Индия(см. также К-43, К-152), Бразилия

Неатомные

дизель-электрические (ДПЛ, ДЭПЛ)

дизель-стирлинг-электрические (ДСЭПЛ)

По водоизмещению: подводные крейсера (К, ТК), крейсерские, большие (Б), средние (С), малые (М), сверхмалые

По назначению: стратегические (СН), многоцелевые (М), специального назначения

По основному вооружению: баллистические ракеты (РБ), крылатые ракеты (РК), торпеды (Т), ракетно-торпедные (ТРК).

По конструкции корпуса

Однокорпусные — корпус одновременно и противостоит давлению, и имеет обтекаемую форму.

Смешанного типа (полуторкорпусные) — для лучшей обтекаемости основной корпус частично прикрыт лёгким корпусом

Двухкорпусные (например, подводные лодки типа I-46) — есть ярко выраженные лёгкий корпус и прочный корпус

Многочорпусные — как правило, это несколько прочных корпусов внутри одного лёгкого корпуса, как, например в нидерландских лодках типа «Долфейн» и советских тяжёлых стратегических субмаринах 941 «Акула».

По поколениям

В истории развития атомного подводного кораблестроения выделяют пять поколений кораблей, которые различаются по надёжности, скрытности, вооружению, системам обнаружения. По аналогии неатомные подводные лодки соответствующего технического уровня также разделяют на поколения.

Современные проекты

Все стоящие на вооружении в настоящее время подводные лодки классифицируются следующим образом:

Атомные подводные лодки с баллистическими ракетами (ПЛАРБ), другое обозначение: Ракетный подводный крейсер стратегического назначения (РПКСН);

Атомные подводные лодки с крылатыми ракетами (ПЛАРК);

Многоцелевые атомные подводные лодки с торпедным и торпедо-ракетным вооружением (ПЛАТ и МПЛАТРК);

Неатомные подводные лодки с торпедным или торпедо-ракетным вооружением (ДПЛ и ДПЛРК).

Экспериментальные типы

Летающая подводная лодка

Подводный самолёт (подводная лодка с подводными крыльями)

Подводный аппарат — Википедия

Подводный аппарат (англ. Submersible) — небольшое судно или техническое устройство, используемое для выполнения разнообразных задач в толще воды и на морском дне. В отличие от подводной лодки, как правило, имеет ограниченные возможности по автономности и поэтому работает во взаимодействии с обеспечивающим судном-носителем. Подводные аппараты могут работать на глубине недоступной для подводных лодок и водолазов.

Классификация подводных аппаратов

Подводные аппараты делятся **на две основные категории**: Обитаемые подводные аппараты (ОПА) и Подводные роботы

По глубине погружения подводные аппараты условно делят на аппараты: для малых глубин — до 200 м, для средних глубин — до 2000 м, глубоководные — свыше 2000 м

По степени зависимости от обеспечивающего судна:

1. автономные, способные погружаться, всплывать и перемещаться самостоятельно;
2. неавтономные, связанные при погружении с обеспечивающим судном тросом или кабелем.

Подводные обитаемые аппараты

По конструктивным особенностям в отдельные группы можно выделить аппараты следующих категорий:

батискаф — особенностью является наличие поплавок заполненного бензином; способны погружаться на любые глубины Мирового океана, включая предельные;

батиплан — буксируемый аппарат-«подводный планер» для наблюдений на небольших глубинах;

аппараты с отсеком для выхода водолазов в воду — оснащены гипербарическим отсеком для транспортировки водолазов;

Автономные глубоководные снаряды — несут оборудование для проведения подводных работ, такое как манипуляторы и отсеки для поднимаемых грузов и образцов;

спасательные глубоководные аппараты (СГА) — оснащены пассажирским отсеком, стыковочным устройством и шлюзовой камерой для спасения экипажей подводных лодок;

многоместные туристические подводные лодки — служат для подводных экскурсий, имеют пассажирский салон и дополнительные иллюминаторы.

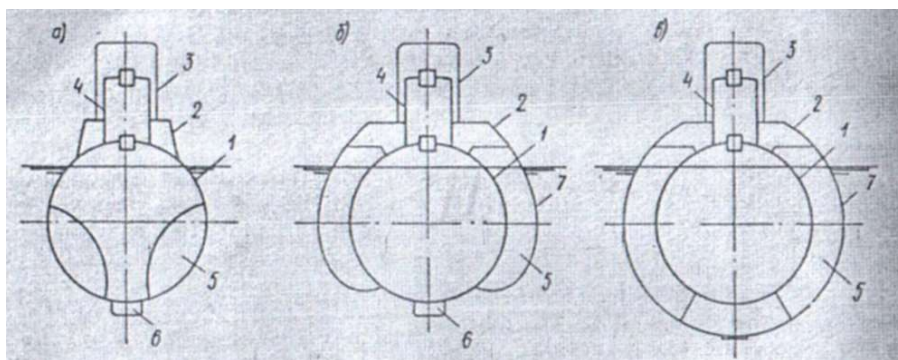
Подводные необитаемые аппараты

телеуправляемые аппараты — подводный робот, связанный с надводным судном кабелем и управляемый оператором;

автоматические подводные аппараты — полностью автономный подводный робот, работающий по заданной программе.

2. Конструктивные типы ПЛ и ГА

Рассматривая корпус подводной лодки, необходимо различать его две составные части - прочный корпус с прочной рубкой, способные выдерживать гидростатическое давление, соответствующее расчетной глубине погружения подводной лодки, и легкий корпус с надстройкой и ограждением рубки, не испытывающие давления воды и служащие в основном для придания лодке обтекаемых обводов и размещения балластных отсеков. При этом различают следующие **три основных конструктивных типа** подводных лодок:



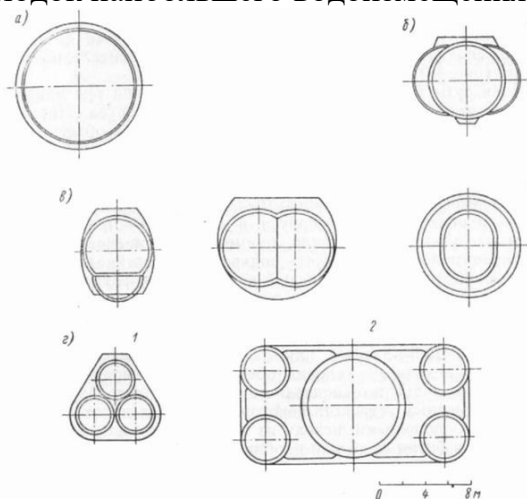
- 1 – прочный корпус; 2 – надстройка с палубой; 3 – ограждение рубки;
4 – прочная рубка; 5 – бортовые балластные цистерны;
6 – доковой киль; 7 – легкий корпус.

однокорпусные лодки, у которых в средней части имеется только прочный корпус кругового сечения, а легкий корпус ограничивается легкими оконечностями, надстройкой и ограждением рубки (а);

полукорпусные лодки, у которых легкий корпус располагается с обоих бортов по всей длине прочного корпуса, но не по всему его периметру, так как в нижней части легкий корпус отсутствует (б);

двухкорпусные лодки, у которых легкий корпус полностью охватывает внутренний, прочный, корпус, придавая ему необходимую обтекаемую форму (в).

Однокорпусная схема характерна для малых подводных лодок, двухкорпусная - для лодок наибольшего водоизмещения.



Конструкции поперечных сечений подводных лодок: а – однокорпусной; б – полуторакорпусной; в – двухкорпусной; г – многокорпусных. 1 – голландская подводная лодка «Дельфин» 2 – проект подводного танкера (США).

3. Внешние силы, действующие на конструкции корпуса

На движущуюся в подводном положении подводную лодку действуют силы и моменты, которые в зависимости от характера их воздействия можно разделить на две группы: статические и динамические

К статическим относятся:

- сила веса подводной лодки R_p ;
- сила плавучести γV_p ;
- восстанавливающий момент M_ψ ;
- остаточная плавучесть q ;
- избыточный дифференцирующий момент M_q .

Сила веса подводной лодки в подводном положении R_p , приложенная в центре тяжести G , включает в себя, кроме нормальной нагрузки статически удифферентованной подводной лодки, вес воды в цистернах главного балласта и в проницаемых частях корпуса. Сила плавучести в подводном положении равна произведению удельного веса забортной воды на полное подводное водоизмещение V_p , взятое по наружным обводам подводной лодки. Она приложена в центре величины C , расположенном на нормальной оси Gy на расстоянии h_p от начала координат, где h_p — метацентрическая высота подводной лодки в подводном положении.

Силы R_p и γV_p равны и противоположно направлены. Действие их на подводную лодку сводится к созданию в случае возникновения угла дифферента (или крена) восстанавливающего момента $M_\psi = R_p h_p \sin \psi$ или $m\theta = R_p h_p \sin \theta$.

Остаточная плавучесть q появляется в результате того, что фактическая нагрузка подводной лодки практически всегда отличается от её нагрузки в статически удифферентованном состоянии, когда $\gamma V_p = R_p$.

Избыточный дифференцирующий момент M_q создается главным образом за счет того, что точка приложений силы остаточной плавучести не совпадает с центром тяжести G , а находится на некотором расстоянии x_q от него:

$$M_q = q x_q \cos \psi,$$

где $q \cos \psi$ — составляющая силы q , параллельная оси Gy .

Избыточный дифференцирующий момент может возникать также вследствие перемещения грузов внутри корпуса без изменения веса подводной лодки (например, вследствие перераспределения воды между дифферентными цистернами). Статические силы и моменты зависят от нагрузки подводной лодки и её положения (угла дифферента или крена) и не зависят от скорости подводной лодки.

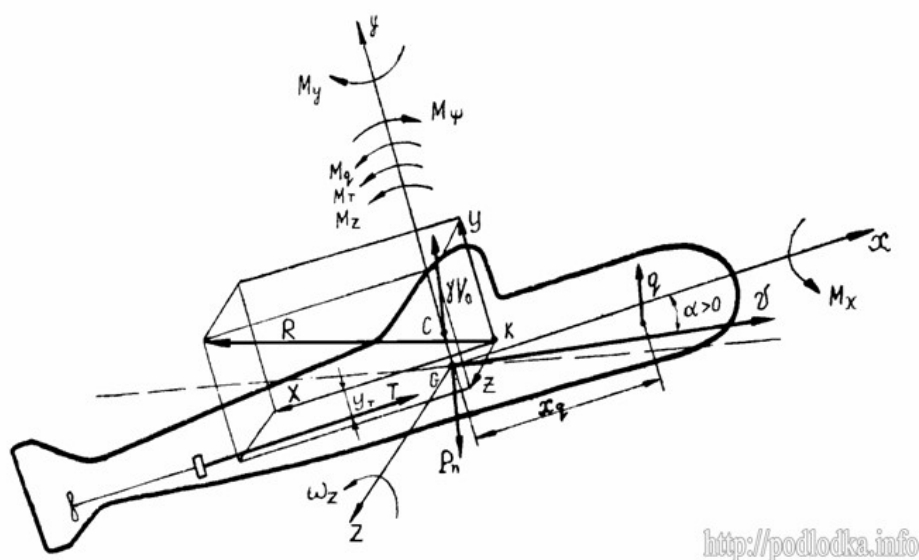


Рис. 8. Силы и моменты, действующие на подводную лодку при движении под водой

К динамическим силам и моментам относятся:

- сила тяги гребных винтов T ;
- момент силы тяги MT ;
- главный вектор гидродинамических сил R ;
- моменты гидродинамических сил относительно координатных осей.

Движение подводной лодки с заданной скоростью обеспечивается работой гребных винтов, которые создают силу тяги T , направленную по оси валопровода. Поскольку ось валопровода, как правило, находится ниже линии действия силы сопротивления воды движению подводной лодки на величину y_T , то создается момент силы тяги $MT = T y_T$, дифференцирующий подводную лодку на корму.

Главный вектор гидродинамических сил R является равнодействующей всех гидродинамических сил, действующих со стороны воды на поверхность корпуса подводной лодки при её движении. Точка приложения главного вектора называется центром давления, обозначается буквой K и в общем случае не совпадает с центром тяжести подводной лодки. Расположение центра давления зависит от характера движения подводной лодки и ее положения относительно поверхности воды:

- при движении подводной лодки на переднем ходу на прямом курсе центр давления располагается в нос от центра тяжести;
- при движении на заднем ходу и на циркуляции центр давления находится в корме от центра тяжести;
- в подводном положении центр давления расположен выше центра тяжести;
- в надводном положении подводной лодки центр давления ниже центра тяжести.

