

*А.Н.
Дмитриев*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Книга содержит анализ современного состояния и перспектив развития подводных аппаратов, имеющих важное значение в освоении Мирового океана. Изложена классификация подводных аппаратов по их техническим признакам и назначению. Обобщен опыт проектирования подводных аппаратов и приведен аналитический метод определения их основных характеристик на ранней стадии проектирования. Рассмотрены методы выбора главных конструктивных элементов подводных аппаратов и определения оптимального варианта конструктивной схемы. Приведены примеры практического расчета характеристик подводных аппаратов.

УД
498653



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СУДОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАД
1978

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

И. В. ИКОНИКОВ
(ответственный редактор),
В. И. БАРАНЦЕВ, В. М. ГАБРИЛОВ,
А. Н. ДМИТРИЕВ, В. В. ИСУПОВ,
В. В. СЕРЕБРЯКОВ,
К. В. СУВОРОВ, Н. П. ЧИЖЕВ,
А. И. ШАЛОШНИКОВ, А. П. ЮРНЕВ,
В. С. ВСТРЕБОВ

Рецензент
канд. техн. наук М. В. САВЕЛЬЕВ
Научный редактор
инж. А. Б. ПЕТРОВ

Подводное пространство нашей планеты, которое иногда называют гидросферой, является местом обитания животных и растений, общая биомасса которых достигает сотен миллиардов тонн. Гидросфера, дно и недра дна морей и океанов хранят большие запасы нефти, газа, металлических руд и редкоземельных элементов. Ученые предполагают, что к середине будущего столетия свыше 50% топлива, сырья для производства продуктов питания и промышленных товаров человечество будет получать из моря. Проблема изучения и хозяйственного освоения Мирового океана приобрела глобальный характер и в ряде морских держав возведена в ранг национальной проблемы номер один.

Национализация шельфов, распространение суверенитета прибрежных государств на ресурсы прибрежных зон, международные соглашения по использованию дна Мирового океана — все это послужило новым стимулом для создания подводной промышленной техники и транспортных средств.

Среди разнообразной океанской техники особое место занимают обитаемые подводные аппараты, позволяющие человеку на любой глубине выполнять различные исследования и работы. Создание глубоководных аппаратов вызвало переворот в океанографических исследованиях и привело к открытиям, в корне изменившим наши представления о глубинах Мирового океана, структуре и рельефе его дна.

К началу 1977 г. во многих промышленных странах, главным образом в СССР, США, Франции, Японии, Канаде, Англии и ФРГ, построено свыше 200 обитаемых самоходных и буксируемых аппаратов. По конструктивной схеме и многим техническим признакам самоходные автономные аппараты похожи на подводные лодки: как и последние, они имеют элементы и системы, обеспечивающие плавучесть, ходкость, удержание курса и глубины хода, маневрирование в толще воды, обитаемость, безопасность плавания, средства связи и навигации. Вместе с тем ряд характеристик и конструктивных аппаратов имеет существенные особенности. К ним, в частности, относятся: боль-

шая глубина погружения (до 11000 м), высокие маневренные качества, своеобразная форма корпуса, наличие шарнирного твердого балласта и системы регулирования плавучести, большие масса и скорость, максимальные объем прочного корпуса и состав экипажа, расположение за бортом судовых систем, устройств и механизмов, применение ползунков.

Проектирование подводных аппаратов базируется на современной теории корабля, строительной механике и других судостроительных дисциплинах. Однако методы проектирования судов не учитывают особенностей подводного аппарата.

За истекшие 10 лет был накоплен значительный опыт разработки, строительства и эксплуатации подводных аппаратов, что создало предпосылки для совершенствования метода определения их элементов на ранних стадиях проектирования путем широкого применения аналитических способов.

Книга написана на основе результатов анализа конструктивных схем современных аппаратов и обобщения опыта их проектирования, строительства и эксплуатации. Выполненный анализ позволил уточнить классификацию современных аппаратов по техническим признакам и назначению, предложенную ранее в книге М. Н. Давыдова и А. Н. Дмитриева «Подводные аппараты», а также выделить из всех типов наиболее универсальный тип самоходного обитаемого аппарата, транспортируемого на борту судна-носителя.

Приведенное в книге распределение нагрузки масс подводного аппарата в соответствии с взаимным и размерением элементов конструкции внутри или снаружи прочного корпуса дало возможность выявить функциональные взаимосвязи основных характеристик подводного аппарата данного типа, определяющих его технические и эксплуатационные качества. На основе исследования этих взаимосвязей получены аналитические зависимости массы и водоизмещающего объема отдельных элементов конструкции и аппарата в целом, выраженные через основные характеристики. Выведенные зависимости позволяют определять характеристики, массу и объем подводного аппарата, а также совместимость требований технического задания.

Илагаемый материал иллюстрируется таблицами и графиками, содержащими числовые значения коэффициентов, рассчитанные на основании данных систематизации и анализа ряда аппаратов, построенных за последние 15 лет (см. табл. 2.1). При использовании этих таблиц и графиков следует иметь в виду, что фактические значения характеристик и коэффициентов могут отклоняться от приведенных в книге, поскольку в период проектирования, строительства и модернизации аппаратов в их конструкцию обычно вносятся изменения. Кроме того, невозможно гарантировать абсолютную достоверность опубликованных сведений о построенных аппаратах.

**СВЕДЕНИЯ ОБ ОКЕАНЕ
И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

§ 1. Сведения о Мировом океане

Конструктор, приступающий к разработке проекта научно-исследовательского, аварийно-спасательного, промышленного или любого другого подводного аппарата, должен знать основные физические, химические и биологические свойства Мирового океана.

Соленость. Состав солевой массы в открытых частях океана вне района сильного притока воды с суши можно считать постоянным (табл. 1.1). Поэтому общую соленость морской воды определяют по содержанию в ней какого-нибудь одного элемента, обычно хлора (табл. 1.2).

Таблица 1.1

Содержание элементов в морской воде

Элементы	Соленость, ‰	Элементы	Соленость, ‰
Хлор (Cl)	55,29	Натрий (Na)	30,29
Бром (Br)	0,19	Калий (K)	1,11
Остаток серой кислоты (SO ₄)	7,69	Кальций (Ca)	1,20
Остаток углекислоты (CO ₂)	0,21	Магний (Mg)	3,72

Таблица 1.2

Содержание солей в морской воде

Распространенные в виде солей	Содержание, ‰
Хлориды	88,70
Сульфаты	10,80
Карбонаты	0,20
Соединения азота, фосфора, кремния и органические вещества	0,20

Под соленостью понимают общую массу в граммах всех твердых веществ, растворенных в 1000 г морской воды, при условии, что бром заменяют эквивалентным количеством хлора, а все карбонаты превращены в оксиды и все органические вещества сожжены.

Соотношение между соленостью и содержанием хлора выражается формулой:

$$S = 0,030 + 1,8050Cl, \quad (1.5)$$

где S — соленость, ‰ (знак ‰ обозначает тысячные доли); 1,8050 — хлорный коэффициент.

Наибольшей соленостью отличается Атлантический океан (37,9‰ к западу от Азорских островов), наименьшей — Тихий океан (35,9‰ в северной части). Соленость воды на поверхности морей может изменяться в более широких пределах. Так, в Средиземном море отмечена соленость 39,58‰, в Красном — 42‰ и даже 46,5‰ (залив Асаба), а в Мертвом море она может достигать 400‰. Сезонные и ситуационные изменения солености на поверхности открытого океана невелики.

Температура. Температура воды на поверхности Мирового океана убывает от экватора к полюсам. Только океанские течения местами искажают ее нормальное географическое распределение.

В северном полушарии Мировой океан теплее, чем в южном. Зона наиболее высокой температуры располагается несколько севернее экватора (термический экватор).

Средняя температура на поверхности всего Мирового океана равна 17,4°С. Самым теплым является Тихий океан (19,1°С), самым холодным — Атлантический (16,9°С). Наиболее низкая температура воды на поверхности океана регистрируется — 2°С, самая высокая 36°С. Таким образом, абсолютная амплитуда составляет 38°С. В воздухе она превышает 150°.

Разности средних температур воды самого теплого и самого холодного месяцев колеблются в довольно широких пределах, но в экваториальной зоне, арктических и антарктических областях они составляют лишь немного более 2°С (табл. 1.3).

Суточные колебания температуры воды на поверхности в открытом океане невелики: в тропиках — не более 1,0°С, в высоких широтах — еще меньше. Значительно большей величины — нескольких градусов и даже десятков градусов — могут достигать случайные изменения температуры воды у берегов (например, при стоках) и в районах встречи теплых и холодных течений.

С увеличением глубины температура быстро понижается (табл. 1.4). В тропических морях, где поверхностные слои воды свободно нагреваются солнцем, на глубинах 800—1000 м температура воды падает до 20—25°С ниже, чем в поверхностных слоях, и равна 8—4°С. Изменение температуры воды проис-

Таблица 1.3

Колебания температуры воды

Северная широта, град.	Разность средних месячных температур, °С	Южная широта, град.	Разность средних месячных температур, °С
50	8,4	30	2,6
40	10,2	20	3,6
30	6,7	30	5,1
20	3,5	40	4,8
0	2,3	50	2,9

Таблица 1.4

Распределение температуры и солености воды по глубине

Глубина, метр, м	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰	Глубина, метр, м	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰
0	13,8	6,98	65	7,3	7,43
20	13,2	7,09	100	4,2	10,23
30	8,5	7,09	210	4,7	11,29

ходит медленно. Однако эта плавность часто нарушается появлением слоев воды с резко отличающейся температурой — слоев температурного скачка.

Газы в морской воде. В морской воде растворены, кроме твердых веществ, также и некоторые газы: кислород, азот, аргон, углекислота, сероводород и др. (табл. 1.5). Содержание газов в морской воде зависит от солености и температуры.

Объемное содержание кислорода в морской воде составляет 0,5—1%, углекислого газа примерно 5% на уровне моря при нормальных атмосферных условиях, т. е. при давлении 1 бар и температуре 0°С.

Давление. За единицу давления принят 1 бар = 10⁵ Н/м². Рассматривая давление в океане, атмосферным давлением пренебрегают, т. е. считают давление на поверхности равным нулю. Кроме того, поскольку гидростатическое давление в воде со средней плотностью 1,03 Н/м³ возрастает на 10⁴ Н/м² примерно на каждый метр (точнее 99 см) глубины, принимают, что давление в децибарах численно равно глубине, выраженной в метрах. Ошибка при наибольших возможных отклонениях плотности и ускорения свободного падения не превышает 4%.

Плотность. Плотностью морской воды в океанографии называют отношение массы единицы объема морской воды при температуре рассматриваемой точки моря к массе дистилля-

Таблица 1.5
Состав газов, насыщающих морскую воду, %

Средняя температура, °C	10° C					20° C					30° C					
	Воздух, насыщенный паром, %	O ₂	CO ₂	N	Воздух, насыщенный паром, %	O ₂	CO ₂	N	Воздух, насыщенный паром, %	O ₂	CO ₂	N	Воздух, насыщенный паром, %	O ₂	CO ₂	N
16	22,78	34,04	63,22	1,83	17,22	34,26	63,33	1,81	14,50	33,79	64,41	1,80				
18	22,33	34,95	63,21	1,83	16,68	34,35	63,34	1,81	14,24	33,74	64,41	1,80				
20	21,69	34,95	63,22	1,83	16,32	34,36	63,33	1,81	13,47	33,78	64,41	1,79				

Таблица 1.6
Истинные значения плотности при различных температурах и соленостях по Крузу

t, °C	S, ‰									
	0		10		20		30		40	
	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
0	0,99987	1,00001	1,00001	1,00016	1,00046	1,00096	1,00161	1,00241	1,00336	1,00446
10	0,99973	1,00076	1,00076	1,00132	1,00208	1,00308	1,00436	1,00581	1,00741	1,00916
20	0,99823	1,00086	1,00086	1,00182	1,00296	1,00436	1,00601	1,00796	1,01016	1,01251
30	0,99647	1,00316	1,00316	1,00456	1,00641	1,00861	1,01116	1,01396	1,01701	1,02036

разной воды, имеющей температуру 4°С при нормальном атмосферном давлении.

Истинная плотность воды в море изменяется от 1 для опресненной воды в некоторых местах на поверхности и до 1,077 на большой глубине (табл. 1.6).

Для удобства расчета и океанографии истинную плотность морской воды заменяют поправкой «условная плотность». Если истинная плотность равна 1028,13 кг/м³, то условная будет выражаться числом 28,13.

Плотность морской воды зависит от трех переменных: температуры, солености и давления. С увеличением давления на 10⁵ Н/м² плотность воды возрастает приблизительно на 43·10⁻⁶ кг/м³, что соответствует увеличению глубины на 1000 м. С повышением солености на 1‰ плотность воды увеличивается на 8·10⁻⁶ г/см³. С понижением температуры до 4°С плотность воды возрастает, а затем понижается.

Сжимаемость морской воды невелика, но если бы вода не сжималась, уровень океана был бы на 30 и выше существующего. На малых глубинах сжимаемость воды адратического значения не имеет, при определении плотности на больших глубинах с нею необходимо считаться.

Плотность воды на поверхности в разных местах Мирового океана колеблется в значительных пределах (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Плотность воды в морях и океанах

Море и океан	Плотность, кг/м ³
Океаны:	
Атлантический	1,0267—1,0273
Тихий	1,0265—1,0268
Индийский	1,0264—1,0267
Моря:	
Средиземное	1,0283—1,0298
Черное	1,012—1,014
Мраморное	1,015—1,019
Северное	1,0263—1,0265
Балтийское	1,0268—1,0277
Финский залив	1,0215—1,0230
Исландское	1,025—1,026
Остское	1,0245—1,0248

Изменение плотности воды в зависимости от глубины характеризуется следующими цифрами:

Глубина, м	0	100	1000	2000	3000	4000	5000
Плотность, кг/м ³	1,0251	1,02536	1,02574	1,02622	1,02676	1,02736	1,02798

Для вычисления плотности морской воды используются специальные таблицы¹. Условную плотность воды можно вычислить с помощью приближенного уравнения:

$$\sigma_t = 28,132 - 0,0735t - 0,00409t^2 + (0,802 - 0,002t)(S - 35) + 0,0045H, \quad (1.2)$$

где t — температура, °C; S — сольность, ‰; H — глубина, $1 \cdot 10^3$ м.

Слой скачка. Слой, в котором вертикальный градиент какого-нибудь свойства воды резко отличается от градиентов, наблюдающихся в смежных с ним слоях, принято называть слоем скачка. Различают скачки температуры, сольности, плотности, содержания кислорода и т. д. Слои скачка создаются в результате вертикального перемешивания и обычно носят сезонный характер. Слои скачка адвективного характера могут наблюдаться в течение всего года, т. е. быть постоянными.

Основными характеристиками и элементами слоя скачка являются: 1) глубина залегания, т. е. глубина середины слоя; 2) толщина (мощность); 3) интенсивность, определяемая значением вертикального градиента (табл. 1.8).

Таблица 1.8
Элементы градиентов

Градиенты	Интенсивность слоя скачка (среднее градиента на 1 м глубины)		
	Слой верхнего	Узкий	Резко выраженный
Температура, °C	0,1—0,9	1,0—5,0	Более 5
Сольность, ‰	0,05—0,09	0,1—0,3	> 1
Плотность, ‰	0,01—0,04	0,05—0,09	> 0,1

Особое значение имеет слой скачка плотности. С ним связано явление «жидкого грунта», на котором подводный аппарат может лежать во взвешенном состоянии.

Электропроводность в морской воде. Морская вода обладает хорошей электропроводностью, которая возрастает с повышением ее температуры и сольности. При изменении сольности от 0 до 40‰ и температуры от 0 до 24° электропроводность воды увеличивается в 10 раз — от 0,006 до 0,06 Ом⁻¹см⁻¹. Морская вода, являясь проводником, переносится в магнитном поле Земли, и в ней, так же как в любом проводнике, индуцируется электродвижущая сила. Измерив э. д. с., наводимую

в морской воде, можно определить скорость и направление течения.

По принципу измерения электродвижущей силы, возбуждаемой в морской воде при ее движении в магнитном поле Земли, создан электромагнитный измеритель течений (ЭМИТ), позволяющий измерять скорость течения на ходу судна.

Свет в морской воде. Распределение света в морской воде существенно отличается от распространения его в воздухе. Световой режим в глубинах моря тесно связан с освещением поверхности солнечным светом.

Морская поверхность отражает 5—7% упавшего на нее солнечного света. Остальная его часть поглощается и рассеивается в толще воды. Даже абсолютно чистая вода, свободная от окрашивающих веществ и механических примесей, примерно в 100 раз сильнее, чем воздух, ослабляет видимый свет.

Глубина, м	0	10	20	50	70	100	150	200
Ослабленность, %	40,00	30,20	20,20	10,00	5,00	4,00	3,00	2,00

Величина поглощения световых лучей с различными длинами волн различна. Поглощение света характеризуется коэффициентом поглощения, который зависит от длины световой волны и очень быстро возрастает в инфракрасной части спектра. Инфракрасные лучи поглощаются верхними сантиметрами воды, а в глубину проникает в основном видимая часть спектра (табл. 1.9).

Таблица 1.9
Связь между цветом моря и прозрачностью

Цвет моря	№ шкалы Форала	Прозрачность, м	Цвет моря	№ шкалы Бореса	Прозрачность, м
Темно-голубой	I—III	30	Сине-зеленый	VI—X	10—20
Светло-голубой	III—VI	20—30	Зеленый	X—XI	10

В яернсм, освещенном солнцем слое воды дальность видности обычно не превышает нескольких десятков метров. Для различных районов Мирового океана она характеризуется следующими данными наблюдений (м):

Атлантический океан, Саргассово море	60—5
Индийский океан, восток южной оконечности Австралии	40—50
Тихий океан, восток южной оконечности Австралии	45—50
Средиземное море у берегов Сицилии	50—60
Северное море, гора Ла-Манш	6,5—22

Все предметы под водой даже на небольших глубинах в яркой солнечной день окутаны легкой голубоватой дымкой. На глубине более 300 м при искусственном освещении и располо-

¹ Бубин Н. Н. Океанологические таблицы. Изд. 3-е. Л., Гидрометеоиздат, 1957.

жени светлячки возле иллюминатора аппарата дальность видности предмета сокращается до нескольких метров.

Видимость предмета определяется в основном контрастом между объектом и фоном, яркостью объекта, его угловыми размерами и продолжительностью наблюдения. Уменьшение значений какой-либо из этих величин ниже предельных, соответствующих порогу восприятия глаз человека, приводит к потере видности предмета.

Свет в области видимого спектра поглощается водой и взвешенными в ней частицами. Весьма прозрачные природные воды имеют коэффициент поглощения $K=0,2$ 1/м, а для загрязненных вод этот коэффициент может иметь значение 2 1/м. За счет поглощения на каждом метре может теряться от 5 до 99% светового потока.

Благодаря сильному поглощению светового потока водой при увеличении мощности светильников малоэффективно. Повышение силы света лампы в 10 раз увеличивает дальность видности всего на 15%.

Для увеличения видности используют желто-красные лучи, а сильное поглощение данного участка спектра компенсируют усилением изображения в электронно-оптическом преобразователе. Желто-красный цвет не отпугивает морских животных и не вызывает люминесценции, поэтому этот участок спектра имеет преимущества при наблюдении за рыбами и другими морскими животными. Наоборот, для изучения люминесценции биологических объектов необходимы ультрафиолетовые лучи, под действием которых светятся некоторые животные организмы.

При механических возмущениях донных отложений дальность видности на иллюминатора резко ограничивается и даже становится равной нулю. Поэтому в некоторых районах океана подводные работы в будущем придется вести в условиях отсутствия видности или создавать специальные приборы, обеспечивающие видимость в совершенно непрозрачной воде.

Звук в морской воде. Благодаря акустическим свойствам воды, звук в море является главным средством связи, ориентации и эко-видения.

Глубины моря полны биологических шумов. Установлено, что биологические морские шумы имеют частоту колебаний от 2 Гц до 100 кГц и более. Некоторые из них имеют частоту от 10 Гц до 18 кГц и поэтому доступны человеческому уху. Другие обладают более низкой частотой, а большинство относятся к ультра-звуковым.

Источниками шума в океане являются также волны, ветер, атмосферные осадки, движение льдов в судах, землетрясения и термический шум.

Общий уровень шума в океане снижается по мере роста частоты и при частоте 50 кГц и выше существенную его часть составляет термический шум.

Скорость звука в воде зависит от температуры, солености и давления (табл. 1.10). Дальность распространения звука в море невелика. Но иногда звуковые импульсы можно регистрировать на расстоянии сотен и даже тысяч километров от источника звука. Явление сверхдального распространения звука было впервые обнаружено в 1946 г. советскими специалистами в мореходии во время исследования распространения звука взрыва в Японском море. Затем это явление изучалось многими учеными как у нас в стране, так и за рубежом.

Таблица 1.10
Скорость звука в воде

Изменяемые параметры	Изменяемое значение скорости звука, км/с
Температура на 1° С	3,3
Соленость, на ‰	1,2
Давление на 10 ⁵ Н/м ²	2,8

В Советском Союзе гидрологические условия сверхдального распространения звука исследовал Л. М. Бреховский.

Как показали исследования, сверхдальное распространение звука имеет место в слое, где скорость звука минимальна (табл. 1.11). Этот слой называют подводным звуковым каналом (ПЗК). Такой канал располагается на различных глубинах Мирового океана и характеризуется следующими параметрами: 1) осью звукового канала, находящейся на глубине, где скорость звука минимальна; 2) верхней и нижней границами звукового канала, определяемыми глубинами максимальных скоростей; 3) предельным лучом и предельным углом (предельный луч касается верхней и нижней грани канала, предельный угол — тот, при котором еще происходит полное внутреннее отражение); 4) толщиной звукового канала.

В Атлантическом и Тихом океанах ось ПЗК находится на глубинах 50—100 м в северной части и 500—1200 м в южной. Расположение осей ПЗК зависит от времени года. Иногда ось может выходить на поверхность, что имеет место в прибрежных водах океана и северных районах. Верхняя и нижняя граница ПЗК в различных частях морей и океанов располагается на разных глубинах. Так, в Тихом океане верхняя граница расположена на глубине 50 м, нижняя — на глубине 2500 м. Расположение верхней и нижней границ ПЗК тоже подвержено сезонным изменениям.

Течения. Течения характеризуются направлением и скоростью. Вертикальные движения масс воды при исследовании морских течений обычно не учитывают. Это обусловлено тем, что вертикальные движения невелики и мало исследованы.

Морские течения классифицируют по следующим признакам: 1) по факторам или силам, их вызывающим; 2) по продолжительности; 3) по глубине расположения; 4) по характеру движения; 5) по физико-химическим свойствам.

Течения существуют во всех районах и на всех глубинах Мирового океана, в том числе и в глубоководных впадинах. Благодаря течениям в океане перемещаются все многокламетровая толща воды.

Таблица 1.11

Данные о величине глубины и скорости течения

Глубина, м	Скорость течения в километрах в час	Скорость течения в сантиметрах в секунду	Разность, км/ч
191	1485,5	1488,7	+3,2
1209	1481,8	1490,4	-1,4

В океанах существуют течения с самыми различными скоростями. Например, поверхностная скорость течения Гольфстрим у Бермуудских островов достигает 220 см/с и уменьшается до 1—15 см/с на глубинах 1500—2000 м, а на глубинах 2500—2600 м было обнаружено южное, обратное его направление, имеющее скорость 16 см/с. В некоторых местах течения Гольфстрим зарегистрированы скорости до 300 см/с. На глубинах в несколько тысяч метров, наряду с медленными течениями, существуют быстрые пульсирующие, меняющие свою скорость за несколько дней от 10 до 20 см/с.

В глубинах океана встречаются быстрые полярные течения, похожие на горные реки. В некоторых местах по склонам океанского дна текут мутьевые потоки воды, смешанные с илом и песком, образуя на дне глубокие русла и каньоны.

В мелководных прибрежных районах за счет ветра и приливов воды могут образовываться струйные течения, имеющие скорость до 100 см/с. Приливные течения со скоростью выше 80 см/с вносят незначительный вклад в гидроциркуляцию.

Течения измеряют приборами, устанавливаемыми на плавучих маяках и буйковых станциях, подводных аппаратах и океанографических судах.

На основе длительных наблюдений и измерений составлены карты поверхностных течений, имеющие большое значение для навигации и промысловой океанографии.