Разложение главного вектора гидродинамических сил на составляющие, параллельные осям координат, дает в случае пространственного маневрирования следующие силы, действующие на подводную лодку:

— продольную гидродинамическую силу, или силу лобового сопротивления воды X при равномерном движении подводной лодки эта сила равна силе тяги гребных винтов;

— нормальную гидродинамическую силу Y , которая в зависимости от направления является или подъемной (при $Y > 0$), или топящей (при $Y < 0$);

— поперечную гидродинамическую силу Z .

Поскольку центр давления не совпадает с центром тяжести, эти составляющие главного вектора гидродинамических сил создают гидродинамические моменты относительно координатных осей. Момент силы Y относительно оси Gz называется главным гидродинамическим моментом Mz . Поперечная сила Z относительно оси Gx создает кренящий гидродинамический момент Mx , а относительно оси Gy — гидродинамический момент курса (или рыскания) $Mу$.

Все эти силы и моменты будут иметь место при пространственном маневрировании подводной лодки. Если подводная лодка совершает маневр только в вертикальной плоскости и при этом угол крена равен нулю, то поперечная сила Z , а соответственно и моменты Mx и $Mу$, отсутствуют ввиду симметрии корпуса относительно диаметральной плоскости. В этом случае характер движения и положения подводной лодки будет определяться силой лобового сопротивления X , нормальной гидродинамической силой Y и главным гидродинамическим моментом Mz .

Гидродинамические силы и моменты зависят от скорости движения подводной лодки, угла атаки (дрейфа), углов перекладки рулей и объёмного водоизмещения (площади поверхности корпуса) подводной лодки. Для гидродинамических сил X , Y и для гидродинамического момента Mz , действующих в вертикальной плоскости, эта зависимость выражается формулами:

$$X = 0,5 C_x \rho v^2 V_{\text{п}}^{2/3}$$

$$Y = 0,5 C_y \rho v^2 V_{\text{п}}^{2/3} \quad (1)$$

$$Mz = 0,5 m_z \rho v^2 V_{\text{п}}^{2/3}$$

где v — поступательная скорость подводной лодки;

ρ — плотность воды;

$V_{\text{п}}$ — полное подводное водоизмещение подводной лодки.

Безразмерные коэффициенты C_x , C_y и m_z называются позиционными коэффициентами соответствующих сил и момента, или позиционными гидродинамическими характеристиками подводной лодки в продольной плоскости. Они зависят от углов атаки и перекаладки рулей и определяются для каждой подводной лодки экспериментально путём модельных испытаний в опытовых бассейнах или аэродинамических трубах. Позиционными эти коэффициенты называются потому, что зависят только от положения (позиции) подводной лодки и рулей по отношению к набегающему потоку воды и не зависят от вращения подводной лодки относительно оси Gz .

Гидродинамическое воздействие на подводную лодку пропорционально квадрату скорости её движения. Это обстоятельство необходимо учитывать и использовать, управляя подводной лодкой при различных скоростях хода. Так, при больших скоростях гидродинамические силы и моменты значительно превышают статические, а на малых скоростях хода статические силы и моменты соизмеримы с гидродинамическими и оказывают существенное влияние на управляемость подводной лодки.

§ 9. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПРОЧНЫЙ КОРПУС. ПОНЯТИЕ О ЕГО ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ

На подводную лодку действуют две основные силы: сила тяжести (веса) лодки и гидростатическая сила давления воды на ее корпус.

Гидростатическая сила давления определяется высотой столба воды, измеренной от поверхности (уровня) моря до точки приложения этой силы на корпус подводной лодки. Составляющие сил тяжести (веса) и сил гидростатического давления воды по длине и периметру поперечного сечения ПЛ распределены неравномерно, поэтому в корпусе лодки возникают изгибающие и срезающие усилия, которые по мере увеличения глубины растут. При уходе на глубину корпус лодки по мере погружения испытывает значительное давление забортной воды. На каждые 10 м глубины давление на корпус ПЛ увеличивается на 1 кгс/см^2 ($9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$). Таким образом, лодка, имеющая суммарную поверхность прочного корпуса 1000 м^2 , на глубине 200 м испытывает давление, равное $200\,000 \text{ тс}$ ($1,96 \cdot 10^9 \text{ Н}$).

Для противодействия такому огромному давлению воды на больших глубинах прочный корпус ПЛ должен обладать высокой общей поперечной прочностью. При превышении забортного давления по сравнению с расчетным на отдельных участках обшивки корпуса могут образоваться вмятины (остаточные деформации), а при дальнейшем увеличении давления корпус ПЛ может разрушиться.

Для обеспечения заданной прочности при минимальной массе (весе) выбирают наилучшую форму и конструкцию корпуса, а также материалы для изготовления

его деталей, применяют современную технологию постройки при рациональном размещении вооружения и механизмов.

4. Классификация корпусных конструкций по прочности

По мнению иностранных специалистов, прочный корпус подводных лодок необходимо также рассчитывать на усталостную прочность с числом циклов «погружения-всплытия», равным 10 000- 30 000. Концентрация напряжений от гибки и сварки, коррозии, вибрации, растягивающих напряжений при всплытии корабля, когда возникает знакопеременный цикл нагрузки и т. п., может привести к текучести материала прочного корпуса в отдельных узлах, на глубинах, которые значительно меньше предельной. Производится также проверка динамической равнопрочности элементов прочного корпуса подводной лодки или уточнение размеров отдельных корпусных конструкций в случае воздействия на лодку стандартного подводного взрыва.

Отношение расчетной глубины погружения к рабочей в иностранной литературе называется коэффициентом безопасности (аналогично отечественному понятию о запасе прочности).

Основным элементом конструкции подводного корабля является его прочный корпус, представляющий собою соединение круговых цилиндров или конических колец оболочки, называемых обечайками, подкрепленных поперечными ребрами жесткости – шпангоутами. В зарубежном подводном кораблестроении нашли применение также прочные корпуса с поперечными сечениями, имеющими вид овала и вертикальной или горизонтальной «восьмерки» (рис. 49).

Шпангоуты прочного корпуса имеют в сечении вид таврового профиля и поставлены внутри или снаружи корпуса. Наружный набор улучшает условия использования внутренних объемов и выполняет одновременно роль набора легкого корпуса. Для однокорпусных конструкций обычно применяют внутренние, а для двухкорпусных – наружные шпангоуты.

Поперечные водонепроницаемые переборки повышают устойчивость обшивки прочного корпуса и рассчитываются на равные с ним нагрузки. Как правило, применяются плоские поперечные переборки, полотнища которых подкреплены вертикальными стойками, опирающимися на прочный корпус и платформы.

Конструктивное оформление легкого корпуса, оконечностей подводных лодок, надстроек и ограждений выдвижных устройств рассчитывается на волновые нагрузки при плавании на водной поверхности (2,5-5 т/м²) или на взрывную нагрузку, которую принимают исходя из условия обеспечения равнопрочности всех конструкций лодки при подводном взрыве. Надстройки и ограждения выдвижных устройств некоторых атомных лодок ВМС США выполнены усиленными, исходя из возможности всплытия подводной лодки в битом льду или пробивки льда толщиной до 1 м.

5. Безмоментное напряженное состояние

Теория оболочек может быть построена как обобщение теории изгиба пластинок. В основе расчета оболочек лежат гипотезы Кирхгофа-Лява. Ляв произвел обобщение гипотез Кирхгофа на случай расчета оболочек:

1. Любое прямое волокно, нормальное к срединной поверхности до деформации, остаётся прямым и нормальным к срединной поверхности и после деформации; вместе с тем его длина остаётся неизменной;

2. Нормальными напряжениями в направлении, перпендикулярном к срединной поверхности, можно пренебречь по сравнению с основными напряжениями. При этом общая трёхмерная задача теории упругости переходит в двумерную.

При нагружении оболочки возможны различные виды напряженного состояния. В оболочке может возникать только растяжение или сжатие без изгиба стенки (безмоментное состояние); растяжение совместно с изгибом (смешанное состояние) или только изгиб без растяжения (моментное состояние).

Примером безмоментного состояния может служить напряженное состояние, возникающее в сферической оболочке под действием равномерного внутреннего давления.

В качестве примера смешанного напряженного состояния можно указать состояние, возникающее в оболочке при нагружении ее распределенным моментом (рис.7.3). Под действием момента стенка оболочки изгибается, и точки, расположенные около края, получают радиальные смещения, в связи с чем срединная поверхность оболочки растягивается в окружном направлении. При деформации подобного вида стенка оболочки одновременно испытывает изгиб и растяжение.

Безмоментное напряженное состояние и условие равновесия элемента оболочки. В общем случае осесимметричного нагружения в оболочке действуют нормальные усилия N_1 и N_2 , перерезывающее усилие Q , изгибающие моменты M_1 и M_2 (рис. 16.20). На некотором удалении от края и других зон возмущения в оболочке возникает безмоментное напряженное состояние, при котором изгибающими моментами и перерезывающей силой можно пренебречь. Ранее это было показано для цилиндрической оболочки, но такое явление происходит и в других оболочках вращения.

Рассмотрим условие равновесия элемента оболочки при безмоментном напряженном состоянии (рис. 16.21).

По граням элемента действуют (на единицу длины) усилия N_1 и N_2 ; на срединной поверхности распределены нормальные усилия (на единицу площади) q_n . В большинстве практических задач q_n — давление среды в мегапаскалях. Составим проекцию сил,

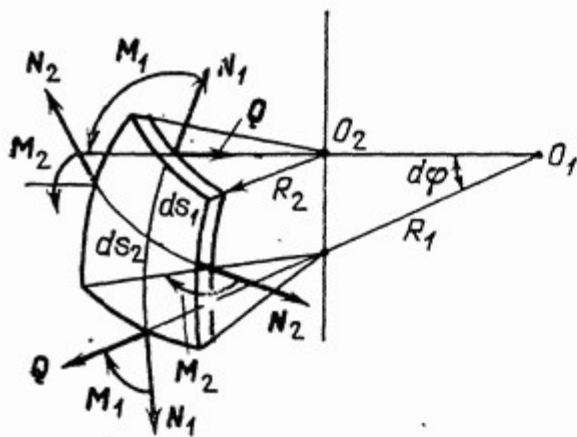


Рис. 16.20. Силовые факторы в сечениях оболочки вращения

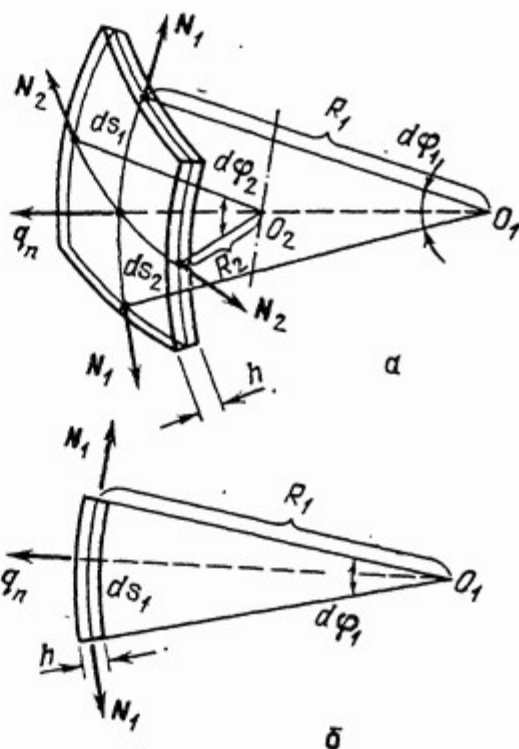


Рис. 16.21. Условие равновесия элемента оболочки при безмоментном напряженном состоянии: *a* — элемент оболочки; *b* — сечение в меридиональной плоскости

приложенных к элементу оболочки, на направление нормали n :

$$q_n ds_1 ds_2 = 2N_1 ds_2 \sin d\varphi_1 + 2N_2 ds_1 \sin d\varphi_2. \quad (130)$$

Так как

$$\sin d\varphi_1 \approx d\varphi_1, \quad \sin d\varphi_2 \approx d\varphi_2 \quad (131)$$

и

$$d\varphi_1 = ds_1/R_1, \quad d\varphi_2 = ds_2/R_2, \quad (132)$$

то из условия (130) находим важное соотношение

$$N_1/R_1 + N_2/R_2 = q_n. \quad (133)$$

Считая нормальные напряжения σ_1 и σ_2 равномерно распределенными по толщине оболочки h , получим $\sigma_1 h = N_1$, $\sigma_2 h = N_2$. Теперь из соотношения (132) следует, что

$$\sigma_1/R_1 + \sigma_2/R_2 = q_n/h. \quad (134)$$

Уравнение (134) часто называют уравнением Лапласа.