Грунты дна морей и океанов. Дно океанов и морей покрывает осадочные отложения. На крутых склонах или там, где дно разбивается сильными течениями, обнаружены хребтные горные породы. Как и на суше, это могут быть породы осадоч-

ные (глина, известняк, песчаник и т. д.), кристаллические (порфир, диабаз, гранит и т. д.) или метазоогенные (гнейс, мрамор и пр.). Поскольку точное определение подводных горных пород затруднительно, для обозначения массивных грунтов пользуются более общими терминами: твердый грунт, глина или скала, скалистый грунт.

Отложение частиц материкового происхождения (терригенных) идет от берега в направлении к открытому морю. Обычно вблизи берега располагаются валуны и галька, дальше — гравий, затем крупный, а потом и более мелкий песок с примесью ила; еще дальше от берега отлагается ил с примесью песка и раковин, ил и галечный ил.

Скорость отложения грунта изменяется в широких пределах. В прибрежных участках и особенно вблизи устьев больших рек скорость отложения очень велика. В дельте Волги она составляет от 0,5 до 7 см/год, в заливе Сан-Франциско 1 см/год, в Черном море 1 см грунта накапливается за 30—100 лет. Скорость отложения глубоководных илов значительно меньше. Так, по косвенным данным, за 1000 лет в Атлантическом океане откладывается 1—2 см, в Индийском в центральной части Тихого океана — 0,5—1 см. Наименьшие скорости отмечены в северной части Тихого океана. Средняя теоретическая скорость отложения грунта в Мировом океане составляет 1,08 см за 1000 лет. Распределение глубоководных отложений на дне Мирового океана (по Азаре) показано в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Данные о распределении глубоководных отложений на дне Мирового океана (по Азаре)

Виды илов	Отложения, %			Отложения в Мировом океане, в 10 ¹² км ³
	в Атлантическом океане	в Индийском океане	в Тихом океане	
Глобигерановый	83,4	83,2	26,5	138,54
Перидоний	0,4	0,1	4,2	0,75
Глубоководные (красные) глины	15,2	16,1	47,0	200,21
Радиоларвальный	—	2,3	5,5	10,11
Диатомовый	0,0	17,0	5,9	25,66

Все глубоководные отложения занимают 265,5·10¹² км³, или 74% площади дна Мирового океана.

Общая классификация грунтов дна морей и океанов, принятая в морских навигационных картах, основана на разделении грунтов по их механическому составу. В главных чертах она одинакова во всем мире и различается только в деталях.

Характер грунта и рельефа дна имеет большое практическое значение. Качество грунта определяет надежность стоянки на якорь, возможность укладки подводных аппаратов на грунт, установку на дне стационарных сооружений и т. п. Величина оседания тяжелых предметов в твердых грунтах может достигать 5—10 м.

Различные морские грунты по-разному отражают звуковые сигналы, причем характеристики отражений для каждого типа грунта почти постоянны. Наиболее существенными из всех свойств грунтов, которые оказывают основное влияние на силу и скорость звука, являются плотность грунта, его влажность, упругость, пористость и вязкость.

Механический состав грунта позволяет в первом приближении судить об его акустических свойствах.

Исследования распространения звука на частоте 24 кГц, выполненные в США, показали, что морские грунты можно подразделять на хорошо отражающие грунты, включающие скальные породы, кораллы, плотный песок и глин, а плохо отражающие — главным образом ил, песчаный ил и илистый песок. Для указанных типов грунтов получены следующие значения коэффициента отражения: ил — 0,0—0,2; песчаный ил — 0,20—0,40; илистый песок — 0,40—0,60; песок — 0,60—0,85; массивный грунт — 0,50—0,85.

§ 2. Классификация подводных аппаратов

Подводные аппараты — это технические средства для проведения комплексных исследований и выполнения многооперационных работ под поверхностью воды и на таких глубинах, где невозможно использовать обычную подводную технику.

Если техническое средство предназначается для узкоспециализированных подводных исследований или работ, например регистрация солености или добыча живых организмов, его называют в первом случае прибором, а во втором — орудием. Когда оно рассчитано на выполнение большого числа функций в течение достаточно продолжительного периода времени, мы имеем дело с таким инженерным сооружением, которое принято называть подводным домом, подводной лабораторией или подводным судном, в зависимости от его мобильности (радиуса действия). Следовательно, подводные аппараты занимают промежуточное место между приборами или орудиями и крупными подводными техническими сооружениями. Эти аппараты могут быть обитаемыми или управляемыми дистанционно автоматами, самоходными или буксируемыми и привязными, специализированными или общеслужебными; они могут отличаться привязными перемещения под поверхностью воды, системами погружения и

всплытия, типами энергетических установок, расчетными глубинами погружения, подводной автономностью, способами доставки к месту проведения исследований или работ, многими другими техническими особенностями.

Поэтому необходимо принять хотя бы условную классификацию подводных аппаратов, без которой невозможно четкое и последовательное изложение дальнейшего материала данной главы книги в целом.

1. По назначению:

- а) исследовательские подводные аппараты, как правило, многоцелевые;
- б) производственные, предназначенные для подводных работ, главным образом специализированные;
- в) грузопассажирские, предназначенные для транспортировки грузов и легководолазов, спасательных работ в туристских прогулках;
- г) экспериментальные, предназначенные для обработки отдельных видов оборудования.

2. По способу доставки к месту погружения:

- буксируемые;
 - транспортируемые на борту судна-базы;
 - автономные, базирующиеся на берегу.
3. По способу удержания на глубине:
- привязные, поддерживаемые на кабель-тросе (гидростаты);
 - всплывающие, имеющие легковесный повалок (батискафы);
 - бесповалковые, поддерживаемые плавучестью прочного корпуса;

гидродинамические, использующие тягу движителей для удержания на глубине;

- донные, передвигающиеся с помощью механических органов сцепления с грунтом.

4. По способу всплытия:

- привязные, поднимаемые на кабель-тросе;
 - выблаторные, имеющие сбрасываемый твердый балласт;
- аэст:
- гидродинамические, поднимаемые тягой движителей.

5. По способу управления:

- обитаемые, с человеком на борту;
- необитаемые, управляемые дистанционно или работающие по заданной автопрограмме.

6. По глубине погружения:

- для малых глубин — до 500 м;
- для средних глубин — до 2000 м;
- для больших глубин — до 6000 м;
- для предельных глубин — до 12 000 м.

Принятая классификация не претендует на полноту и совершенство, но достаточно удобна для обсуждения основных характеристик, конструктивных и эксплуатационных особенностей

стей подводных аппаратов с позиций теории проектирования суда.

В рамках одноклассовых классификационных особенностей подводные аппараты можно классифицировать по водоизмещению, подводной автономности и скорости. Так, существующие самоходные аппараты, транспортируемые на борту судна-базы, можно разделить на три группы по водоизмещению:

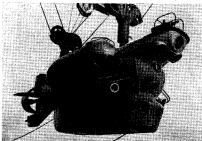


Рис. 1.1. Подводный аппарат ТИПРО-2

малого водоизмещения — до 20 т;
среднего — от 20 до 60 т;
большого — более 60 т.

Можно выделить три группы автономности:

малой — несколько часов;
средней — в пределах суток;
большой — несколько суток.

Целесообразно разделить аппараты и на три группы по скорости:

малой скорости — до 1,5 м/с;
средней — от 1,5 до 3 м/с;
большой — свыше 3 м/с.

По числу членов экипажа аппараты можно распределить на одно-, двух-, трех- и многоместные.

Подводный аппарат составляет с судном-базой единую систему. Сейчас судна-базы для аппаратов малого водоизмещения служат соответствующим образом оборудованными морскими судами. Для аппаратов среднего и большого водоизмещения целесообразно строить специальные суда-носители, при этом основным элементом системы должен являться аппарат, а судно-носитель должно иметь минимально необходимое водоизмещение и служить только для транспортировки и обслуживания аппарата. Примером такой системы может служить судно-носитель «Траис квест» совместно с аппаратом «Дни квест», судно «Лулу» с «Лавин» и др.

Кроме подводного судна-носителя может быть подводное судно, оснащенное устройством для отправки и приема под водой аппаратов, а также самолет, вертолет-амфибия, способные быстро доставить аппарат в район погружения.

Подводные носители эвакуируются в любую погоду и могут доставлять подводный аппарат вместе с экипажем в заданной район Мирового океана. Воздушные носители могут отправлять аппараты из любого континентального пункта, удаленного от моря.

Для выполнения локальных подводных исследований или работ в течение длительного времени строятся стационарные подводные дома и лаборатории, устанавливаемые на дне или дрейфующие по течению на заданной глубине. Лаборатория отличается от аппарата большим водоизмещением и автономностью по обитаемости, отсутствием собственного хода и наличием отсека для выхода легководолазов в море.

На рис. 1.1 показан подводный аппарат ТИПРО-2, созданный для комплексных биосферических исследований.

§ 3. Состояние и перспективы развития подводных аппаратов

Первые подводные аппараты, к которым можно отнести батисферу «Век прогресса», батискаф «Триест» и аппарат «Дензис», строились для изучения подводных объектов на глубинах, недоступных водолазам. Аппараты оснащались иллюминаторами и светосильными, позволяющими выводить изображения и фотографирование. Первые аппараты сыграли большую роль в развитии науки об океане и стали основой для создания более совершенной техники подводных исследований. С помощью первых аппаратов было доказано, что человек может проникнуть на любую, в том числе предельную глубину Мирового океана.

Создание аппаратов стимулировало разведку минеральных ресурсов, подводных месторождений нефти и рудных ископаемых из морском дне. Широкое применение стали находить аппараты в рыболовстве и промышленной океанологии. Постепенно

из аппаратах начали устанавливать приборы для измерения параметров среды и взятая проб воды с грунта. Создание манипуляторов и оснащение аппарата системами стабилизации и маневрирования позволили перейти к строительству рабочих аппаратов («Алига», «Алюминат», «Север-2»). Усовершенствованные манипуляторы служат для сбора образцов грунта, остроумные затопивших объектов и выхождения простейших работ.

Многие аппараты, построенные в начале 60-х гг., после реконструкции успешно работают до настоящего времени. С их помощью была получена ценная научная информация, выполнены подводные эксперименты и работы в целях разработки сырьевых ресурсов на шельфах и в океане.

В процессе работы экспериментальные аппараты обычно претерпевают модернизацию. Так, например, аппарат «Алига», утонувший в 1968 г. на глубине 1540 м, через год был поднят на поверхность и реконструирован; его стальной корпус заменили корпусом из титана, в результате работан глубина погружения была увеличена вдвое. На аппарате установлены более совершенное оборудование и приборы. В 1974—1976 гг. с помощью обновленного аппарата выполнялись исследования рифтовой долины Средне-Атлантического хребта на глубинах до 3650 м. Аппарат, которому исполнилось 13 лет, продолжает успешно работать в океанских глубинах.

Каждый из упомянутых экспериментальных аппаратов послужил прототипом для создания более совершенных. На опыте первых батискафов французы построили батискаф «Архимед», а американцы — батискаф «Триест-2». Аппарат «Дениза» стал прототипом для проектирования и строительства серийных аппаратов типа «Дни стар», имеющих глубину погружения 600, 1200, 3600 и 6000 м.

Батискафы «Триест» и «Архимед», аппараты «Алига», «Дениза», «Алюминат», «Север-2» и др. успешно использовались для определения запасов водорослей, моллюсков, крабов и рыб, разведки месторождений нефти и газа, рудных ископаемых и пр. Подводные исследования ускорили решение многих задач, связанных с изучением и освоением сырьевых ресурсов океана, и доказали реальность промышленной их разработки. Кроме того, они показали необходимость разработки подводной технологии и создание добывающей техники.

В связи с истощением ресурсов суши и ростом населения земли освоение Мирового океана приобретает глобальный характер. Многие морские страны, кроме рыболовства и мариккультуры, начинают развешать добычу в море нефти, строительных материалов, каменного угля и руды. Сейчас первое место в мире по добыче в море ценных продуктов занимает Япония (десятая часть мирового улова). Кроме промышленности в море, хлопцы вырешаются в прибрежных водах примерно 1 млн. т морских животных и водорослей. Моллюсководы разводят тысячи тонн

жемчужносных моллюсков, получая ежегодно 90 т высокоортного жемчуга. До сих пор для добычи жемчуга широко использовался труд женщин-маральниц. Постепенно подводные фермы и плантации превращаются в механизированные и автоматизированные хозяйства. В 1976 г. министерство сельского и лесного хозяйства Японии приняло 20-летний план развития рыболовства. На ближайшие годы выделено около 200 млрд. иен для рыбозаведения, строительства искусственных рыбокопительных рифов на глубинах до 100 м, рыбоходческих заводов, морских подводных ферм для выращивания красноморского леща, креветок и ценных морских животных.

В связи с освоением богатейших месторождений нефти и газа, разработкой твердых полезных ископаемых и развитием мариккультуры в ряде стран создается разнообразная подводная техника: морские буровые платформы, нефтетрашники, водолазные комплексы, устройства для добычи твердых полезных ископаемых. Подводная техника для добычи нефти применяется на шельфах и за их пределами. Строятся нефтегазопромысловые платформы, плавучие заводы для сжижения газа, переработки сырья, суда для укладки труб на больших глубинах, всепогодные обслуживающие суда, плавучие нефтебазы для хранения нефти и переработки супертяжелого и открытого море. Развитие морской промышленности вызывает необходимость создания новых обязательных аппаратов для проведения человеком работ на глубинах 1000 м и более.

Наибольшее число обязательных подводных аппаратов работает по обслуживанию морских нефтепромыслов. В 1976 г. в Северном море одновременно работало около 20 аппаратов. Одни из них укладывали на дне моря нефтегазопроводы, другие выполняли их осмотр и ремонт, третья участвовала в монтаже буровых платформ и контроле их работы. В эксплуатации месторождений Северного моря и создании морской подводной техники принимают участие Нидерланды, Норвегия и Швеция. Ведется также разведка полезных ископаемых в Балтийском море. В северной части Восточного залива Швеции находится искусственный остров, на котором будет сооружен ствол шахты для разработки подводных месторождений ценных металлов.

В 1977 г. на шельфах работало свыше 250 разведочных и нефтедобывающих платформ, установленных на поверхности моря.

В последние годы открыты богатейшие залежи нефти и газа на глубинах 1000 м и более. Разработка глубоководных месторождений может осуществляться только подводными буровыми вышками, устанавливаемыми непосредственно на дне моря. В 1977 г. на шельфах различных стран действовало свыше ста таких установок. По мнению английских специалистов, в 1983 г. только в Северном море будет эксплуатироваться около 500 подводных нефтегазовых скважин, поскольку их постройка и

эксплуатация обходится значительно дешевле, чем плавучих и водоизмещающих платформ.

Вместе с увеличением добычи нефти и газа растет объем подводных работ по монтажу буровых вышек, устройству подводных нефтехранилищ и прокладке трубопроводов. С начала освоения месторождений нефти и газа только в Северном море было проложено около 3200 км нефтегазопроводов. В настоящее время продолжается прокладка магистральных труб диаметром 910 мм.

В ряде стран разрабатывается техника для освоения морских минеральных отложений на больших глубинах с богатым содержанием цинка, меди и титана. Создаются устройства для добычи марганцевых конкреций в Тихом и Индийском океанах и подводные устройства для разработки морских месторождений олова, серебра, золота и других ценных цветных и редкоземельных элементов.

В последние годы в ряде морских стран приступили к разработке волновых и термических электростанций. Принцип работы их основан на использовании разности температур между верхними (теплыми) и нижними (холодными) слоями воды. Термические электростанции особенно эффективны в экваториальных водах, где существует выходящий перепад температур. Профессор Массачусетского университета Ероникс утверждает, что в районе Мексиканского залива и течения Гольфстрим может быть построена станция мощностью 400 МВт, достаточной для города с населением 2 млн. человек.

Успехам, достигнутым в области освоения минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана, способствовали исследования, выполненные непосредственно под водой. Основа часть подводных аппаратов, построенных в 60-х гг., используется для научных исследований в области океанографии, геологии, биологии, рыболовства и обследования районов промысла или подводных хозяйств и сооружений.

Американские фирмы используются для подводных исследований и работ обитаемые подводные аппараты типа «Стар», «Дип стар», ДСРВ, «Дип квест», серийные аппараты фирмы «Перри Кабмарин», подводные лодки и дистанционно управляемые аппараты. Аппараты, оснащенные манипуляторами, применяются также для поиска и подъема затонувших предметов, сбора образцов. На спасательных аппаратах типа ДСРВ, построенных в США в 1970 г., кроме спасательных работ проводились различные исследования по заказам военно-морских сил.

Для военных и хозяйственных исследований, разведки ресурсов и выполнения подводных работ успешно использовались глубоководный аппарат «Алюминат» Он погружался в Северный и Центральной Атлантике, в Карибском и Средиземном морях, у берегов Африки. Этот аппарат участвовал в операциях по подъему затонувших судов, самолетов и аппаратов, исполь-

зовался при поиске полезных ископаемых. Сейчас «Алюминат» переоборудуют для работ на глубоководных нефтегазовых месторождениях.

Необходимость в прокладке по морскому дну нефтепроводов, монтаже буровых вышек, обслуживании и ремонте подводных сооружений вызвала появление автономных подводных аппаратов с камерами для транспортировки водолазов в режиме нахождения. Первый такой аппарат «Дип дайвер» был построен фирмой «Перри Кабмарин» в 1967 г. После ее имя фирма стала создавать более совершенные аппараты, оснащенные манипуляторами, которыми можно выполнять работы на глубинах, недоступных водолазам.

В связи с возрастающим спросом на подводные работы фирма «Перри» приступила к серийному выпуску рабочих аппаратов с глубиной погружения до 900 м. Особенностями этих аппаратов являются прозрачная носовая сфера прочного корпуса, наличие водолазного отсека, оснащенного компрессом для стыковки с глубокой декомпрессионной камерой, манипуляторы, инструменты, модульный прочный корпус, форму которого можно изменять в зависимости от предстоящей работы на морском дне.

Одним из современных аппаратов фирмы «Перри» является ПК-16 с рабочей глубиной погружения 915 м, прочным корпусом из трех стальных стальных сфер. Аппарат предназначается для транспортировки обслуживающего персонала в ящике и производственных помещений, устанавливаемых в глубинах моря. Подводные аппараты фирмы «Перри» пользуются большим спросом на мировом рынке и строятся большими сериями. Эти аппараты как наиболее удачные для подводных работ приняты к строительству фирмами Англии и ФРГ. К типу ПК-18 относятся построенные аппараты «Мермайль», «Вол-Лл» и др.

Чрезвычайно оригинальным является аппарат «Св Линк», имеющий камеру для водолазов и прозрачный корпус для размещения гидронта и руководителя подводных работ.

Уровень современной техники позволяет водолазам работать на глубинах до 300 м, причем стоимость работ растет с увеличением глубины погружения. Считается, что работа водолазов эффективна на глубинах до 150 м; ниже экономически выгодно обитательные подводные аппараты.

Высокая стоимость и опасность работы водолазов на глубинах свыше 300 м требует применения других, более дешевых и безопасных технических средств — обитаемых рабочих аппаратов, дистанционно управляемых аппаратов-автоматов, в будущем, вероятно, подводных роботов.

Совершенные усовершенствованные манипуляторы позволяют выполнять достаточно сложные работы: сварку, заваривание газы, монтаж и ремонт подводных инженерных сооружений.

В 1969 г. в США был построен экспериментальный рабочий аппарат «Бисер-4», оснащенный системой манипуляторов, сменными инструментами и камерой для доставки подлозов к месту подводных работ. В последние годы модификация этого аппарата была принята к серийному строительству. Современные французские аппараты типа «Мозан» имеют водоизмещение 9 т и глубину погружения 450 м. В 1975—1976 гг. построено три таких аппарата. Двухфермный прочный корпус имеет 16 больших аккумуляторов, обеспечивающих круговой обзор, и заключен в раму, на которой укреплены все абортные устройства, системы и рабочие органы. Для выполнения подводных работ аппарат оснащен манипуляторами, имеющими пять степеней свободы, и сменными инструментами: пробоотборниками грунта, захватами, резаками, насосами для зачерпывания гаска и др. Аппараты «Мозан» предназначены для обслуживания подводных нефтепрямых, но могут использоваться и для других работ.

Для выполнения землеройных работ на дне моря строят подводные бульдозеры, кранокопатели, кабелюкладчики и другие рабочие машины. У некоторых машин кабинкой для водолаза служит подводный аппарат, который может отсоединяться от машины и всплывать на поверхность для смены экипажа. Такой двухместный аппарат «Глобьюл» с круговым обзором и глубиной погружения до 200 м предназначен для управления подводным кабелематлабулем. Для стыковки с аппаратом эта подводная машина имеет специальную площадку, на которую садится аппарат и соединяется с ней при помощи четырех магнитных фиксаторов. После присоединения экипаж может управлять «подводным плугом», зарывающим кабель на глубину 1 м с помощью гидронасоса. Аппарат «Глобьюл» может также использоваться для исследований и осмотра подводных объектов.

Не менее интересен французский трехместный аппарат «Сина» водоизмещением 8,5 т, предназначенный для выполнения исследований и работ на глубинах до 3000 м. Он оборудован необходимыми системами управления, навигации и связи. Манипулятор, имеющий пять степеней свободы, может брать пробы грунта, работать гаечным ключом, резаком и другими инструментами, кроме того, предусмотрена установка сменных инструментов и приборов. Большая глубина погружения и значительная полезная нагрузка при относительно малом водоизмещении достигаются применением высокопрочных материалов, малогабаритного оборудования и благодаря рациональным проектным решениям.

Количество подводных аппаратов ежегодно возрастает примерно на 30%. Следует ожидать, что в 1978 г. темпы их строительства будут увеличиваться.

Подсчитано, что половина всего эксплуатационного времени аппаратов затрачивается на обслуживание морских нефтепро-

мыслов, пятая часть — на осмотр и укладку в траншеи подводных трубопроводов и кабелей, десятая часть уходит на подводные и аварийно-спасательные работы. Остальное время — биологические и геологические исследования, сбор кораллов и контроль за загрязнением океанов.

Для строительства аппаратов характерна тенденция к увеличению глубины погружения и водоизмещения. Средние значения соответственно составляют 10 и 26% в год. Эти характеристики растут вместе с увеличением глубины осваиваемых районов океана.

У современных аппаратов средний состав экипажа составляет 3 чел., автономно по жизнеобеспечению 72 ч на 1 чел., средняя полезная нагрузка около 600 кг.

Для повышения эффективности подводных аппаратов разработаны специальные приборы и манипуляторные устройства. Все новейшее конструктора представляет собой трубчатую раму, закрепленную в носовой части аппарата. На раме монтируются фотоаппараты, манипуляторы, конвейеры с инструментами, источники энергии и другие приборы многообразного назначения. При смене программы исследований или работ новейшее оборудование может заменяться. Такой приборный комплекс, в частности, устанавливается на аппаратах «Алмон», «Гарт», «Сина» и др.

Эффективность подводных аппаратов также повышается за счет одновременного использования на одном судне-базе нескольких обитаемых и дистанционно управляемых подводных аппаратов. Так, например, в США на одном судне используются батискаф «Трест» и буксируемый обитаемый аппарат «Фенд».

Для работы в районах с тяжелыми погодными условиями строят полностью автономные подводные аппараты, аналогичные малотоннажным подводным лодкам с дизель-электрической или атомной энергетической установкой, которые не нуждаются в обслуживающем судне. Подводные суда такого типа предназначены для осмотра подводных кабелей и трубопроводов, разведочного бурения, обеспечения работы подлозов на морском дне и выполнения других работ. Их основные характеристики: глубина погружения, автономность, водоизмещение и др. — определяются назначением и районом работ.

В 1969 г. американской фирмой «Электрик боут» была построена научно-исследовательская подводная лодка HP-1 водоизмещением 400 т, глубиной погружения 1000 м с компактной атомной энергетической установкой, успешно проработавшей 8 лет. В связи с эффективным использованием HP-1 планируется строительство такой же второй лодки HP-2 с увеличенной глубиной погружения.

Во Франции строится аналогичное подводное судно «Аржонет» с дизель-электрической установкой для исследований и работ на глубинах до 600 м. Экипаж состоит из 10 чел., в том

числе четырех глубоководных водолазов, способных выходить в море на глубинах до 300 м.

«Аржаронет» оборудована манипуляторами, буровой установкой, широким комплексом научного оборудования и вспомогательной рубкой для спасения экипажа при аварийной ситуации.