Замечания. 1. Уравнение (134) и рис. 16.21 показывают, что при безмоментном напряженном состоянии оболочка противостоит внешнему давлению за счет кривизны элемента.

2. Напряжение σ_1 называется *меридиональным*, напряжение σ_2 — *кольцевым* или *окружным*. При осесимметричной деформации оболочек вращения напряжения σ_1 и σ_2 являются главными. Однако не следует считать, как это часто делается при анализе напряженного состояния, что σ_1 является наибольшим напряжением. Здесь индексы 1 и 2 присваиваются направлениям действия напряжений.

6. Конструктивные варианты оболочек

Прочный корпус состоит из обшивки, набора, переборок. Обшивка в продольном сечении может иметь следующие формы:

1. Лекальная форма обводов (Рис. 6.2) выполняется очень редко, т.к. требуется очень сложная технология.

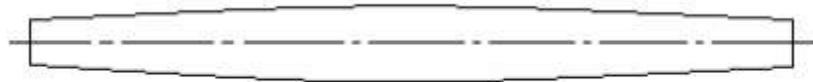


Рис.6.2 Корпус ПЛ с лекальной формой обводов

2. Составная из трех участков, из которых центральный представляет собой круговой цилиндр, а концевые - усеченные круговые конусы с наклонной осью (Рис. 6.3)



Рис.6.3 Корпус ПЛ из трех частей

Часто такая форма корпуса используется для ПЛ штевневой вариант.

3. Составной корпус, состоящий из центрального кругового цилиндра и концевых круговых конусов с прямыми осями



Рис.6.4 Составной корпус из трех частей с прямыми концами.

Переход одного цилиндра к другому может осуществляться с помощью переборки или с помощью плавного перехода коническим коротким участком.

5. Сочетание конических концевых участков с цилиндром и цилиндром с восьмиобразным поперечным сечением.



Рис.6.5 Корпус из обечаяек разного диаметра

Конические и цилиндрические участки состоят из отдельных частей, которые, в свою очередь, собираются из отдельных обечаяек. Обечайка собирается из отдельных листов, которые обычно располагаются поперек прочного корпуса, т.к. в этом случае удобнее изгибать листы (требуется меньшее усилие на гибочных вальцах) и меньше сварных швов в продольных сечениях которые больше нагружены, чем поперечные. В зависимости от диаметра прочного корпуса обечайка имеет 3-4 паза. Толщина обшивки прочного корпуса выбирается в зависимости от прочности материала и глубины погружения. Для сварных ПЛ толщина колеблется от 30 до 80 мм. Обечайки собираются в участок прочного корпуса в пределах одной строительной секции, которая затем обстраивается легким корпусом. В нее устанавливают платформы и

другие конструкции, и такая секция подается на ступенчатую сборку. Обечайки собираются на прихватках. Для сохранения правильной формы устанавливают специальные шайбы. Отдельные обечайки собираются в блок и затем происходит сварка всего блока. Сварка производится на специальном устройстве, позволяющем производить сварку всегда в нижнем положении. Блок из собранных обечаек устанавливается на вращающиеся валики, так что сварочный автомат, установленный на неподвижной балке, производит сварку стыков всегда в нижнем положении. Для сварки пазов блок поворачивается так, чтобы паз лежал на нижней образующей цилиндра. Так как толщина листов прочного корпуса значительна, то разделку кромок делают Х-образную или Y-образную. Монтажные стыки варят вручную таким образом, чтобы избежать 80 потолочных швов. Поэтому верхнюю часть стыкового шва разделяют под сварку снаружи, а нижнюю часть - изнутри.

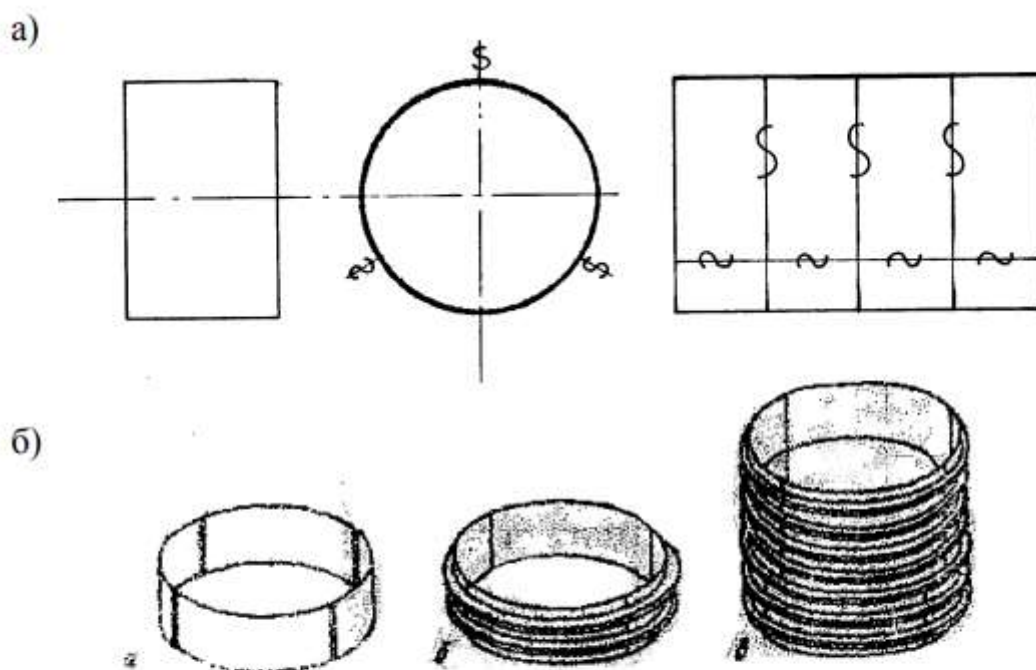


Рис.6.8. Технология изготовления обечаек прочного корпуса
 а - изготовление секции прочного корпуса; б – схема сборки обечаек и секций на сборочной площадке

7. Обеспечение условий прочности

для обеспечения прочности должны выполняться следующие условия:

$$\sigma_{1н.н.} \leq [\sigma_1] = a_1 \cdot \sigma_m$$

$$\sigma_2^0 \leq [\sigma_2] = a_2 \cdot \sigma_m$$

$$\sigma_{шп.} \leq [\sigma_{шп.}] = a_3 \cdot \sigma_m$$

коэффициенты a_1 , a_2 и a_3 мы определяем в начале проектирования

Значения коэффициентов в предельных величинах:

$$a_1 = 0,9 \dots 0,95$$

$$a_2 = 0,75 \dots 0,85$$

$$a_3 = 0,55 \dots 0,65$$

a_1 – коэффициент для сечения обшивки у шпангоутов;

a_2 – коэффициент для сечения в обшивке между шпангоутами;

a_3 – коэффициент напряжений в самих шпангоутах.

так же в начале выбираем предел текучести из ряда 800, 1000 или 1200 МПа

Расчётные напряжения находим по формулам:

$$7) \sigma_{(x=0)_1} = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} (0,5 \mp \varepsilon_3) \text{ МПа}$$

$$\sigma_{(x=0)_2} = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} (1 - \varepsilon_4 \mp \mu \cdot \varepsilon_3) \text{ МПа}$$

$$\sigma_{(x=0,5l)_1} = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} (0,5 \mp \varepsilon_2) \text{ МПа}$$

$$\sigma_{(x=0,5l)_2} = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} (1 - (0,5 - 0,5 \cdot \mu) \cdot \varepsilon_1 \mp \mu \cdot \varepsilon_2) \text{ МПа}$$

8) Цепные напряжения

$$\sigma_2^0 = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} \cdot (1 - \varepsilon_4) \text{ МПа}$$

9) Напряжения в шпангоутах

$$\sigma_{шп} = -\frac{P_{расч} \cdot r}{h} (1 - 0,5 \cdot \mu) \cdot (1 - \varepsilon_1) \text{ МПа}$$

Данные напряжения зависят от главных параметров, заданных для проектирования: радиуса ОК, расчётного давления и толщины оболочки ОК

а так же от коэффициентов эpsilon 1, 2, 3 и 4, которые в свою очередь зависят от значений F 1, 2, 3 и 4, определяемых по графикам Бубного-Папковича

8. Обеспечение условий устойчивости

Основной вид разрушения прочного корпуса – потеря устойчивости оболочки прочного корпуса между шпангоутами переборками.

Для прочного корпуса ПЛ устойчивость оболочки зависит в первую очередь от шпации

Предельная величина шпации, при которой обеспечивается устойчивость конструкции определяется по формуле:

Предельная величина шпации, при которой обеспечивается устойчивость:

$$l_{пред} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot 183 \cdot h^{(2)}}{P_{расч}} \cdot \left(\frac{100 \cdot h^{(2)}}{3} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{E}{E_{ст.}}$$

здесь η_1 и η_2 коэффициенты, определяемые по формулам:

так же предельная шпация, при которой обеспечивается устойчивость, зависит от давления на корпус, толщины ПК и отношения расчётного модуля Юнга от стандартного

так же все проектируемые профили проверяются на устойчивость и в первую очередь по I (моменту инерции)

Удовлетворение критериям прочности по напряжениям не гарантирует ПК от разрушения, так как при проверке условий прочности исходят из того,

что обшивка и шпангоуты ПК при действии расчетной нагрузки сохраняют после деформации свою исходную круговую форму. В действительности оболочка может сохранять свою первоначальную равновесную форму лишь до некоторой, определенной для каждой оболочки, величины внешнего давления и при её превышении теряет устойчивость.

Вследствие потери устойчивости и появления вмятин и выпучин в обшивке и шпангоутах возникают дополнительные напряжения от изгиба, сильно снижающие несущую способность оболочки. Поэтому критерии прочности, являясь необходимыми и обязательными условиями расчета прочности корпуса. ГА, не являются в то же время достаточными условиями, гарантирующими его безопасную работу. В связи с этим появляется необходимость нормировать величину нагрузки, которая может вызвать потерю устойчивости обшивки и шпангоутов ПК.

При оценке устойчивости оболочки ПК следует исходить из следующих соображений:

1. При напряжениях, имеющих место на расчетной глубине, потеря устойчивости обшивки, как свидетельствуют эксперименты, приводит к разрушению прочного корпуса. Таким образом, критическая нагрузка для прочного корпуса является опасной.

- 2 Устойчивость обшивки ПК должна быть обеспечена в пределах каждого отсека между двумя соседними поперечными переборками. Так как в

рассматриваемом случае могут иметь место две формы потери устойчивости обшивки ПК: между ребрами, которые сохраняют круговую форму, и потерю устойчивости вместе с подкрепляющими ребрами, то для обеспечения устойчивости оболочки необходимо, чтобы

- обшивка между шпангоутами при действии расчетного давления сохраняла свою первоначальную круговую равновесную форму;

- круговые шпангоуты, являющиеся опорами для обшивки ПК, сохраняли устойчивость при нагрузке на корпус, отвечающей моменту потери устойчивости обшивки в пролетах между шпангоутами.

3. При проверке условий прочности действительную критическую нагрузку можно, исходя из верхнего критического давления, определять по формуле

$$P_{кр} = \eta_1 \eta_2 P_{кр}^B \quad (1.7)$$

где $P_{кр}^B$ - верхняя критическая нагрузка для рассматриваемой оболочки;

η_1 - поправочный коэффициент, учитывающий влияние на устойчивость начальной погиби и других технологических факторов;

η_2 - поправочный коэффициент, учитывающий влияние напряжений на устойчивость, определяемый как и для изолированных стержней.

В этих условиях критерии устойчивости для оболочки ПК имеют вид:

а) для обшивки между шпангоутами

$$P_{кр}^{обш} \geq P_p \quad (1.8)$$

б) для отсека в целом

$$P_{кр}^{отс} \geq n P_p \quad (1.9)$$

где n - коэффициент запаса на устойчивость. Обычно $n = 1,25 \div 1,3$.

9. Конструкция обшивки основного корпуса.

Прочный корпус подводной лодки состоит из обшивки и набора. Обшивка составляет оболочку прочного корпуса и изготавливается из стальных листов, толщина которых зависит в основном от предельной глубины погружения лодки, диаметра прочного корпуса и механических качеств стали.

В ослабленных местах корпуса (вырезы для рубки, люков и т. п.) для повышения местной прочности толщина обшивки увеличивается. По окружности обшивка состоит из нескольких листов, которые по пазам свариваются встык X-образным швом в обечайки. Обечайки между собой свариваются в секции таким же способом. Для большей продольной прочности пазовые швы обечайек при сварке их в секции располагаются в шахматном порядке (рис. 18).

Набор прочного корпуса является его остовом; он состоит из шпангоутов и служит для обеспечения устойчивости обшивки прочного корпуса, придания ему достаточной жесткости и прочности.

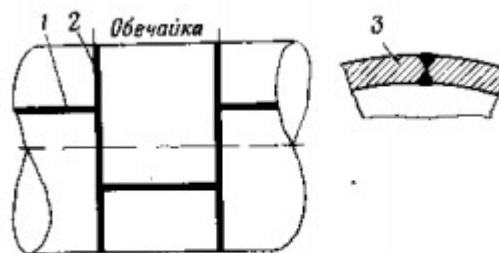


Рис. 18. Узел сварной обшивки прочного корпуса ПЛ:

1 — пазовый шов; 2 — стыковой шов; 3 — поперечное сечение X-образного сварного шва

расстояния между пазами должно быть максимальное при сборке на заводе у секции используются обечайки одинаковых размеров стандартных величин кроме одной обечайки, ширина которой должна быть не менее метра

листы бывают по длине 6, 8 и 10 метров

по ширине 1600, 1800 и 2000 мм

и всегда они подрезаются по ширине и длине на 50 мм

толщина обшивки ОК определяется по формулам в три этапа

по таким формулам:

1) Первое приближение:

$$h^{(1)} = \frac{P_{расч} \cdot r}{a_2 \cdot \sigma_T}$$

2) Второе приближение:

$$h^{(2)} = h^{(1)} \cdot \frac{1 + 0.15\beta}{1 + \beta}$$

третье приближение

$$h^{(3)} = K_2 \cdot \frac{P_{\text{расч}} \cdot r}{a_2 \cdot \sigma_T}$$

в первую очередь толщина обшивки зависит от расчётного давления, от диаметра корпуса, коэффициент a_2 и предела текучести
а затем значение уточняется
листы в обшивке корпуса располагаются поперечно
материал для обшивки обычно используется легированная сталь с пределами текучести 800, 1000 и 1200 МПа и бывает титан
титан не магнитный, более прочный и лёгкий и более коррозионно стойкий

10. Шпангоуты ОК

Шпангоуты прочного корпуса могут быть составными сварными или из специального проката. Поперечное сечение шпангоута может быть тавровым, или тавровым с усиленными полками. В последнее время широко используется симметричный полособульбовый профиль, который в некоторых случаях может быть подкреплен. В некоторых случаях для 85 шпангоутов используются несимметричные полособульбы. Высота шпангоутов колеблется от 200-400 мм, для больших диаметров – до 600 мм. Шпангоуты могут располагаться снаружи или внутри прочного корпуса. Расположение шпангоутов зависит от конструктивного типа лодки. В однокорпусных конструкциях применяют внутреннее расположение шпангоутов, в двухкорпусных - наружное. Однако, в некоторых случаях внутреннее расположение шпангоутов встречается и у двухкорпусных подводных лодок. Оба способа размещения шпангоутов имеют свои преимущества и свои недостатки. При внутреннем расположении шпангоутов имеет место следующие преимущества:

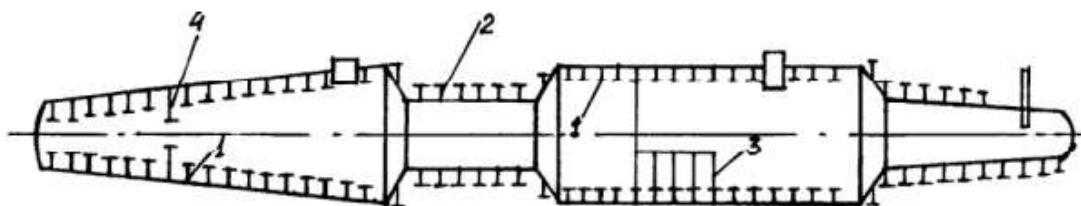


Рис.6.18 Расположение шпангоутов

1-шпангоуты внутри прочного корпуса; 2-шпангоуты снаружи прочного корпуса; 3-шпангоуты в прочной цистерне; 4-рамный шпангоут.

1. Более технологична гибка несимметричных профилей, из которых изготавливаются шпангоуты, т.к. полка находится в сжатой зоне, а бульб профиля обладает достаточной устойчивостью (Рис. 6.19а.). При гибке шпангоутов, расположенных внутри, стенка профиля находится в растянутой зоне и потеря плоской формы изгиба невозможна, т.е. не могут возникать радиальные морщины. Ввиду этого не требуются специальные технологические приспособления для устранения потери устойчивости стенки профиля.

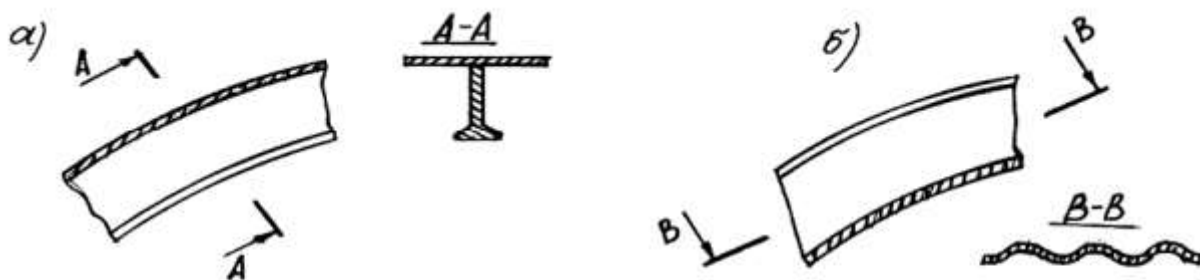


Рис. 6.19 Расположение шпангоутов прочного корпуса относительно обечайки

а) внутри прочно корпуса ;

б) снаружи прочного корпуса

Более высокая взрывостойкость при подводных взрывах. При наружном расположении шпангоута на обшивку действуют значительные давления, которые стремятся оторвать обшивку от шпангоута. Поэтому при наружном расположении

шпангоутов устанавливаются дополнительные подкрепления в виде книц (рис. 6.20) или продольных балок

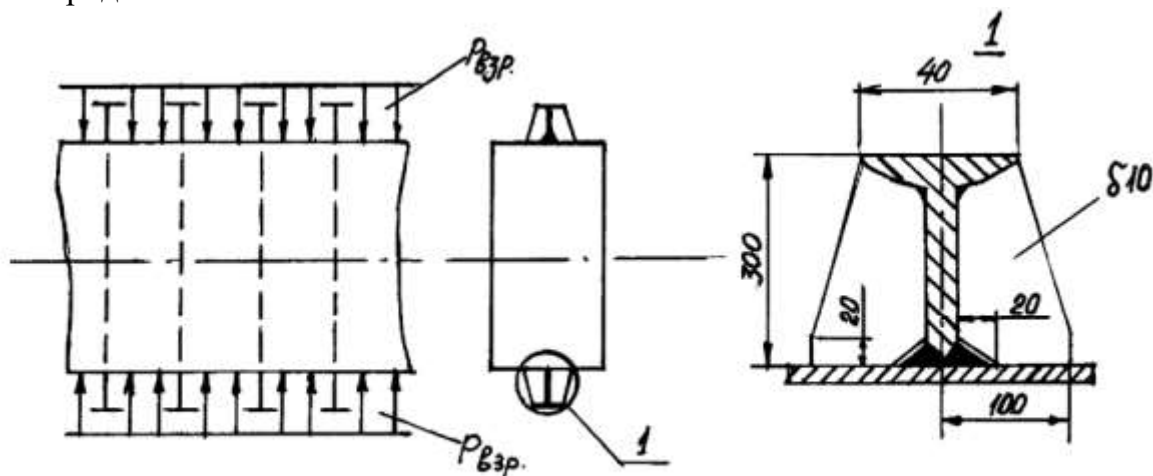


Рис.6.20 Подкрепление наружного шпангоута бракетами

3. Более удобное крепление и установка мелких фундаментов, скоб и др. внутри прочного корпуса. 4. Не подвергаются коррозии в морской воде

К недостаткам внутреннего расположения шпангоутов относится:

1. Потеря некоторой части запаса плавучести, так как при наружном расположении запас плавучести увеличивается за счет объема самих шпангоутов. 2. Потеря некоторой части полезного объема внутри прочного корпуса. 3. Худшие технологические возможности с точки зрения установки крупных фундаментов внутри прочного корпуса (фундаменты под дизели, электродвигатели и др.). Для наружного расположения шпангоутов преимущества и недостатки ясны из предыдущего. Шпангоуты привариваются к прочному корпусу непрерывным двухсторонним швом. Кроме сплошных кольцевых шпангоутов, установленных снаружи или внутри, могут быть и другие варианты: 1. Установка шпангоута снаружи в верхней части корпуса и внутри – в нижней его части (Рис. 6.21). 2. Установка шпангоута на части периметра прочного корпуса в случае установки в данном сечении внутренней переборки или бракет (переборки) прочной цистерны.

11. Напряжения, действующие в элементах ОК

Нагрузкой для прочного корпуса ГА является внешнее равномерное гидростатическое давление, которое зависит от глубины погружения. Расчетную нагрузку, т. е. расчетную глубину погружения для всего ПК определяют, как правило, исходя из заданной предельной глубины погружения ГА.

С учетом наличия дифферента и возможности аварийного провала за предельную глубину, расчетную глубину погружения определяют следующим образом:

$$H_p = 1,4(H_{пр} + \psi X + 0,2L) , \quad (1.1)$$

где H_p и $H_{пр}$ - соответственно расчетная и предельная глубины погружения;

ψ - возможный угол дифферента;

X - отстояние рассматриваемого сечения от миделя;

L - длина ГА.

Иногда расчетную глубину погружения определяют по упрощенной формуле, считая

$$H_p = 1,5H_{пр} \quad (1.2)$$

Соответствующее расчетной глубине погружения, расчетное равномерно распределенное гидростатическое давление, выраженное в МПа, будет равно (H_p берется в м):

$$P_p = 0,01H_p \quad (1.3)$$

В тех случаях, когда известной является рабочая глубина погружения $H_{раб}$, то при определении расчетной нагрузки следует учитывать следующее соотношение между предельной и рабочей глубинами погружения:

$$H_{раб} = (0,7 \div 0,9) H_{пр}$$

12. Расчет элементов корпуса методом приближений

Когда делаешь расчёт элементов с каждым приближением число получается точнее, то есть стоит сделать примерно 3 приближения для более точного результата.

Цель трех приближений – рационализировать конструкцию, минимизировать вес и площадь конструкции. Полученные результаты пропускаем через проверочные расчеты прочности и устойчивости.

Для определения степени прочности конструкции необходимо сравнить значения напряжений в конструкции с допускаемыми.

К тому же при предварительном определении размеров конструктивных элементов оболочки большинство её геометрических параметров неизвестно. Поэтому целесообразно для таких целей использовать последовательные приближения.

В первом приближении пренебрегается влиянием шпангоутов и поперечных переборок на напряженно-деформированное состояние оболочки прочного корпуса, т. е. считается, что обшивка оболочки ГА находится в условиях безмоментного напряженного состояния. Так как при действии всестороннего равномерного давления на круговую цилиндрическую оболочку безмоментное напряженное состояние соответствует случаю бесконечно длинной оболочки, то в рассматриваемом приближении может быть определена только толщина обшивки прочного корпуса. Используя для оценки прочности теорию прочности по наибольшим касательным напряжениям приходим к выводу, что

$$\frac{P_p r}{h} \leq [\sigma_2] = a_2 \sigma_T; \quad (1.10)$$

отсюда находим

$$h^{(1)} = \frac{P_p r}{a_2 \sigma_T} \quad (1.11)$$

Следует заметить, что определяемая по формуле (1.11) толщина обшивки h^1 получается примерно на 20% больше необходимой толщины h .

Во втором приближении учитывается влияние шпангоутов на прочность и устойчивость оболочки ГА, но при этом пренебрегается местным изгибом обшивки у шпангоутов и поперечных переборок. Этим условиям соответствует замена оболочки с ребрами жесткости приближенно эквивалентной ей оболочкой без ребер, когда жесткости каждого шпангоута на изгиб и на растяжение равномерно распределяются по всей ширине пролета, поддерживаемого ребром, и прибавляются к соответствующим жесткостям оболочки в кольцевом направлении.