Фирмой ИЛК (ФРГ) построена дизель-электрическая подводная лодка «Таурс 200/500» с глубиной погружения до 500 м, скоростью надводного хода 4 м/с, подводного — 5,5 м/с, автономностью 14 сут и экипажем 7 чел. Емкость аккумуляторной батареи обеспечивает плавание под водой со скоростью 1,5 м/с в течение 32 ч. Запас топлива хватает для плавания экономическим ходом на расстоянии 2000 миль. «Таурс» не нуждается в судне-базе и не зависит от погодных условий, что дает высокий экономический эффект. На лодке имеются 9 спальных мест, общий кубрик, камбуз, санитарные и рабочие помещения, отсек для четырех водолазов и буровой станок для бурения скважин глубиной 200 м. Аппарат предназначен для подводных работ в прибрежных районах Северного моря.

В 1977 г. в Японии разработана проект туристской подводной лодки, аналогичной мезоскафу «Огюст Пикар». Лодка вмещает 48 пассажиров, имеет водоизмещение 430 т и может плавать на глубинах до 50 м. Дизель-электрическая установка обеспечивает подводную скорость 1,5 м/с в течение 6 ч и надводную — 4 м/с в течение 60 ч. Внутри прочного корпуса для каждого пассажира предусмотрено мягкое кресло и иллюминатор диаметром 25 см, позволяющий обозревать подводные ландшафты.

Кроме научно-исследовательских и рабочих подводных лодок строятся водолазные комплексы. Так, например, фирма «Дрейер АГ» (ФРГ) построила комплекс для погружения водолазов на глубину 500 м. Комплекс состоит из надводного судна, на котором расположено восемь раздельных барокамер. В каждой барокамере находится команда водолазов из 4 чел., а любое время готовых к погружению. В жилых барокамерах созданы максимально возможные комфортные условия. Удобные спальные места, санитарный узел, пищевой блок, телевизионные установки и телефоны, устройства для коррекции искажений голоса в газовой атмосфере. На судне имеется запас дыхательной смеси на 45 сут (около 60 тыс. м³ свежего газа, в основном гелия) и установка для ее регенерации; система газоснабжения управляется с единого пульта. Погружение водолазов на морское дно производится в батисфере, подвешенной на кабель-тросе. Батисфера опускается с валубы судна через круглую шахту, расположенную в средней части судна.

Самые большие аморизаторы, водятся кабель-троса и стабилизаторы судна база обеспечивают устойчивое положение батисферы на морском дне, вблизи объекта работ, а также удобство выхода и входа водолазов в батисферу. После окончания

работ водолазы входят в батисферу, закрывают люк и их поднимают на борт судна, где через люк они переходят в свою барокамеру.

Для ремонта трубопроводов и выполнения различных работ под водой в последнее время стали разрабатывать специальные водолазные «мастерские», включающие водолазные барокамеры, обитаемые аппараты, комплект необходимых инструментов, принадлежностей и материалов для подводных работ. Водоизмещение этих «мастерских» достигает 300 т и более.

Современные суда-базы и грузовые устройства позволяют спускать и поднимать водолазные аппараты при водоизмещении 3—4 балла. Некоторые устройства, разработанные в последние годы, позволяют осуществлять спуско-подъемные операции при 6-балловом волнении. Однако во время шторма значительно затрудняются не только спуско-подъемные операции, но и обслуживание аппарата на борту судна.

Для повышения эффективности комплекса судно-подводный аппарат необходимо увеличение надежности аппарата и применение подводных судно-баз, обеспечивающих независимость от погодных условий. При наличии атомной энергетической установки возможна длительная работа на больших глубинах без всплытия на поверхность, при дизель-электрической установке подводная база должна периодически выходить на поверхность для подзарядки аккумуляторных батарей.

Шведская фирма «Кокумс» по заказу военно-морского флота строит спасательный аппарат УРФ водоизмещением 80 000 кг, доставляющий на глубину 450 м экипаж из 5 чел., в том числе 2 водолазов и инструмент массой 2000 кг. Для транспортировки аппарата к месту работ создается подводный носитель ССВ. Его водоизмещение составляет 1 600 000 кг, длина — 65 м и глубина погружения — 120 м. Подводный носитель, не всплывая на поверхность, может выводить в море и принимать на борт подводный аппарат. Этот подводный комплекс в течение года может работать под водой 130 сут, т. е. его экономическая эффективность значительно выше, чем у других технических средств аналогичного назначения.

С опытом эксплуатации выявляются новые требования, направленные на улучшение технико-экономических и эксплуатационных качеств аппаратов, происходит непрерывный процесс совершенствования. Так, для увеличения объема аппараты начали оснащать большими полусферическими иллюминаторами (аппараты «Галил», «Моана» и др.). На аппаратах типа ПК-18 переднюю полусферу выполняют из прозрачного материала, а некоторые аппараты строят с корпусом из прозрачного материала («Си Линкс», «Хаккино» и др.).

Аппараты оснащаются более совершенными навигационными системами, средствами связи, гидролокатора и телевизионными устройствами для обзора забортного пространства. Улуч-

шается качество механических рук, создаются манипуляторные устройства, способные выполнять монтажные и ремонтные работы на больших глубинах. Разрабатываются новые более эффективные источники энергии, позволяющие значительно увеличить скорость и автономность подводных аппаратов.

В связи с ростом морских промыслов и увеличением их глубины можно ожидать повышения спроса на обитаемые рабочие подводные аппараты, поскольку на глубинах свыше 600 м водолазы не могут осуществлять различные работы.

Исходные естественные запасы рыбы и промысловых животных, а также введение экономических зон шириной до 200 миль потребовало донска путей повышения продуктивности собственных шельфов и развития маринкультуры. Эти обстоятельства вызывают необходимость создания специальных подводных аппаратов и лабораторий для биологических исследований и обслуживания подводных хозяйств. Увеличение количества аппаратов и погружений, а следовательно, и аварийных ситуаций выдвигает проблему создания специальных подводных аппаратов и систем.

В связи с международным характером изучения и освоения океанских глубин некоторые зарубежные классификационные общества, осуществляющие надзор над проектированием и строительством подводных аппаратов, рекомендуют унифицировать характеристики и элементы аппаратов, определяющие их безопасность. К ним можно отнести: автономность системы жизнеобеспечения, которая должна быть не менее 72 ч на 1 чел., рабочие частоты звуковой волны связи и аварийных маяков. Целесообразно также унификация рынков и газов для спуска и подъема аппаратов из борт судна, а также создание международной аварийно-спасательной службы для оказания взаимной помощи при авариях.

Проведение подобных мероприятий повысит безопасность погружений и работы под водой.

Анализ освоения ресурсов морских глубин и развития подводной техники позволяет сделать следующие выводы: на современном этапе обитаемые аппараты стали наиболее эффективными средством выполнения исследований, экспериментов и работ на любых глубинах Мирового океана;

благодаря универсальности и снижению стоимости серийных обитаемых аппаратов интенсивность их использования растет быстрее во сравнению с другими техническими средствами аналогичного назначения;

целерациональное совершенствование отдельных элементов и общей компоновки повышает надежность и эффективность, эксплуатация обитаемых аппаратов, а унификация узлов и серийная постройка снижают стоимость их постройки;

наибольшим спросом будут пользоваться рабочие аппараты для подводно-технических работ и исследований;

для выполнения простых исследований, поиска, замеров параметров среды и аэричных работ, не требующих присутствия человека, станут широко применяться дистанционно управляемые и автоматические подводные аппараты;

для выполнения долговременных и крупномасштабных работ все большее значение будут получать аппараты (подводные суда), базирующиеся на берегу;

с целью повышения эффективности и для выполнения работ и исследований в районах с тяжелыми погодными условиями для транспортировки и обслуживания глубоководных аппаратов будут использоваться подводные суда-базы;

создание принципиально новых подводных энергетических установок с новыми технико-экономическими показателями приведет к созданию подводных аппаратов с большой скоростью, автономностью и полезной грузоподъемностью;

выявление на морском дне добычных машин, промышленных и хозяйственных комплексов вызовет необходимость присутствия специалистов для исследования среды, монтажа сооружений, паллака, контроля работы и ремонта глубоководных инженерных сооружений, а следовательно, необходимость в обитаемых подводных аппаратах различного назначения;

потребность в обитаемых подводных сооружениях и аппаратах с новыми технико-эксплуатационными характеристиками будет определяться общим развитием подводных промышленных комплексов и хозяйств.

5.4. Методы проектирования

Подводные аппараты проектируют на основе теории, методов, нормативов, установленных в судостроении, учитывая при этом особенности конструкции и назначения аппаратов. При проектировании используют: теорию корабля, строительную механику, машиностроение, электротехнику, гидродинамику, теплофизику судостроения и другие судостроительные дисциплины.

Поскольку самоходный обитаемый аппарат является подводным транспортным средством, при его проектировании используют специальные методики, разработанные для подводных лодок. К ним относятся методики расчета плавучести и остойчивости в подводном и надводном положениях, ходности под водой, прочности корпуса и др.

Выбор метода проектирования зависит от практики в судостроении архитекторов и конструкторов, а цель работы и требования, предъявляемые к конструкторской документации, во всех случаях одинаковы.

При разработке проекта, особенно на ранней стадии, большое значение имеют опыт конструкторов, их интуиция и изобретательность.

Конструктор, хорошо знакомый с аппаратами различных типов и обладающий развитым чувством объемаемого представления, может на ранних стадиях проектирования определить с достаточной точностью наиболее рациональную конструктивную схему аппарата, его главные размеры и искомые характеристики.

Разнообразные приемы, используемые при определении характеристик и элементов проектируемого аппарата, в конечном счете сводятся к разработке чертежей общего расположения, отдельных устройств, механизмов, принципиальных схем, выполнению расчетов, текстовых материалов в таком составе, чтобы проект отражал характеристики, общую компоновку конструкции всех элементов и содержал бы документацию, по которой можно построить аппарат.

К необходимым и обязательным приемам проектирования относятся графические обработки конструкции.

При проектировании определяют массу аппарата, его размещение, плавучесть и остойчивость, рассчитывают прочность корпусов и ограждений, находят буксирную мощность, составляют диаграммы статической и динамической остойчивости, расценивают скорости погружения и всплытия и т. д.

Распространенным приемом проектирования аппарата, даже на ранней стадии, является прорисовка ссылов и разработка чертежей общего расположения и отдельных узлов, которые дают зрительное представление о компоновке аппарата и позволяют выполнять ориентировочные расчеты массы, плавучего объема, удельной энергии, скоростных движений и т. п. В последующем, на основе предварительных и упрощенных эскизов и расчетов, постепенно уточняются все характеристики в конструкции, а также определяется их совместимость.

При проектировании используют следующие методы:
метод проектирования по прототипу;
метод последовательных приближений;
метод вариаций;
системный метод.

Проектирование по прототипу. Метод предусматривает широкое применение характеристик аппарата, близкого по конструкции к проектируемому, например данных о соотношении элементов, массовых показателей, различных эмпирических коэффициентов и др. В этом методе используются различные формулы и коэффициенты пересчета, значительно упрощающие решение многих задач.

При анализе статистического материала по построенным аппаратам часто наблюдаются значительные отклонения их характеристик и элементов от полученных теоретическим путем. В связи с этим возникает необходимость анализа и сопоставления особенностей однотипных аппаратов, проверенных

в эксплуатации. В качестве прототипов выбирают аппараты, хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации.

Аппараты-прототипы также используют для решения отдельных задач, например при разработке теоретического чертежа или для расчета некоторых показателей, составления нагрузки и т. п.

В качестве прототипа может быть принят аппарат, удовлетворяющий большинству требований технического задания, но имеющий, допустим, недостаточную скорость в глубинах погружения. В данном случае могут быть сохранены схема и состав оборудования аппарата и лишь пересчитывается мощность энергетической установки, двигателей и прочность корпуса. При этом в проект могут вноситься дополнительные улучшения отдельных узлов или оборудования.

Под термином «прототип» понимается не только реально существующий аппарат, но и конструкторская документация, чертежи общего расположения, основные характеристики, расчет нагрузки и спецификация. Наличие конструкторской документации в объеме эскизного или технического проекта значительно облегчает проектирование аналогичного аппарата, если от прототипа он отличается лишь некоторыми характеристиками, например составом команды и научно-исследовательского оборудования, автономностью, новыми материалами, оборудованием и т. д.

Новый проект является как бы дальнейшим развитием технических идей, заложенных в зрительных образах.

Вследствие отсутствия обработанных статистических данных по опыту эксплуатации и оптимальным типам аппаратов, а также быстрого развития подводной техники проектирование по прототипу имеет ограниченные применения.

Метод последовательных приближений. Это наиболее распространенный метод проектирования подводных аппаратов. Им пользуются в том случае, когда отсутствуют прототипы и необходимые для проектирования исходные данные (по эксплуатации аналогичных аппаратов, оборудования, материалам и др.).