13. Проверка прочности обшивки

6. Проверка прочности обшивки в ее сечениях у шпангоутов и переборок; должна производиться по приведенным напряжениям, например, по третьей теории прочности (максимальных касательных напряжений). Так как напряжение σ_3 в обшивке оболочки равно нулю, то $\sigma_{зкр}$ будет равняться максимальному из напряжений σ_1 и σ_2 . Расчеты показывают, что в большинстве случаев наибольшим из указанных напряжений является напряжение в поперечном сечении σ_1 (за исключением тех случаев, когда шпангоуты имеют весьма малую относительную площадь).

14. Проверка устойчивости обшивки

Проверка устойчивости обшивки производится по формулам для круговой цилиндрической оболочки, причем для вычисления верхнего критического давления рекомендуется использовать выражение

$$P_{кр}^в = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (2.53)$$

где P_1 - верхнее критическое давление, определенное по формуле для цилиндрической оболочки имеющей радиус $r=R$

P_2 - то же для цилиндрической оболочки с радиусом $r=a$.

15. Проверка устойчивости отсека в целом

2) отсека в целом:

$$(P_{кр}^e)_{отс} = \min \left\{ \frac{1}{n^2 - 1 + \frac{\gamma_1^2}{2}} \cdot \left[\frac{E \cdot h}{r} \cdot \frac{\gamma_1^4}{(\gamma_1^2 + n^2)} + \frac{E \cdot J \cdot (n^2 - 1)^2}{r_{мин}^3 \cdot l} \right], МПа \right\}$$

Значения числа полуволн для отсека выбираются из ряда: $n=2,3..5$.

$$\gamma_1 = \frac{\pi \cdot r}{L}, \quad \gamma_1 = \frac{3,14 \cdot 4,25}{16,15} = 0,826.$$

$$\Delta r = Z_0 = 0,086 \text{ м.}$$

$$r_{мин} = r + \Delta r$$

$$r_{мин} = 4,25 + 0,086 = 4,34 \text{ м.}$$

Прин=2:

$$(P_{кр}^e)_{отс} = \left\{ \frac{1}{2^2 - 1 + \frac{0,826^2}{2}} \cdot \left[\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,04}{4,25} \cdot \frac{0,826^4}{(0,826^2 + 2^2)} + \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 8,48 \cdot 10^{-4} \cdot (2^2 - 1)^2}{4,34^3 \cdot 0,65} \right] \right\}$$

$$(P_{кр}^e)_{отс} = 36,15 \text{ МПа.}$$

Прин=3:

$$(P_{кр}^e)_{отс} = \left\{ \frac{1}{3^2 - 1 + \frac{0,826^2}{2}} \cdot \left[\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,04}{4,25} \cdot \frac{0,826^4}{(0,826^2 + 3^2)} + \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 8,48 \cdot 10^{-4} \cdot (3^2 - 1)^2}{4,34^3 \cdot 0,65} \right] \right\}$$

$$(P_{кр}^e)_{отс} = 39,5 \text{ МПа.}$$

Прин=4:

$$(P_{кр}^e)_{отс} = \left\{ \frac{1}{4^2 - 1 + \frac{0,826^2}{2}} \cdot \left[\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,04}{4,25} \cdot \frac{0,826^4}{(0,826^2 + 4^2)} + \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 8,48 \cdot 10^{-4} \cdot (4^2 - 1)^2}{4,34^3 \cdot 0,65} \right] \right\}$$

$$(P_{кр}^e)_{отс} = 60,5 \text{ МПа.}$$

Значит, минимальное значение $(P_{кр}^e)_{отс} = 36,15 \text{ МПа}$.

$$(\sigma'_{ис})_{исн} = (1 - 0,5 \cdot \mu) \cdot (1 - E_1) \cdot \frac{\eta_1 \cdot ((P_{ис}^d)_{исн} \cdot r)}{h};$$

$$(\sigma'_{ис})_{отс} = (1 - 0,5 \cdot 0,3) \cdot (1 - 0,325) \cdot \frac{0,7 \cdot 36,15 \cdot 4,25}{0,04} = 1543 \text{ МПа};$$

$$\eta_{2исн} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + ((\sigma'_{ис})_{исн} / \sigma_w)^2}} \quad \eta_{2отс} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (1543 / 800)^2}} = 0,496$$

$$P_{ис-исн} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot P_{дд-дд};$$

$$P_{кр-отс} = 0,7 \cdot 0,496 \cdot 36,15 = 12,57 \text{ МПа}$$

$$P_{кр-отс} = 12,57 \text{ МПа} \geq P_f \cdot 1,3 = 9,75 \text{ МПа}$$

Таким образом, выполняется условие устойчивости:

16. Выбор элементов шпангоута, оценка жесткостных характеристик

При проектировании связей корпуса приходится часть решать задачи подбора катаных профилей. Рациональным сечением балки будет такое, которой при выполнении необходимых условий прочности и устойчивости обладает наименьшим весом. При подборе профилей работающих на изгиб определяющими факторами являются наименьший момент сопротивления и площадь стенки, воспринимающая касательные напряжения. Если балка выбирается из условия устойчивости, то определяющим будет значение момента инерции поперечного сечения.

У балок судового корпуса сечение состоит из собственно профиля и присоединенного пояска обшивки, эффективная ширина которого вычисляется на основании известных решений плоской задачи теории упругости.

Исходной информацией для подбора профиля, таким образом, являются, значение момента инерции или наименьший момент сопротивления, размеры присоединенного пояска.

Отстояние нейтральной оси сечения от оси сравнения

$$Z_0 = \frac{e}{a}$$

Центральный момент инерции определяется как

$$J = C - AZ_0^2$$

и момент сопротивления на уровне свободного пояска равен

$$W = \frac{J}{H - Z_0}$$

где **H** - высота профиля.

Разработанная программа подбора профиля состоит из головного модуля и четырех подпрограмм. Каждая подпрограмма представляет собой банк данных по одному из следующих типов профилей: тавр из низколегированных сталей, тавр из высокопрочных сталей; симметричный полособульб и несимметричный полособульб (см. стр. 62).

С помощью головного модуля осуществляется запрос значений момента инерции или момента сопротивления и размеров присоединенного пояска. Осуществляя последовательную передачу этой информации из одной подпрограммы в другую и получая результат из каждой подпрограмм, головной модуль на терминал дает информацию о соответствующих номерах профилей с указанием номера стандарта. В подпрограммах кроме хранения информации осуществляется расчеты моментов инерции, моментов сопротивления и сравниваются со значениями, переданными из головного модуля.

17. Погружение ГА и ПЛ

Погружением подводной лодки называется переход ее из надводного положения в подводное или изменение глубины погружения с меньшей на большую.

Переход подводной лодки из надводного положения в подводное производится заполнением цистерн главного балласта, а изменение глубины погружения с меньшей на большую, как правило, ходом и горизонтальными рулями.

Погружение подводной лодки в два этапа принято называть обычным погружением. Оно производится:

- при вывеске;
- при дифферентовке в районах, стесненных для маневрирования в подводном положении;
- с учебными целями, а также по усмотрению командира подводной лодки.

При обычном погружении заполняются сначала концевые цистерны главного балласта, затем средней группы при незаполненной цистерне быстрого погружения.

Перед погружением на подводной лодке осушаются трюмы, вентилируются отсеки и аккумуляторная батарея, готовится к погружению мостик, а при подходе к точке погружения стопорится ход и продувается цистерна быстрого погружения. Погружение предваряется командой командира пл «Все вниз. По местам стоять, к погружению». Личный состав занимает места согласно расписанию по погружению, закрывает забортные отверстия и готовит системы пл для плавания под водой. Главный командный пункт переводится с мостика в центральный пост или в боевую рубку. Наблюдение за горизонтом ведется через перископ и с помощью радиотехнических средств. Затем заполняются цистерны главного балласта носовой и кормовой (концевых) групп, причем вентиляция кормовой группы открывается на 1—2 секунды раньше носовой, и подводная лодка переходит в позиционное положение.

В позиционном положении проверяется заполнение водой осушительной магистрали и незаряженных торпедных аппаратов, осматриваются отсеки для установления качества герметизации прочного корпуса. Крен и дифферент подводной лодки приводятся к нулю.

После выполнения перечисленных действий заполняются цистерны главного балласта средней группы. Клапаны вентиляции этих цистерн закрываются на глубине 5—7 м. Если подводная лодка с началом заполнения средней группы начнет быстро погружаться, следует немедленно закрыть клапаны вентиляции цистерн средней группы, продуть «среднюю», пустить насос на откачивание воды из уравнительной цистерны за борт и всплыть в позиционное положение, после чего установить и устранить причину провала подводной лодки. Лишь после этого повторить погружение. Если с заполнением средней группы подводная лодка не погружается, она считается «легкой». В этом случае погашение положительной плавучести производится приемом воды из-за борта в уравнительную цистерну. С

приходом подводной лодки на глубину не более перископной закрываются клапаны вентиляции всех цистерн главного балласта.

Виды погружений:

Обычное погружение без хода

Обычное погружение на ходу

Срочное погружение

Погружение на предельную глубину

18. Всплытие ГА и ПЛ

Процесс перехода ПЛ из подводного положения в надводное или перемещение её в вертикальной плоскости с большей глубины на меньшую. В. ПЛ в надводное положение, как правило, осуществляется в 4 этапа. Первый - всплытие на безопасную глубину, второй - всплытие на перископную глубину, третий - всплытие в позиционное положение (см. Позиционное положение ПЛ), четвёртый - переход в крейсерское положение (см. Крейсерское положение ПЛ). В аварийной ситуации осуществляется аварийное всплытие в надводное положение.

19. ЦГБ, прочность и расположение

Главным элементом являются *цистерны главного балласта* (ЦГБ). Их заполнением погашается основной [запас плавучести](#) ПЛ, и обеспечивается нормальное погружение. По длине лодки цистерны разделены [переборками](#). Обычно к каждому [отсеку прочного корпуса](#) прилегают побортно две ЦГБ. Имеются также ЦГБ в оконечностях [легкого корпуса](#). Чтобы лучше контролировать погружение, ЦГБ разбиты на *группы: носовую, кормовую и среднюю*, которые можно заполнять или продувать независимо или одновременно. Допускается и индивидуальное заполнение или продувание цистерн.

В верхней части ЦГБ находятся [клапаны вентиляции](#) (КВ), а в верхнем [стрингере аварийные захлопки](#) (АЗ). В нижней части — [кингстоны](#), или, для бескингстонных ПЛ — [шпигаты](#). Совместным открытием и закрытием их достигается выпуск воздуха из цистерн или его удержание при погружении (всплытии).

Как правило, [балласт](#) ПЛ рассчитывается так, чтобы с заполненными концевыми группами лодка плавала «под [рубку](#)» — над водой только [ограждение рубки](#). Такое положение называется позиционным. При нормальном (не срочном) погружении сначала заполняются *концевые группы*, проверяется герметичность [корпуса](#) и [посадка](#), затем заполняется *средняя группа*. При нормальном всплытии средняя группа продувается первой.

20. Цистерны вспомогательного балласта, прочность и расположение

Цистерны вспомогательного балласта

Уравнительная цистерна

На практике лодка имеет [остаточную плавучесть](#), то есть существует разница между объёмом ЦГБ и объёмом воды, которую нужно принять для полного погружения. Эта разница компенсируется с помощью цистерн вспомогательного балласта. Приём или откачка воды в *уравнительную цистерну* погашает остаточную плавучесть. Но любой приём балласта сопровождается его смещением. Лодка под водой очень чувствительна, особенно к продольным смещениям. Достаточно переместить из носа в корму сотню килограмм, чтобы сбить [дифферент](#). Известны случаи, когда переходом экипажа из отсека в отсек лодку удерживали от самопроизвольного всплытия при торпедной атаке.^[3] Не случайно также, что [Корабельный устав](#) предусматривает измерение количества воды при дифферентовке как в тоннах, так и в литрах.^[4]

Дифферентные цистерны

Для компенсации продольного смещения грузов имеются *дифферентные цистерны* — носовая и кормовая. Основным способом перекачки вспомогательного балласта между дифферентными цистернами является *передувание* с помощью сжатого воздуха, так как этот способ быстрее. Возможна также перекачка с помощью помп. Приём / откачка вспомогательного балласта и его перекачка с целью добиться равновесия погруженной ПЛ на [ровном киле](#) называется *дифферентовкой*.

Лодка считается нормально удифферентованной, если в подводном положении плавает на ровный киль, и для поддержания глубины и дифферента на ходу достаточно небольших перекладок рулей. На практике, считается, что лодка должна идти с дифферентом 0,5-1,5 градуса на нос.

Цистерны вспомогательного балласта находятся внутри прочного корпуса. Уравнительная — вблизи центра тяжести, дифферентные — в оконечностях. Уравнительная цистерна выполняется прочной, дифферентные могут быть лёгкими.^[1]

Цистерна быстрого погружения

Когда требуется срочное погружение и заполнение даже всех ЦГБ сразу оказывается слишком медленным, используют *цистерну быстрого погружения* (ЦБП, иногда называется цистерной срочного погружения). Её объём не входит в расчётный запас плавучести, то есть, приняв в неё балласт, лодка становится тяжелее окружающей воды, что помогает «провалиться» на глубину. После этого, разумеется, цистерна быстрого погружения немедленно продувается. Она находится в прочном корпусе и выполняется прочной^[1] либо равнопрочной и располагается в межбортном пространстве. Также у неё имеется особенность: клапаны вентиляции и кингстоны ЦБП гидравлические.

21. Обеспечение плавучести в надводном и подводном положении

Надводная плавучесть

Надводная плавучесть ПЛ, аналогично плавучести надводного корабля, характеризуется запасом плавучести. То есть, отношением водонепроницаемых объемов выше ватерлинии (ВЛ), ко всему водонепроницаемому объёму, и выражается в процентах.

Например, если общий объём ПЛ — 3000 м³, а надводной части — 600 м³, то запас плавучести:

$$W = 600/3000 * 100 = 20\%$$

То же отношение можно выразить в водоизмещениях. Для данного примера в дистиллированной воде (1 м³ = 1 т) водоизмещение будет

$$D_n = 3000 - 600 = 2400 \text{ т,}$$

а водоизмещение её полного объёма $D_{\text{п}} = 3000$ т. Тогда

$$W = (D_{\text{п}} - D_n) / D_{\text{п}} * 100$$

Подводная плавучесть

Подводная плавучесть принципиально отличается от надводной. Чтобы полностью погрузить лодку в воду, нужно довести её вес до веса воды, вытесняемой её полным объёмом. Иначе говоря, погасить запас плавучести до 0 % приёмом дополнительного груза (балласта), на практике — забортной воды. С точки зрения физики можно также считать, что лодка уменьшает свой объём, впуская окружающее море внутрь корпуса. В теории ПЛ принят первый подход — балластная вода считается собственностью лодки, то есть грузом. И говорят, что надводное водоизмещение меньше подводного. В нашем примере — 2400/3000 т. Как видим, запас плавучести можно выразить отношением надводного и подводного водоизмещений.

Однако, если принять больше груза, чем весит полностью погруженная ПЛ (создать отрицательную плавучесть), она будет не плавать в подводном положении, а тонуть — продолжать погружаться, пока не достигнет грунта или не разрушится. Поэтому жизненно важно, чтобы теоретическая подводная плавучесть была именно нейтральна — 0 %. Для надводного корабля это пограничное состояние приравнивается к потере плавучести, для ПЛ оно — повседневная норма.

На плавучесть, очевидно, влияют вес погруженного тела и плотность воды.

Поскольку на практике ни то, ни другое не остается постоянным (лодка имеет остаточную плавучесть), поддержание нейтральной плавучести ПЛ под водой требует коррекций. Они производятся откачкой / приемом балласта, что называется вывеской ПЛ, или стабилизацией глубины.

На практике прием балласта требует затрат времени и энергии. Поэтому золотое правило надводного корабля: «чем больше запас, тем лучше» противоречит техническим требованиям. Конструктивный запас плавучести стараются ограничивать. Обычно он составляет у ПЛ 8–30 % (в зависимости от проекта), по сравнению с 50–60 % и более у надводных кораблей. Меньший запас противоречит требованиям непотопляемости, больший — скорости погружения / всплытия и ограничению по конструктивным размерам.

22. Общее расположение. Торпедный отсек

Размещение на подводной лодке торпедных аппаратов должно быть согласовано с размещением основных гидроакустических систем.

На большинстве атомных подводных лодок торпедное оружие располагают только в носовой оконечности. Применение -НОВЫХ форм обводов корпуса заставило отказаться от традиционного размещения носовых торпедных аппаратов в двух вертикальных плоскостях. На торпедных лодках типа «Скипджек», например, аппараты установлены в носовой оконечности по три в двух горизонтальных рядах. Такое расположение значительно улучшило условия размещения гидроакустической аппаратуры.

Рост габаритов гидроакустических приборов и повышение требований к снижению уровня гидродинамических помех в местах их установки вынудили конструкторов по-новому разместить торпедное оружие. Так, на подводной лодке «Таллиби» торпедные аппараты расположены побортно под углом 10° к ДП на расстоянии 9 м от носовой оконечности. Так же размещено торпедное оружие подводных лодок типа «Трешер».

Длина торпедного отсека определяется суммарной длиной казенной части торпедного аппарата, запасной торпеды и зазоров для открывания задней крышки аппарата и размещения устройства перезарядки торпедных аппаратов. На американских атомных подводных лодках длина торпедного отсека составляет 10—11 м, а диаметр определяется количеством запасных торпед.

23. Общее расположение. Аккумуляторный отсек

Первый отсек - торпедно-аккумуляторный, разделен двумя палубами.

На верхней палубе размещаются казенные части торпедных аппаратов и стеллажи для запасных торпед. Здесь же находится местный пост управления торпедной стрельбой и размещены приборы автоматического управления торпедными аппаратами, а также гидроприводы судовых устройств, расположенных в носовой части надстройки.

Под герметичным настилом помещаются аккумуляторные ямы (рис.2.4), в которых располагается носовая группа аккумуляторов (140 - 220 штук). К бортам от аккумуляторных ям и под ними расположены топливные и масляные цистерны.

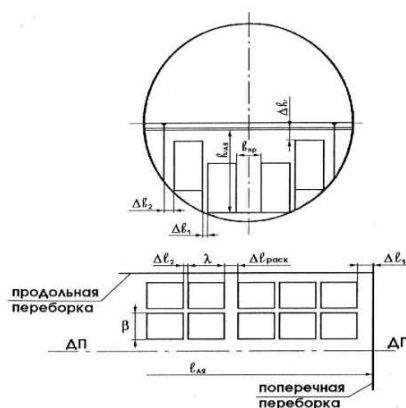


Рис. 2.6. Условная схема расположения элементов АБ в аккумуляторной яме при их обслуживании из проходов.

Аккумуляторные ямы и выгородки

Для размещения аккумуляторной батареи, а также отдельных механизмов и устройств в трюмах или нижних ярусах ПЛ делаются специальные герметичные или открытые помещения. К наиболее крупным, специально оборудованным помещениям на дизельных подводных

лодках относятся аккумуляторные ямы, предназначенные для размещения в них аккумуляторной батареи.

Аккумуляторная яма представляет собой герметически закрытое помещение сварной конструкции, верхний настил которого служит палубой отсечных помещений. Число аккумуляторных ям обычно выбирается равным числу групп аккумуляторной батареи.

В целях лучшей живучести аккумуляторной батареи ямы обычно располагаются в двух несмежных отсеках. Для средних подводных лодок, имеющих более двух групп аккумуляторной батареи, ямы размещаются в два яруса.

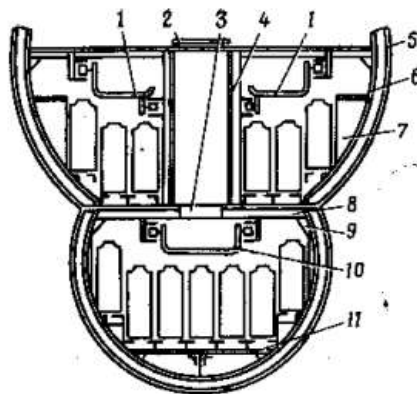


Рис. 15. Аккумуляторная яма:

Устройство ямы показано на рис. 15. Обшивка ямы 6 состоит из бортовых стен и днища, выполненных

1 — тележки верхнего яруса; 2 — верхний люк; 3 — нижний люк; 4 — лаз; 5 — обшивка прочного корпуса; 6 — обшивка ямы; 7 — бортовая выгородка; 8 — бимс; 9 — кница; 10 — тележка нижнего яруса; 11 — днище ямы

из листовой стали толщиной 3—4 мм; в качестве набора служат бимсы 8 и стойки, выполненные из профильной стали. Для придания стенкам ямы требуемой жесткости и прочности в отдельных местах по днищу и настилу они подкреплены кницами 9. Помещение ямы может иметь прямоугольное или ступенчатое поперечное сечение. В последнем случае габариты аккумуляторной ямы по длине несколько меньше за счет компактного размещения аккумуляторов и наилучшего использования цилиндрической формы отсека.

Между бортовыми стенками, днищем аккумуляторной ямы и прочным корпусом лодки образуются свободные пространства или так называемые бортовые выгородки 7. Они используются для размещения в них цистерн, а также отдельных механизмов, устройств или систем. Например, в герметичных выгородках аккумуляторных отсеков размещают цистерны для топлива, а в открытых — бал-

лоны для хранения запасов воздуха высокого давления. Подобные выгородки на лодке образуются и в неаккумуляторных отсеках.

24. Общее расположение. Центральный пост

Второй отсек – центральный пост. В центральном посту размещаются основные посты, обеспечивающие маневрирование и боевую деятельность ПЛ.

Характерная особенность этого отсека заключается в наличии входящих в него через прочный корпус выдвижных устройств, наружные части которых находятся в ограждении.

На верхнем настиле этого отсека в непосредственной близости от ходового мостика располагается главный командный пост (ГКП), представляющий собой совокупность размещенных в нем пультов управления боевыми и техническими средствами, скомпонованных в группы (посты) по функциональному принципу.

В отсеке расположены:

1. Боевой командный пост (рис.2.5,2.7).
2. Пост погружения, с которого производится централизованное управление приводами вентиляции и кингстонов балластных цистерн.
3. Пост всплытия, с которого производится централизованное управление продувание цистернами главного балласта (ЦГБ).
4. Пост дифферентовки, с которого производится перекачка воды из носовой цистерны в кормовую или наоборот.
5. Пост управления ходом, с которого производится управление перекладкой вертикального руля кормовыми и носовыми горизонтальными рулями.

§ 14. ПРОЧНАЯ (БОЕВАЯ) РУБКА

Прочная (боевая) рубка является одним из составных элементов прочного корпуса ПЛ и служит главным командным пунктом (ГКП) подводной лодки в подводном положении. Она располагается на прочном корпусе над центральным постом. Рубка позволяет увеличить перископную глубину погружения ПЛ за счет выноса в нее поста наблюдения в перископы из центрального поста, а также поднять ходовой мостик над палубой надстройки и увеличить горизонт визуального наблюдения в крейсерском и позиционном положении.

Рубка является также жесткой основой для размещения в ней и вблизи нее выдвижных устройств со значительной высотой выноса их над уровнем палубы. Кро-

ме ГКП в рубке может располагаться пост управления вертикальным рулем, оборудованный репитером гирокомпаса и рулевым указателем.

Размеры рубки должны быть достаточными для размещения в ней необходимых для ГКП механизмов, устройств и приборов. Рубка должна быть равнопрочной прочному корпусу ПЛ. Форма рубки должна обеспечивать хорошую обтекаемость ограждения рубки, в связи с чем ее ширина должна быть минимальной.

На подводных лодках приняты два типа боевых рубок: в виде кругового или овального цилиндра с вертикальной осью и в виде кругового цилиндра с горизонтальной осью. Рубки делаются сварными и чаще всего имеют овальную форму с вертикальным расположением оси относительно оси прочного корпуса (рис. 22).

Стенки рубки выполняются из стальных листов. В носовой и кормовой оконечностях и по бортам стенки подкрепляются ребрами жесткости. Крыша рубки 4 обычно имеет сферическую форму и делается штампованной или литой. К стенкам рубки крыша приваривается встык. Рубка в собранном виде своим основанием приваривается к обшивке прочного корпуса 1 подводной лодки.

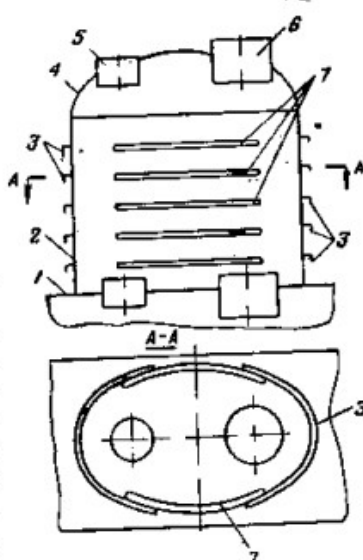


Рис. 22. Прочная (боевая) рубка:

1 — обшивка прочного корпуса; 2 — обшивка рубки; 3 — внешние ребра жесткости; 4 — крыша рубки; 5 — корпус сальника перископа; 6 — входной рубочный люк; 7 — внутренние ребра жесткости (шпангоуты)

Ограждение рубки

Ограждение рубки сварной конструкции имеет обтекаемую форму и располагается над рубкой и вокруг нее. В ограждении над крышей рубки размещается ходовой мостик, на котором располагается главный командный пункт, оборудованный всем необходимым для несения вахтенной службы при плавании лодки в надводном положении.