Для разработки и поставки оборудования, устройств и изделий при проектировании общего образа привлекаются специализированные предприятия-контрагенты. При этом техническое задание на разработку и договор на поставку составляет проектант. На первых стадиях проектирования аппарата должны быть определены характеристики всех разрабатываемых систем, оборудования и изделий, в том числе их приблизительная масса, габаритные размеры и потребляемая мощность. Все характеристики указываются в техническом задании.

Когда прорисовывают эскиз общего расположения, на нем указывают место установки, ориентировочные размеры и массу новых изделий.

Для разработки технического задания привлекаются различные специалисты: электроники, гидравлики, гидрокустыки, радисты и др. Техническое задание согласовывают со специалистами соответствующего предприятия-контрагента. Специализированное предприятие в процессе разработки уточняет характеристики изделия. Окончательно они выполняются только после всесторонней оценки опытного образца и записываются в техническое условие на поставку.

Таким образом, отсутствие конкретных данных не позволяет проектировщику точно рассчитать на первых стадиях массу, габаритный объем и другие важные характеристики аппарата. Задача облегчается в том случае, когда при проектировании используются в основном изделия и материалы, поставляемые промышленностью. При этом даже в начальной стадии значительно повышается точность определения характеристик и элементов аппарата.

В соответствии с законами физики между аппаратом и средой, в которой он эксплуатируется, а также между характеристиками аппарата существуют функциональные зависимости, которые могут быть выражены конкретными математическими формулами. Однако количество неизвестных характеристик, определяемых в процессе проектирования, значительно превосходит количество составленных уравнений. Кроме того, целый ряд характеристик, а также показателей качества аппаратов (например, удобство эксплуатации, экономическая эффективность, маневренность и др.) трудно выразить математическими зависимостями. Вследствие такой неопределенности возникает необходимость постепенного и последовательного решения общей задачи. Так, например, ориентировочные данные, указанные в техническом задании, можно уже на следующей стадии проектирования уточнить при более углубленной проработке систем и конструкций.

Иногда на ранней стадии проектирования проводят испытания моделей, позволяющие получить данные для более точного расчета сопротивления движению и мощности водных двигателей. В каждой последующей стадии проектировщик получает все более достоверные сведения от контрагентов и от собственных специализированных отделов, более углубленно прорабатывающих общесудовые системы, отдельные конструктивные узлы, корпусные конструкции и т. д. Уточнение масс и объемов продолжается вплоть до постройки опытного аппарата.

Для компенсации возможных ошибок обычно принимают запасы водонемещения, мощности энергетической установки и движительного комплекса.

В зависимости от назначения, конструкции и сложности аппарата содержащееся в объеме работ на каждой стадии может видоизменяться.

При разработке конструкторской документации кроме расчетов широко используют графический метод для уточнения теоретического чертежа, чертежей общего расположения, конструкции отдельных узлов и схем.

Время проектирования и количество стадий может сокращаться при наличии у проектировщика тщательно и подробно разработанного технического задания, а также исчерпывающих сведений о массе, объеме и энергоемкости оборудования и систем. Кроме того, чем проще тип аппарата (гидростат, буксирная камера), тем меньше объем работ и короче срок проектирования.

Особенность проектирования на ранних стадиях заключается также в том, что в уравнения и расчеты вводят с заданными и искомыми величинами приходится вводить ориентировочные параметры, значения которых могут изменяться в некотором интервале. Наличие ориентировочных параметров делает задачу определения характеристик неоднозначной.

Так, например, при расчете буксирной мощности по эмпирическим формулам приходится принимать ориентировочные значения коэффициентов сопротивления движению и водонемещению аппарата, поскольку их значения уточняются вплоть до конца проектирования. Полученные ориентировочные значения буксирной мощности позволяют лишь приблизительно определить массу энергетической установки и массу аппарата в целом, которые, в свою очередь, зависят от диаметра и материала прочного корпуса и других параметров. Коэффициент сопротивления также зависит от неизвестной на данной стадии площади мидельового сечения и выступающих частей.

Как правило, изменение параметра, улучшающее одни свойства, одновременно ухудшает другие. В случае установления несовместимости отдельных требований технического задания обычно принимают компромиссные решения в пользу характеристик, отвечающих основному назначению аппарата. Например, для увеличения скорости без повышения мощности движителей иногда увеличивают диаметр прочного корпуса, тем самым ухудшая условия обитаемости в работу экипажа. С целью увеличения глубины погружения при сохранении заданной массы может быть принято решение изготовить прочный корпус из титанового сплава, что вызывает повышение стоимости.

В некоторых случаях конструкторскими мерами невозможно обеспечить остойчивость аппарата, тогда приходится предусматривать укладку постоянного твердого балласта и снижать полезную грузоподъемность. Для уменьшения габарита дифферентной системы вместо воды применяют ртуть, что значительно усложняет эксплуатацию. Можно привести много других компромиссных решений.

Метод вариаций. Этот метод используется на ранних стадиях проектирования и сводится к определению характери-

стик аппарата в ряде вариантов, удовлетворяющих основным требованиям технического задания, с последующим анализом полученных решений и выбором оптимального варианта.

Конкурирующие варианты проектируемого аппарата должны иметь одинаковый тип, назначение и основные характеристики аппарата, указанные в техническом задании. Варианты могут отличаться конструктивной схемой, материалом прочного и легкого корпусов, типом источников энергии, движительными комплексами, стоимостью постройки и т. п.

В зависимости от назначения критерием оптимальности может быть главная классификационная характеристика, например: скорость, глубина погружения, полная грузоподъемность, автономность при минимальных массах и стоимости.

Общим критерием оптимальности для любого аппарата служит минимальная стоимость строительства и эксплуатации при равных характеристиках, удовлетворяющих требованиям технического задания.

Определение характеристик и конструкции аппарата методом вариаций требует выполнения большого объема графических проработок и расчетов.

Точность результатов при многовариантном проектировании зависит от глубины и тщательности проработок, при этом чертёжные работы, связанные с проработкой компоновки аппарата, расчетами масс, объемов, составляют основную часть проектирования.

Для вычисления трудоемких однообразных расчетов в выборе из множества вариантов оптимального решения используются вычислительные машины.

Разрабатывается метод автоматического проектирования с помощью ЭВМ.

Системный метод. Практически при разработке проекта конструкторы используют одновременно все три вышесказанных метода. Метод проектирования по прототипу проявляется в том, что конструктор пользуется справочной литературой по подводным аппаратам, где приведены основные характеристики, чертежи общего расположения, фотографии, отдельные элементы. Этот метод основан также на использовании опыта конструкторов, ранее участвовавших в проектировании подводных аппаратов. Безусловно, в новом аппарате применяются наиболее удачные технические решения и элементы ранее спроектированных и опробованных на практике аппаратов.

Следует заметить, что конструкторы всегда использовали аналоги из смежных областей техники при создании нового изделия и даже изобретения. Прототипами для первого в мире батискафа ФНРС-2, созданного Огюстом Пикаром, послужили аэростат, дирижабль и батискаф.

Метод последовательных приближений наиболее распространен. В нашей стране он стал государственным стандартом.

Многовариантные проработки всегда применяются при создании новых, еще не опробованных на практике объектов.

Одновременное использование трех перечисленных традиционных методов и новых организационных форм нашло свое отражение в системном подходе к проектированию.

В основе нового метода, называемого системным проектированием, лежит комплексный подход к созданию сложного инженерного сооружения. Системный метод предусматривает предварительную разработку схемы и графика работ, учитывающих: распределение трудовых и финансовых ресурсов, организацию информации, обеспечение координации работ, точное определение всех главных аспектов проблемы и их связи до основополагающих процессов, гарантированное обеспечение промежуточных и конечных сроков выполнения программ научно-исследовательских, проектных и строительных работ.

Системный метод проектирования судна также предусматривает:

проектирование в комплексе всех конструктивных элементов и систем судна, соответствующих своему назначению и способных выполнять свои функциональные задачи;

автоматизацию управления устройствами и системами с целью сокращения состава команды и повышения быстродействия;

точное определение взаимосвязей всех судовых систем и устройств на стадии разработки технического задания;

оптимальность расположения оборудования, распределения объема, полезной нагрузки, обитаемости, маневренности, снижение шумности и предварительное решение других многочисленных проблем;

унификацию и взаимозаменяемость элементов, конструкций, снабжение запасными частями и унифицированными блоками; учет экономических факторов, опыта и возможностей завода-строителя;

полный анализ всех конструктивных элементов судовых систем, изделий, применяемых в подводном аппарате, с точки зрения срока их разработки и поставки.

Современный научно-исследовательский или рабочий подводный аппарат также состоит из многих специализированных устройств и систем, являясь в то же время единым подводным транспортным средством, слаженно работающим совместно с судном-базой.

Применительно к сложному подводному аппарату или самоходной лаборатории системное проектирование может выполняться в такой последовательности:

сбор, обработка и анализ информации о состоянии проблемы и характеристиках аналогичных аппаратов;

определение основных функциональных задач аппарата и работ работ;

установление технологии и определение необходимых устройств, систем и приборов для выполнения подводных работ;

установление свойств аппарата при его взаимодействии с объектом работ, окружающей средой и судно-базой;

определение состава устройств, систем и приборов, обеспечивающих функционирование и взаимодействие аппарата с окружающей средой;

выявление материалов и оборудования, поставляемых промышленностью, а также подлежащих разработке и специально изготовлению. Определены предприятия-контрагенты и возможные сроки изготовления специальных материалов и оборудования;

составление сетевого графика выполнения проектных работ;

выполнение технических заданий на разработку специальных материалов и оборудования, определения их стоимости и заключение договоров с предприятиями-контрагентами;

определение специализированными организациями масштабы, энергоресурсных и других характеристик нового оборудования, устанавливаемого на аппарате;

разработка эскиза общего расположения для определения необходимых объемов и размещения оборудования и экипажа;

разработка технического задания на проектирование;

разработка конструкторской документации методом последовательных приближений с применением принципов системного проектирования;

выполнение программы изготовления, испытания и приемки вновь разрабатываемого оборудования и строительства подводного аппарата в целом.

Можно предположить, что дальнейшее совершенствование методов проектирования подводных аппаратов пойдет по пути постепенной замены эмпирических формул и эскизных проработок на точные математические зависимости, основанные на объективных законах физики и механики, что повысит точность расчета характеристик и элементов конструкции аппарата на ранних стадиях проектирования.

Сроки проектирования могут сокращаться за счет усовершенствования организации, методов и приемов проектирования, уменьшения объема графических проработок и более широкого применения аналитических методов расчета и ЭВМ, а также ускорения разработки нового оборудования.

§ 3. Стадия проектирования

Метод последовательных приближений, предвещающий развитие всего процесса проектирования на отдельных стадиях, выполняемых по определенной схеме, заведен Государственным стандартом (ГОСТ 2.102—68, ГОСТ 2.103—68).

ГОСТ устанавливает единую систему конструкторской документации (ЕСКД) в следующие стадии ее разработки:

- техническое задание;
- техническое предложение;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочая документация.

Разработку технического задания, технического предложения и эскизного проекта обычно называют ранней стадией проектирования. На этой стадии устанавливается целесообразность и возможность создания конкретного аппарата с характеристиками, указанными в техническом задании.

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые определяют состав и устройство подводного аппарата и содержат необходимые данные для его изготовления, приемки, эксплуатации и ремонта.

Разработка технического задания. Заказчиком подводного аппарата обычно является предприятие или научно-исследовательский институт, которому предстоит использовать проектируемый аппарат. Представителями заказчика выступают специалисты подводных работ или исследователей, например: водолазы по подъему затонувших судов, морские геологи, биологи, промышленники, океанологи. Они, естественно, не имеют опыта в проектировании аппаратов, в свою очередь, конструкторы мало знакомы со спецификой подводных работ. Техническое задание обычно разрабатывает проектно-конструкторский институт, действующий в том же ведомстве, где и заказчик. В работе участвует небольшая группа высококвалифицированных инженеров, имеющих большой опыт в проектировании, испытаниях и эксплуатации подводной техники и достаточно хорошо знакомых с основами океанологии и методами подводных исследований и работ. Тем не менее на первой стадии разработки технического задания проектная группа работает совместно с представителями заказчика, используя всю имеющуюся научно-техническую информацию и привлекая к работе экспертов по специальным разделам смежных знаний.