В ограждении рубки размещаются: шахты общесудовой и батарейной вентиляции, шахта подачи воздуха к дизелям, выдвижные устройства РДП, перископов, антенн и мачт, надводный галюнь, фонари ходовых огней, навигационное и штурманское оборудование, приборы (стационарные и выносные) и др. Носовая часть мостика сверху закрыта козырьком для защиты личного состава верхней вахты от воды, заливающей мостик в штормовую погоду. Под козырьком впереди ограждения рубки устанавливается волно- и ветроотбойник. Настил мостика покрывается деревянным обрешетником.

Набор ограждения рубки состоит из сварных рамных или бракетных шпангоутов, бимсов и книц, обшивка делается из листовой стали толщиной до 3 мм.

26. Общее расположение. Ракетный отсек

Размещение вооружения оказывает большое влияние на боеспособность корабля. Появление нового оружия потребовало от зарубежных кораблестроителей новых конструктивных решений, связанных с размещением крылатых и баллистических ракет на подводной лодке.

Крылатые ракеты сравнительно больших габаритов размещают в водонепроницаемых контейнерах, которые можно расположить или на палубе лодки непосредственно за ограждением прочной рубки, или в районе надстройки, или в носовой оконечности, при этом они вписываются в обводы легкого корпуса (рис. 15,а,г). Последний вариант размещения принят на атомной подводной лодке «Хэлибат».

Стартовые шахты баллистических ракет врезаются вертикально в прочный корпус в средней части подводной лодки (рис.- 15, ж). Верхние концы шахт с крышками и механизмами для их открывания прикрываются невысокой надстройкой. При размещении на лодке стартовых шахт, длина которых значительно больше диаметра прочного корпуса, приходится увеличивать высоту надстройки (рис. 15, е) или размеры ограждения выдвижных устройств (рис. 15, а).

Габариты ракетного отсека определяются: диаметр — длиной и диаметром стартовых шахт, а также их расположением на лодке (в один или два параллельных ряда); длина — количеством в одном ряду, диаметром и шагом установки шахт. Последний связан с условиями обслуживания стартовых установок и способом подкрепления отверстий для прохода шахт в прочном корпусе подводной лодки.

Размещение на подводной лодке торпедных аппаратов должно быть согласовано с размещением основных гидроакустических систем.

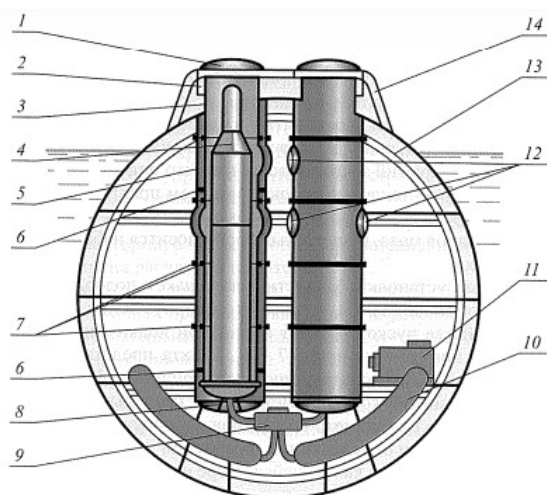


Рис. 5.7. Примерная схема устройства пусковой шахты ПЛ типа «Джордже Вашингтон»

- 1 — прочная крышка шахты; 2 — механизм открывания крышки; 3 — внутренний цилиндр шахты; 4 — ракета; 5 — наружный цилиндр шахты; 6 — амортизаторы; 7 — фланцевые соединения секций цилиндров шахты; 8 — центрирующее устройство и осевая опора внутреннего цилиндра шахты; 9 — распределительная коробка системы ВВД; 10 — баллоны сжатого воздуха для пуска ракеты; 11 — электрокомпрессор пуска ракет; 12 — смотровые горловины; 13 — прочный корпус ПЛ; 14 — легкая надстройка

27. Общее расположение. Энергетические отсеки

Энергетическая установка дизель-электрической подводной лодки располагается следующим образом: главные двигатели надводного хода (дизели) — в дизельном отсеке; главные двигатели подводного хода (главные гребные электродвигатели) — в электромоторном отсеке; валопроводы с подшипниками и разобщительными муфтами — в кормовых отсеках, а также в легком корпусе.

Проработка общего расположения атомной подводной лодки начинается обычно с размещения энергетической установки в отсеках прочного корпуса, так как максимальный диаметр последнего определяется габаритами ее оборудования.

Во-первых, все оборудование энергетической установки komponуется в нескольких специализированных отсеках прочного корпуса: реакторном (в нем размещено оборудование паропро-изводящей установки), турбинном (главный турбозубчатый агрегат и обслуживающие его механизмы) и вспомогательных механизмов (турбогенераторы, аварийный дизель-генератор и т. п.). Два последних отсека могут быть объединены в один, что характерно для первых американских атомных подводных лодок.

Во-вторых, при установке на лодке нескольких атомных реакторов, каждый из них размещают в своем отсеке (например, на подводной лодке «Тритон» или на подводных танкерах американского и шведского проектов), что объясняется, вероятно, стремлением повысить живучесть энергетической установки при авариях, связанных с повышением радиоактивности в одном из реакторных отсеков. Турбозубчатые агрегаты на большинстве двухвальных подводных лодок расположены в одном турбинном отсеке и лишь на лодках с обеспеченной надводной непотопляемостью (как, например, на подводной лодке «Тритон») размещены в двух отсеках. Более мелкое подразделение отсеков энергетической установки ограничивается габаритами турбозубчатых агрегатов, турбогенераторов и другого крупногабаритного оборудования.

В-третьих, реакторный отсек энергетической установки, в котором размещено наиболее тяжелое оборудование, располагают по возможности ближе к центру тяжести подводной лодки, так как при этом наиболее просто решить вопросы ее удифферентовки в подводном и надводном положениях.

Наконец, в-четвертых, под оборудование энергетической установки отводят кормовые отсеки подводной лодки, что позволяет до минимума сократить длину валопроводов и снизить вес биологической защиты за счет уменьшения толщины экранов на кормовой переборке реакторного отсека (если в кормовой части лодки отсутствуют жилые помещения команды).

28. Первое приближение

1.3 Определение элементов прочного корпуса в первом приближении.

Для обеспечения прочности и устойчивости судовые цилиндрические оболочки подкрепляются достаточно часто стоячими поперечными ребрами жесткости (шпангоутами). Расчет подобных оболочек - задача весьма громоздкая. К тому же при предварительном определении размеров конструктивных элементов оболочки большинство её геометрических параметров неизвестно. Поэтому целесообразно для таких целей использовать последовательные приближения.

В первом приближении пренебрегается влиянием шпангоутов и поперечных переборок на напряженно-деформированное состояние оболочки прочного корпуса, т. е. считается, что обшивка оболочки ГА находится в условиях безмоментного напряженного состояния. Так как при действии всестороннего равномерного давления на круговую цилиндрическую оболочку безмоментное напряженное состояние соответствует случаю бесконечно длинной оболочки, то в рассматриваемом приближении может быть определена только толщина обшивки прочного корпуса. Используя для оценки прочности теорию прочности по наибольшим касательным напряжениям приходим к выводу, что

$$\frac{P_r r}{h} \leq [\sigma_2] = a_2 \sigma_T; \quad (1.10)$$

отсюда находим

$$h^{(1)} = \frac{P_r r}{a_2 \sigma_T} \quad (1.11)$$

Следует заметить, что определяемая по формуле (1.11) толщина обшивки h^1 получается примерно на 20% больше необходимой толщины h .

29. Второе приближение

Во втором приближении учитывается влияние шпангоутов на прочность и устойчивость оболочки ГА, но при этом пренебрегается местным изгибом обшивки у шпангоутов и поперечных переборок. Этим условиям соответствует замена оболочки с ребрами жесткости приближенно эквивалентной ей оболочкой без ребер, когда жесткости каждого шпангоута на изгиб и на растяжение равномерно распределяются по всей ширине пролета, поддерживаемого ребром, и прибавляются к соответствующим жесткостям оболочки в кольцевом направлении.

Как известно, шпангоуты прочного корпуса выполняют ряд важных функций в обеспечении прочности и надежности ГА. Одной из таких функций является обеспечение достаточной прочности корпуса при действии на него различного рода случайных нагрузок.

При указанных выше условиях напряжения в шпангоутах от расчетной нагрузки могут быть вычислены по формуле

$$\sigma_{\text{шп}} = \frac{0,85P_r}{h(1 + \beta)} \quad , \quad (1.12)$$

где

$$\beta = \frac{F}{\ell \cdot h} \quad (1.13)$$

Здесь F представляет собой площадь сечения шпангоута, а ℓh - площадь сечения пояска обшивки. Заметим, что формула (1.12) дает завышенные по сравнению с действительными напряжения.

Параметр β , характеризующий относительную площадь шпангоута, можно определить по напряжениям в шпангоуте с использованием условия прочности (1.6) и формулы (1.12)

$$\beta = \frac{0,85a_2}{a_3} - 1 \quad . \quad (1.13a)$$

Полученное значение β полезно сопоставить со средними значениями этого параметра для современных ГА: $\beta = 0,3 \div 0,5$

1.4.2 Определение толщины обшивки.

В рассматриваемом случае, когда жесткостные характеристики шпангоутов распределены в пределах прилегающих шпации, напряжения в продольных сечениях оболочки определяются зависимостью

$$\sigma_2 = \frac{1 + 0,15\beta}{1 + \beta} \cdot \frac{P_r}{h} \quad . \quad (1.14)$$

Отсюда приходим к следующей формуле для вычисления толщины обшивки

$$h^{(2)} = \frac{1 + 0,15 \beta}{1 + \beta} \cdot \frac{P_p r}{[\sigma_2]} = \frac{1 + 0,15 \beta}{1 + \beta} \cdot \frac{P_p r}{a_2 \sigma_T} \quad (1.15)$$

1.4.3 Определение расстояния между шпангоутами.

Устойчивость круговой цилиндрической оболочки при действии внешнего давления весьма существенно зависит от её длины. Поэтому для повышения устойчивости оболочки прочного корпуса ГА промежутки между поперечными переборками разбирается на ряд коротких оболочек путем установки кольцевых ребер жесткости. Расстояние между соседними шпангоутами определяется из условия, чтобы устойчивость обшивки соответствовала бы заданной критической нагрузке. При использовании для определения верхней критической нагрузки формулы Саутвелла-Папковича предельная шпация может быть найдена из следующего соотношения

$$l_{\text{пред}} \leq \frac{\eta_1 \eta_2 \cdot 183h}{P_p} \cdot \left(\frac{100h}{r} \right)^{3/2} \frac{E}{E_{\text{ст}}}, \quad (1.16)$$

где $\eta_1 = 0,7$ - коэффициент, учитывающий влияние геометрических и технологических факторов на устойчивость оболочки.

Коэффициент η_2 , учитывающий влияние уровня напряжений на устойчивость, определяется по формуле

$$\eta_2 = \frac{\sigma_{\text{кр}} : \sigma_T}{\sigma'_{\text{кр}} : \sigma_T} \quad (1.17)$$

в которой $\sigma_{\text{кр}} = [\sigma_2]$, а $\sigma'_{\text{кр}}$ может быть найдено при известном $\sigma_{\text{кр}}$ либо из графика рис. 1.1, либо вычислено с помощью выражения (с учетом, что $\sigma_{\text{кр}} = a_2 \cdot \sigma_T$):

$$\frac{\sigma_{\text{кр}}}{\sigma_T} = \frac{\sigma_{\text{кр}} : \sigma_T}{\sqrt[3]{1,0 - (\sigma_{\text{кр}} : \sigma_T)^3}} = \frac{a_2}{\sqrt[3]{1,0 - (a_2)^3}} \quad (1.18)$$

В этом случае для определения коэффициента η_2 получим зависимость

$$\eta_2 = \sqrt[3]{1,0 - a_2^3} \quad (1.19)$$

При критических напряжениях весьма близких к σ_T , т. е. $\sigma_{кр} = (1 \pm 0,01) \cdot \sigma_T$, коэффициент η_2 следует брать равным одной третьей ($\eta_2 = 0,33$).