Проектная группа изучает и анализирует все существующие технические средства и способы подводных работ, для которых должен быть построен аппарат. Такой работой, например, может быть прокладка подводного кабеля или трубопровода. Эта работа может осуществляться надводными судами, с помощью водолазов или подводных обитаемых самоходных аппаратов или аппаратов-автоматов. Подводные исследования тоже могут выполняться различными средствами. Поэтому перед разработкой технического задания проектист вместе с заказчиком должен определить наиболее технически целесообразный и экономически эффективный метод выполнения заданных подводных работ или исследований.

Для конкретизации дальнейшего изложения допустим, что таким средством принят обитаемый автономный аппарат, доставляемый в район работ судном-базой. В этом случае проектная группа анализирует существующие аппараты данного типа, опыт их эксплуатации, определяет состав научно-исследовательского оборудования, характеристики и главные элементы. Грубо собирает, обобщает и прорабатывает рекомендации специалистов, выбирая по результатам анализа наиболее оптимальные технические решения.

Коллективное сотрудничество на этой стадии необходимо для определения исходных данных и выработки единого взгляда на выбор основных характеристик, типа аппарата и метода его использования. Эта начальная стадия характера длительными дебатами и спорами узкого круга специалистов, обсуждающих предварительные данные и эскизы.

На совещаниях уточняются назначение, район использования, оснащение рабочим оборудованием, тип аппарата, устанавливаются предельные значения основных характеристик, оценивается стоимость аппарата и его эксплуатации. Выбирается вариант, способный с наибольшей эффективностью выполнить поставленные перед ним задачи.

Единой системой конструкторской документации (ЕСКД) не устанавливается номенклатура конструкторских документов технического задания на проектирование конкретных объектов. При проектировании отечественных аппаратов составляется и оформляется следующая конструкторская документация: техническое задание; пояснительная записка; приближенные расчеты; чертеж общего расположения; рисунок общего вида аппарата; эскизы и схемы специфических систем и оборудования.

Кроме перечисленной документации проектант выполняет другие проработки, чтобы убедиться в правильности требований технического задания и отсутствии крупных ошибок.

Текст технического задания оформляется в виде точной тетради, в которой кратко указываются основные требования: назначение, район работ, тип, основные характеристики аппарата. Некоторые из них задаются вполне определенной цифрой, например, рабочая глубина погружения, автономность, и задается пределом ограничиваются, как правило, водоизмещение, скорость, состав экипажа, автономность.

В техническом задании перечисляются виды подводных работ для исследований и средства, необходимые для их выполнения. Указывается, какими свойствами должен обладать аппарат, его системы и устройства, но не дается каких-либо рекомендаций для их обеспечения. В техническом задании устанавливаются требования, но не связывается инициатива конструкторов в части путей их выполнения. В отдельном пункте оговаривается возможность отступления от требований технического задания при условии согласования с заказчиком.

В пояснительной записке указывается, на основе каких решений и документов разрабатывается техническое задание, кто является заказчиком, приводятся исходные данные, получаемые от заказчика, и доводы в пользу создания проектируемого аппарата. Указывается его основное назначение, район работ и возможность применения для дополнительных работ и в других районах. Приводятся доказательства его преимуществ и более высокой эффективности по сравнению с другими средствами и способами выполнения аналогичных работ.

Кратко рассказывается об устройстве аппарата. Поясняются причины выбора типа, основных характеристик и конструктивной схемы аппарата. Дается описание предполагаемых главных элементов, обосновывается необходимость разработки нового оборудования и его основные свойства и задачи.

Приводятся и другие сведения о выполненной работе. В любом случае содержание пояснительной записки должно давать четкое представление о задуманном аппарате, его преимуществах и всей конструкторской документации, выполненной проектантом на данной стадии.

Для подтверждения правильности основных положений технического задания и соответствия требуемых характеристик и технических решений обычно оформляют приближенные расчеты: прочности корпусных конструкций, массовой нагрузки, водоизмещающего объема, плавучести, холодо-, мощности энергетической установки и других характеристик.

Главным чертежом технического задания является общее расположение аппарата в трех проекциях. Чертеж выполняется схематично и преследует цель дать лишь общее представление о конструктивной схеме и в первом приближении определить массу и габаритные размеры элементов.

Схематический чертеж общего расположения служит для выполнения рисунка и планшетов внешнего вида и интерьера аппарата. Цветной рисунок действующего под водой аппарата и планшеты внутреннего устройства с изображением помещений, оборудования, внешних устройств позволяют представить аппарат в деталях. Рисунки и планшеты демонстрируются на технических совещаниях, помогают присутствующим понять устройство и работу отдельных систем и механизмов.

Для решения различных конструкторских задач проектант на стадии разработки технического задания выполняет разнообразные эскизы, схемы и графики. Большинство этих документов не оформляется и не передается заказчику. Некоторые представляющие интерес схемы и предварительные чертежи сохраняют для последующего проектирования.

От правильности принятых в техническом задании решений зависит успех дальнейшего проектирования и строительства аппарата. Недостатки и ошибочные решения выявляются на следующем этапе — при разработке технического предложения,

когда могут быть найдены более рациональные технические решения.

Состав конструкторской документации технического задания дает лишь общее представление об аппарате, многие его характеристики и конструктивные элементы пока имеют ориентировочную точность и требуют более углубленной проработки.

Оформленная конструкторская документация обычно рассылается на рассмотрение заинтересованным организациям и затем рассматривается на объединенном техническом совете с привлечением представителей заказчика и сторонних организаций. Совет выносит свои рекомендации по дальнейшему проектированию.

Техническое предложение, Техническое предложение как этап проектирования соответствует предпроектному проекту и разрабатывается проектирующей организацией. На этой стадии изучают замечания технического совета по рассмотрению технического задания и проводят исследования с целью определения наиболее рационального аппарата. Для этого разрабатывают несколько вариантов аппаратов с отличающимися характеристиками и проводят сравнительный анализ вариантов с помощью ЭВМ. Глубина проработки должна доказывать целесообразность требуемой технической задачи, целесообразность выбора основного варианта и возможность разработки оборудования и строительства аппарата на конкретных предприятиях.

При анализе нескольких вариантов проектирующей организацией исследуют изменение их массы в зависимости от выбираемых материалов, типов оборудования и других факторов. В этом случае разрабатывают эскизы общего расположения, проводят более подробные расчеты и определяют массогабаритные характеристики вариантов. Ограниченное время не позволяет проектирующей организации проводить на этой стадии углубленную проработку каждого варианта, поэтому многие задачи решаются в первом приближении. После выбора основного варианта на данном этапе проектирования проводят более подробный расчет его характеристик и проработку элементов конструкции, затем сравнивают его конструктивные и эксплуатационные особенности, стоимость постройки и эксплуатации с данными по существующим подводным аппаратам аналогичного типа и назначения.

Одновременно выполняют технико-экономические расчеты по укрупненным показателям для обоснования целесообразности дальнейшей разработки проекта и строительства аппарата.

В связи с расширением и углублением конструкторских проработок и технико-экономических расчетов увеличивается коллектив проектирующей организации.

При уточнении чертежа общего расположения выбранного варианта рассчитывают объемы прочного и легкого корпусов, которые определяют размеры и конфигурацию помещений для

размещения экипажа, пультов управления, внутреннего и межкорпусного оборудования.

Более точные значения массы и объема позволяют пересчитать надежность, остойчивость, мощность, скорость аппарата с дополнениями и уточнениями, согласовать совместимость основных характеристик, указанных в техническом задании. На этой стадии часто выполняют и предварительный теоретический чертеж. Затем проводят анализ патентных материалов. В случае разработки конструкций, имеющих элементы изобретения, оформляют авторские заявки. В результате обработки материалов составляют патентный формуляр.

На стадии разработки технического предложения проектирующая организация привлекает специализированные организации и предприятия для согласования возможности выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, разработки и изготовления узлов систем, материалов и изделий на этапе эскизного проекта.

Комплексное проектирование систем с одновременной разработкой новых изделий сокращает время создания аппарата и повышает его качество и надежность.

В процессе совещаний со специалистами фирмы уточняются исходные данные вновь разрабатываемых изделий, что повышает точность характеристик и конструкцию по сравнению с полученными ранее.

По результатам разработки технического предложения составляется и оформляется следующие конструкторские документы: ведомость документов; пояснительная записка; технико-экономическое обоснование; расчеты теории корабля, прочностные, ходкости и др.; таблицы нагрузок, масс, объемов, балансы энергии и др.; схемы энергетической установки, движительных комплексов, устройств и общесудовых систем; чертеж общего расположения; теоретический чертеж; патентный формуляр; габаритный чертеж аппарата.

В ведомости документов перечисляются все оформленные конструкторские материалы, как предоставляемые на рассмотрение контролирующим организациям, так и сохраняющиеся в архиве проектной организации.

Пояснительная записка по своему содержанию аналогична записке, составленной при разработке технического задания, однако и ней приводятся более подробные сведения о характеристиках и конструктивных элементах, стоимости аппарата и результатах всех работ, выполненных на данной стадии.

Особым документом этой стадии является «Технико-экономическое обоснование создания аппарата». В нем дается обзор

современных способов и технических средств выполнения подобных работ, для которых создается аппарат. Указываются положительные свойства и недостатки существующих средств, стоимость и эффективность работ, приводятся экономические расчеты, доказывавшие преимущества проектируемого аппарата и целесообразность его постройки.

Более подробно выясняются особенности, возникла и эффективность вновь разрабатываемых систем и конструкций, возможность и стоимость их изготовления, а также ожидаемый срок готовности. Приводятся рекомендации по выбору завод-строителя и фирм-контрагентов, способных выполнять заказы на новое оборудование. Подробно рассказывается о преимуществах предлагаемой технологии подобных работ и новых рабочих устройств.

На этой стадии представляют более подробные расчеты различных вариантов с обоснованием выбранного. Расчеты включают характеристики (масса, объема, габаритности и др.) выполняемых в основе более точных сведений, полученных от контрагентов и специализированных отделов, по откорректированному и уточненному чертежу общего расположения, теоретическому чертежу, с учетом данных по принципиальным схемам и другим конструктивным проработкам.

По результатам анализа патентной чистоты конструкций и разработки патентных материалов оформляется патентный формуляр.

Иногда на этой стадии кроме чертежа общего расположения выполняется в трех проекциях габаритный чертеж с указанием основных размеров аппарата.

Объем конструкторской документации и состав расчетов, таблиц, схем и прочих документов определяется в процессе проектирования, поскольку они зависят от назначения, типа, конструктивной схемы и других показателей аппарата.

Кроме конструкторской документации, оформляемой для представления заказчику и контролирующим организациям, у проекта обычно сохраняются дополнительные расчеты, эскизы, таблицы и другие технические документы, водержащие: правильность принятых решений, совместимость требований технического задания, возможность изготовления аппарата и комплектующих изделий на конкретных предприятиях, расчет ориентировочной стоимости и экономической эффективности.

Техническое предложение рассматривается специалистами заказчика и после согласования и утверждения проектант приступает к эскизному проектированию.

Эскизный проект. Техническое предложение является основанием для эскизного и технического проектирования. В эскизном проекте на основе проработки технического предложения, конкретных сведений о характеристиках оборудования

и модельных испытаниях уточняются масса и объем, главные размерения, архитектура аппарата, а также технические задания на системы и оборудование, разрабатываемые и изготавливаемые предприятиями-контрагентами.

На этой стадии делают подробный расчет прочности корпусов, разрабатывают конструктивно отделанные элементы, строят кривые элементов теоретического чертежа, иногда проводят дополнительные модельные испытания для уточнения мощности и скорости аппарата. Эскизные проектирование, по существу, служит для более детального и точного определения элементов конструкций, характеристик и стоимости аппарата.

До эскизного проекта положение центра масс обычно определяют приближенно или по прототипу, теперь его положение уточняют путем подробного суммирования масс и моментов всех элементов конструкций, хотя некоторые из них могут еще иметь ориентировочную массу.

Наклон положения центра тяжести — главный фактор, компенсирующий неблагоприятную особенность аппарата во время погружения и всплытия, а также в случае аварийного всплытия при оброте балласта. Если размещением масс не удается обеспечить остойчивость, во всех случаях применяют дополнительную балласт. В эскизном проекте окончательно уточняется оборудование, которое дает энергию и сообщает движение аппарату. К нему относятся: источники энергии, электродвигатели, движительные комплексы. При выборе источников энергии возникает проблема их оптимизации в комплексе с другими характеристиками аппарата.