Отметим, что расстояние между шпангоутами, как это следует из формулы (1.16), существенно зависит от марки выбранного материала.

Поэтому, если шпация получается нетехнологичной, т. е. слишком маленькой или слишком большой (для большинства $GA = 50 \div 100$ см), то это свидетельствует, что при заданных габаритных размерах отсека прочного корпуса и глубине погружения неудачно выбрана марка материала и при возможности её следует заменить.

Очевидно, что это замечание справедливо и в отношении выбираемой толщины обшивки прочного корпуса.

1.4.4 Определение геометрических характеристик профиля шпангоута.

Шпангоуты, являясь опорами для обшивки, должны иметь достаточную жесткость, чтобы сохранить свою круговую форму при нагрузке, соответствующей моменту потери устойчивости обшивки между шпангоутами, т. е. при нагрузке P_p . Считая оболочку в пределах отсека достаточно длинной, момент инерции шпангоута вместе с примыкающим к нему присоединенным пояском может быть определен из условия устойчивости шпангоута как изолированного кольца по формуле

$$J = \frac{P_p r^3 \ell}{2E} \quad , \quad (1.20)$$

где ℓ - размер шпации, определенный в п. 1.3.3. Площадь шпангоута без присоединенного пояска F связана с моментом инерции J зависимостью

$$F = C_i \sqrt{J} \quad , \quad (1.21)$$

где C_i - коэффициент "удельной площади" по моменту инерции ($C_i = 0,42 \div 0,45$). С другой стороны, площадь шпангоута может быть определена по формуле

$$F = \beta \ell h \quad . \quad (1.22)$$

В качестве действительной площади шпангоута должно быть выбрано наибольшее значение из вычисленных по формулам (1.21), (1.22).

Таким образом в результате расчета получены следующие элементы

$$h^{(2)}, \ell^{(2)}, J^{(2)}, F^{(2)}$$

Найденные значения этих параметров могут на 20-30% отличаться от действительных значений. Как отмечалось ранее, указанные параметры должны удовлетворять помимо прочностных, так и технологическим и конструктивным требованиям, поэтому для увязки этих требований необходимо выполнить третье приближение.

30. Третье приближение

Третье приближение – окончательный выбор элементов судна и уточнения его нагрузки.

1.5 Определение элементов прочного корпуса в третьем приближении.

Расчет элементов прочного корпуса в третьем приближении производится по уточненным зависимостям с учетом местного изгиба обшивки у шпангоутов и разгружающего влияния поперечных переборок на устойчивость шпангоутов.

Вычисление вспомогательных величин производится с учетом значений элементов оболочки, найденных во втором приближении.

1.5.1 Выбор толщины обшивки.

Для определения толщины обшивки используется формула

$$h^{(3)} = k_2 \frac{P_p r}{a_2 \sigma_T}, \quad (1.23)$$

где

$$k_2 = 1 - 0,85 \frac{\varphi_1(u)}{1 + \frac{\ell \cdot \eta}{F} \mu(u)} \quad (1.24)$$

$$u = \frac{0,6425 \cdot \ell}{\sqrt{rh}} \quad (1.25)$$

Вспомогательные функции $\varphi_1(u)$, $\mu_1(u)$ для расчета элементов изгиба балок, лежащих на сплошном упругом основании обычно находят по таблицам в зависимости от аргумента U (см., например, [I], стр. 313). Для определения значений этих функций можно использовать также графики функций Папковича, представленные на рис. 1.2 с учетом следующих соотношений между ними:

$$0,85\varphi_1(u) = F_4(u, \eta) / \eta = 0 \quad (1.26)$$

$$\mu_1(u) = F_1(u, \eta) / \eta = 0$$

Полученное по формуле (1.23) значение для толщины обшивки ПК следует округлить в большую сторону до ближайшей спецификационной толщины в соответствии с ГОСТом для принятого материала.

1.5.2 Выбор расстояния между шпангоутами.

Оптимальная в отношении веса конструкция оболочки прочного корпуса должна быть такой, чтобы средние сжимающие напряжения в продольных сечениях обшивки, при которых происходит потеря устойчивости обшивки, равнялась бы принимаемой норме допускаемого напряжения для материала обшивки, т. е.

$$\sigma_{кр} = a_2 \sigma_T$$

Используя для определения верхней критической нагрузки формулу Американского опытового бассейна, из условия (1.8) можно получить следующую зависимость

$$l \leq r \sqrt{\mathcal{E} \left(0,062 + \frac{1,83 \eta_1 \eta_2 \mathcal{E}^2}{P_p} \cdot \frac{E}{E_{ст}} \right)}, \quad (1.27)$$

где

$$\mathcal{E} = \frac{100h}{r} \quad (1.28)$$

Здесь $h^{(3)}$ представляет собой толщину обшивки ПК, найденную в п.

1.5.1, а коэффициенты η_1 и η_2 определяются так же, как и в п. 1.4.3.

Формула (1.27) дает предельное значение шпации. Практическое значение величины l должно быть принято меньше полученной предельной шпации с учетом предъявляемых к рассматриваемой конструкции технологических и конструктивных требований. (Так, например, оно должно укладываться целое число раз поперечными переборками, соответствовать ГОСТ и т.д.).

1.5.3 Выбор размеров профиля шпангоутов.

Необходимый момент инерции площади поперечного сечения шпангоута (с присоединенным пояском обшивки) выбирается из условия обеспечения устойчивости отсека в целом, т. е. в рассматриваемом приближении учитывается влияние поперечных переборок на устойчивость шпангоутов. Уточненная формула для определения момента инерции имеет ряд

$$J = \min_n \left\{ \frac{r^3 \ell \cdot 10^{-6}}{(n^2 - 1)^2} \left[\frac{1,3P_p (n^2 - 1 + 0,5\alpha^2)}{E\eta_1\eta_2 10^{-6}} - \frac{h}{r} \cdot \frac{\alpha^4 10^6}{(n^2 + \alpha^2)^2} \right] \right\}, \quad (1.29)$$

где

$$\alpha = \frac{\pi r}{L} \quad (1.30)$$

Целочисленный параметр $n = 2 \div 5$, соответствующий числу волн потери устойчивости, образующихся по окружности оболочки, находится подбором из условия максимума выражения (1.29)

Коэффициент $\eta_1 = 0,7$.

Коэффициент η_2 определяется по напряжению в шпангоутах ПК, соответствующих критическому давлению для отсека в целом, которое с учетом (1.9) равно $P_{кр.шп} = 1,3P_p$. Отсюда следует, что критическое напряжение а шпангоутах необходимо принять равным $\sigma_{кр.(шп)} = 1,3[\sigma_{шп}]$. Используя для определения η_2 рекомендации п. 1.4.3, получим

$$\eta_2 = \frac{\sigma_{кр.(шп)}}{\sigma_{кр.(шп)}} = \sqrt[3]{1,0 - (1,3 \cdot a_3)^3}. \quad (1.31)$$

После определения момента инерции шпангоута J находится площадь сечения шпангоута F , как наибольшая из величин, вычисляемых по формуле (1.21) и по формуле

$$F = \ell \cdot h \left(\frac{0,85P_p r}{h \cdot a_3 \sigma_T} - 1 \right) \mu_1(u) \quad (1.32)$$

Исходя из полученных значений J и F необходимо подобрать размеры профиля шпангоута и определить окончательные значения указанных параметров. Подбор элементов профиля осуществляется либо в табличной форме, либо аналитически.

31. Разработка чертежа секции ОК

31. Разработка чертежа ОК

Настоящим заданием предусматривается:

- а) анализ чертежа секции, ее конструктивных особенностей и сварных соединений;
- б) разработка рабочего чертежа секции корпуса с учетом ее технологических особенностей.

На основе анализа чертежа заданной секции изложить следующие вопросы:

- описание системы набора корпуса в районе секции;
- положение и характеристика набора в районе секции;
- размер практической шпации в районе секции;
- положение секционных и монтажных стыков и пазов секций;
- описание сварных соединений деталей секции и обоснование их выбора;
- выбор марки материала деталей секции с характеристикой его механических свойств;
- правила указания размеров деталей и секций на чертеже, условные обозначения набора, его стыков с набором смежных секций.

Разработку рабочего чертёжа секции надлежит выполнять в следующей последовательности.

1. Выбрать габариты и форму секции с учётом конструктивнотехнологических показателей. Определить район расположения секции в

корпусе, выделить смежные конструкции.

2. Определить расположение основного вида и всех сечений и разрезов на поле чертежа

3. Учесть положение секции относительно плоскостей, определить габаритные размеры секции и их связь с технологическим оборудованием. В конструкцию должны быть введены жёсткие связи, чтобы подъем секции

краном не вызывал остаточных деформаций.

Отношение длины секции к её ширине должно быть в пределах 1 - 1.5.

4. Выделить листовые детали, указать их размеры, положение стыков и пазов, связь с габаритными размерами секции.

Габариты секции должны быть согласованы с размерами применяемых листов, размером шпации и другими конструктивными элементами.

5. Положение и размеры набора секции согласовать с конструктивным мидель-шпангоутом и конструктивным чертежом набора.

6. С учетом принятой в судостроении классификацией сварки обозначить сварные швы, стыки и пазы. При выборе расположения монтажных

стыков и пазов, ограничивающих данную секцию, следует ознакомиться

принципами обозначения и разбивки на секции и блоки, сходных с проектируемым судном.

7. Оформить чертеж, в соответствии с требованиями ЕСКД.

8. Над основной надписью расположить спецификацию.

32. Разработка растяжки наружной обшивки

Чертеж растяжки наружной обшивки представляет собой развертку наружной обшивки одного борта, построенную по длине периметра шпангоутов. Шпангоуты в средней части корпуса имеют большую длину, чем в оконечностях, поэтому ширина наружной обшивки, а соответственно и ширина поясьев обшивки у миделя больше, чем в оконечностях. Сужающиеся поясья обрываются *потерями* — листами обшивки, заканчивающимися, не доходя до штевней корпуса.

По длине растяжка наружной обшивки строится по проекции шпангоутов на ДП и равна длине судна, а не периметру его бортов, поэтому листы на растяжке не соответствуют истинной длине листов наружной обшивки.

Поясья, составляющие наружную обшивку днища и бортов, соответственно называются *днищевыми* и *бортовыми*.

Верхний пояс бортовой обшивки, притыкающийся к настилу верхней палубы, называется *ширстреком*, пояс, идущий по скуле корпуса, — *скуловым*, а пояс обшивки днища, расположенный на диаметральной плоскости, — *горизонтальным килем*

33. Разработка продольного разреза секции

Конструктивный чертёж набора (схему набора) следует выполнять в следующей последовательности. 1. По теоретическому чертежу прототипа с учетом погиби бимсов вычертить контуры продольного разреза (сечение по ДП и линия борта). 2. Наметить положение непроницаемых поперечных переборок и практических шпангоутов, пронумеровать их. 3. Вычертить штевни, поперечные переборки, палубы, платформы, настил второго дна, шахты, люки, и другие конструкции, попадающие в разрез. 4. Вычертить набор бортов и продольных переборок условными обозначениями. 35 5. Проставить все необходимые размеры. Размеры шпаций и балок набора, одинаковых по длине отсека или нескольких отсеков показываются ниже основной линии. Размеры других конструкций проставляются на чертеже. 6. Указать все толщины листов, размеры набора (основной и рамный) с указанием его расположения по длине судна под продольным разрезом. 7. Оформить чертёж в соответствии с требованиями ЕСКД.

34. Разработка сечений по шпангоутам

1. Ознакомиться с конструктивными мидель-шпангоутами, определить входящие в них связи и элементы (обшивка, балки), установив их тип и размеры, выбрать масштаб. 2. Пользуясь альбомом, вычертить обводы шпангоутов с нанесением линий палуб, платформ и второго дна, указать все основные плоскости. 3. Наметить положение и вычертить все продольные связи: днищевые и бортовые стрингеры, карлингсы комингсы люков и т.п. 4. Вычертить шпангоугы, бимсы, флоры и прочие элементы набора корпуса. 5. Показать пазы листов наружной обшивки, палуб, платформ, второго дна и межсекционные монтажные пазы. 6. Выполнить все необходимые надписи чертежным шрифтом в соответствии с требованиями ЕСКД. 7. Для сечений листов и профилей толщину линий принять в соответствии с масштабом, но во всех случаях толще контурных линий. 8. На поле чертежа над основной надписью (штампом) составить перечень главных размерений судна.