Ограниченные объемы прочного и легкого корпусов, их большое насыщение оборудованием не позволяют конструкторам решить на чертежах все вопросы, связанные с удобствами размещения, монтажа и обслуживания систем, механизмов и приборов. На стадии эскизного проекта становится необходимым макетирование аппарата в натуральную величину. Макет помогает с достаточной точностью выполнить технический проект и рабочие чертежи. На стадии технического проекта в макет могут вноситься какие-либо дополнения и изменения. В последующем макет облегчает монтаж оборудования, трубопроводов и кабельных сетей на строящемся аппарате.

На стадии эскизного проекта возникает окончательно формируемый аппарат как единое транспортное средство. С этого времени аппарат становится основной формой, под которую подгоняются все компоненты.

В конструкторских документах эскизного проекта должны содержаться конструктивные решения, дающие полное представление об общем устройстве, принципе действия отдельных узлов, устройств и параметрах главных систем, элементов конструкций, определяющих основные характеристики и условия эксплуатации аппарата.

Эскизный проект после согласования и утверждения служит основой для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

В состав конструкторской документации эскизного проекта входят материалы, перечисленные в техническом предложении, и дополнительно ведомость покупных изделий, ведомость согласования применения изделий.

В эскизном проектировании заводу перерабатывается вся конструкторская документация технического предложения.

В случае установки изделий, не предусмотренных техническими условиями для работы в морских условиях, их применение должно быть согласовано с фирмами-изготовителями для получения рекомендаций и выдачи гарантии на работоспособность изделия в несвойственном ему режиме. При наличии нескольких таких изделий составляется ведомость согласования для представления заказчику.

Также составляется ведомость покупных изделий, которые должны быть приобретены в магазинах, на складах или принятых заводом-строителем или заказчиком.

Перевисленным не ограничивается конструкторская документация. При решении сложных задач эскизного проектирования, в зависимости от сложности аппарата и трудности его создания, прототип может выполнять любую другую научно-исследовательскую и проектно-конструкторскую работу с оформлением соответствующей документации. Если глубина проработки и точность расчетов, выполненных в эскизном проектировании, определяют окончательные решения, то в этом случае проект может служить основой для разработки рабочих чертежей.

Эскизный проект представляется заказчику и контролирующим организациям на рассмотрение и заключение. В случае проектирования сложного и дорогостоящего аппарата проект рассматривается на техническом совете.

Технический проект. Технический проект разрабатывается на основе утвержденного эскизного проекта. Состав конструкторской документации проекта должен подтверждать выполнение требований технического задания, содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве аппарата в целом и его отдельных элементах и узлах, а также все исходные данные, необходимые для разработки рабочей документации. В техническом проекте окончательно определяются все характеристики, моменты и стоимость аппарата. Проект служит для заказа материалов, оборудования, прибора разработки рабочих чертежей, на котором осуществляется изготовление отдельных деталей и узлов, строительство, испытания и эксплуатация аппарата.

В техническом проекте производится дальнейшая проработка конструктивных узлов и более детальное определение всех характеристик. Разрабатываются чертежи отдельных устройств,

узлов и деталей, вращающиеся схемы кавалитизации шестерки, систем и трубопроводов.

На этой стадии проектирования должны получать от всех фирм-контрагентов технические условия на поставку всех материалов и всего устанавливаемого оборудования. Разрабатываются программы и методики испытаний, инструкции по эксплуатации механизмов и устройств.

Составляется полный комплект ведомостей заказа материалов и оборудования, а также документов, предназначенных для выполнения рабочих чертежей, разрабатывается спецификация, на основе которой заключается договор с заводом-строителем на постройку аппарата.

Технический проект используется заводом для разработки технологичной постройки.

Существует мнение, что конечным этапом проектирования является технический проект, поскольку на этой стадии принимаются окончательные технические решения. Некоторые авторы полагают, что проектирование кончается после готовности всех рабочих чертежей, необходимых заводу для строительства и владельцу для эксплуатации аппарата. В идеальном случае аппарат должен работать после изготовления всех деталей и их сборки в строгом соответствии с рабочими чертежами. Однако в действительности в процессе проектирования, строительства, испытаний и опытной эксплуатации выявляется множество недостатков, являющихся следствием просчетов или ошибочных решений. Поэтому в процессе проектирования и строительства в конструкторскую документацию вносятся исправления не только на всех стадиях, но и при постройке опытного, голяного и первого серийного аппаратов.

Таким образом, если учитывать участие проекта в опытной эксплуатации и соответствующую корректировку конструкторской документации, то проектирование аппарата продолжается вплоть до освоения его серийного производства.

Состав конструкторских документов технического проекта аналогичен эскизному проекту и дополнительно содержит: чертежи устройств и систем; спецификацию; программы и методики испытаний; технические условия на поставку нового оборудования; ведомости заказа материалов, оборудования, снабжения, запасных частей.

Кроме перечисленных проектирует может разрабатывать и другие технические документы, необходимость в которых выскит в процессе технического проектирования.

Одним из основных документов технического проекта является спецификация, в которой достаточно подробно поясняется назначение аппарата и дополнительные подводные работы, которые он может выполнять. Приводится точное значение всех основных характеристик и рассказывается о технических средствах, которые будут обеспечивать заданные свойства аппарата.

В спецификации приводятся сведения об устройстве всех конструктивных узлов, систем, приборов, которые в совокупности будут обеспечивать все требования технического задания.

Спецификация используется при заключении договора между заказчиком и заводом на строительство аппарата и является в этом случае неотъемлемой частью договора (договорная спецификация).

Для приобретения изделий и оборудования составляются заказные ведомости:

изделий, поставляемых заводом-строителем;
оборудования, изготовляемого на специализированных предприятиях по техническим условиям на поставку;
изделий и оборудования, вновь разрабатываемых по техническому заданию проектианта в особом договоре;
материалов, снабжения, запасных частей и принадлежностей;

специального снабжения, поставляемого заказчиком.

Опыт проектирования методом последовательных приближений свидетельствует об идентичности конструкторских задач на всех стадиях проектирования.

На каждой стадии проектирования, по существу, решаются и прорабатываются одни и те же конструкторские задачи. Последующий этап отличается от предшествующего большей точностью и достоверностью исходных данных, глубиной проработки и выпуском более подробной конструкторской документации.

Идентичность решаемых задач с их углублением и расширением прослеживается в перечне предоставляемой документации. Ряд документов, таких, как техническое задание, чертеж общего расположения, концептуальные записки, расчеты и др., является неотъемлемой частью начального и конечного этапов работ.

Основным критерием оптимальности аппарата на любой стадии его проектирования остается критерий экономической эффективности.

Согласно установленному порядку технический проект согласовывается с заказчиком, рассматривается базовыми и контролирующими организациями, утверждается соответствующими инстанциями министерства или ведомства и служит основой для разработки рабочей документации и строительства подводного аппарата.

Рабочая документация. На основе конструкторской документации технического проекта разрабатывают рабочую документацию, предназначенную для изготовления и эксплуатации опытного образца подводного аппарата. После изготовления, заводских, межведомственных и государственных испытаний проводится корректировка рабочих чертежей для изготовления опытной партии.

По результатам отработки эксплуатации проводят повторную корректировку конструкторской документации для изготовления головной серии.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА. АНАЛИЗ НАГРУЗКИ И ПЛАВУЧЕГО ОБЪЕМА

§ 6. Тактико-технические особенности обитаемого самоходного аппарата

Самыми универсальными, но и более сложными для проектирования являются самоходные подводные аппараты, транспортируемые на борту судна-базы (табл. 2.1). Назначение и условия использования этих аппаратов определяют их тактико-технические свойства: способность автономно плавать на поверхности моря, в толще гидросферы и вблизи поверхности дна с резко пересеченным рельефом; безопасно садиться на дно и зависать в толще воды для выполнения во внешней среде исследований или работ с помощью манипуляторов; наличие акустической плавучести на всех рабочих горизонтах (при изменении плотности воды в пределах от 1,0 до 1,08 кг/м³ и обжатии корпуса внешним давлением), а также положительной и отрицательной плавучести при маневрировании по вертикали во всем диапазоне рабочей глубины погружения; наличие дублирующих энергетических установок и возможность перендогрузки и погружения (зарядка аккумуляторов, баллоны ВВД) с помощью обслуживающего персонала судна-базы.

Обитаемые подводные аппараты совмещают в себе многие свойства аппаратов других типов, в частности подводных лабораторий. Между тем необходимость транспортировки на борту судна предъявляет к их массе и габаритам очень жесткие требования.

Именно эта, подчас трудно совместимые тактико-технические свойства обитаемых аппаратов обуславливают основные особенности их конструктивной схемы и отдельных узлов. Так, объем прочного корпуса, состоящего из сферических и цилиндрических элементов, должен быть достаточным для размещения небольшого необходимого экипажа и внутреннего оборудования. В корпусе не должно быть забортных отверстий, кроме входного люка, иллюминаторов и кабельных выводов. Жесткие требования к габариту и массе аппарата засчитываются

Продолжение табл. 2/

№ п/п	Наименование аппарата	Глубина работы, м	Масса аппарата, кг	Полная масса в 20 м, кг	Средняя стоимость, руб.	Автоматизация, %	Габариты, м	
							Д	М
48	«Мерей»	1 830	10,0	0,7	5,14	1,5		
49	«Пайос-5»	1 980	11,0	0,80	2,06	3		
50	«Дуно»	1 980	21,0	0,70	2,06	7,5		
51	«Дань»	1 980	9,4	0,65	1,64	3		
52	«Тарел»	1 980	30,0	1,60	2,06	4		
53	«Дань жемс»	2 440	32,0	4,7	2,57	10		
54	«Аэромонитор»	4 578	81,0	2,5	2,06	18		
55	«Славя»	6 000	33	1,6	2,06	8		
56	ДССВ	6 000	35	1,2	2,57	3,6		
57	«Дань стар-00000»	6 100	38,5	0,8	1,54	3,0		
58	ДЭС	10 700	80	2,0	1,54	4		
59	«Дуно»	11 000	150	4,0	2,57	9		
60	«Транс-1М»	11 000	170	0,5	0,51	3		
61	«Транс-2»	11 000	220	3,6	1,03	4		
62	«Дронед»	11 000	196	1,8	1,54	6		
63	ДСВ-11	11 000	71	1,6	1,54	4		

значительную часть оборудования (судовые системы, аккумуляторные батареи, двигатели) за пределы прочного корпуса и разместить под внешним давлением непосредственно в морской воде. Должны применяться приборы и оборудование с минимальными массой и энергопотреблением, а также использоваться сменное оборудование, чтобы обеспечить выполнение более широкого комплекса подводных исследований или работ.

Не менее сложной оказалась проблема размещения в минимальном объеме прочного корпуса экипажа и систем жизнеобеспечения, способных поддерживать нормальное существование экипажа в течение 3—4 сут (при аварийной ситуации). Минимальный состав экипажа, в свою очередь, привел к необходимости содержать на судне-базе специальный персонал для обслуживания и ремонта аппарата, кроме того, потребовал автоматизация управления движением аппарата, работой системных и приборных комплексов, т. е. определенного увеличения количества приборов и систем.

Легкий корпус аппарата служит для размещения внешнего оборудования и приваивая аппарату удобообъемной формы, хотя последнюю не всегда удается обеспечить из-за специфики функциональных задач аппарата и наличия выносных устройств. Все обитаемые аппараты имеют подлавок или специальные закладники для компенсации остаточной отрицательной плавучести, систем аварийного балласта и регуля-

Длина аппарата, м	Масса аппарата, кг	Главные размеры, м			Длина аппарата, м	Длина аппарата, м	Масса аппарата, кг	Автоматизация, %	Год постройки
		Д	В	М					
432	66	10,1	1,6	1,6	1,52	3,2	2	1964	
352	6,0	6,1	3,1	3,7	1,90	—	2	79	
388	7,5	7,9	3,6	3,6	2,10	2,30	2	50	
32,8	3,0	4,9	2,6	2,4	2,24	2,34	2	40	
216	11,0	9,9	3,4	3,7	2,07	2,07	3	28	
648	11,0	12,0	3,8	4,1	2,14	3,5	4	68	
698	7,5	15,5	3,0	4,4	2,45	13,66	6	72	
432	11,0	13,0	3,0	3,6	2,14	—	5	48	
432	22,0	15,2	3,4	3,4	3,34	—	4	80	
360	22,0	8,5	2,8	2,1	2,26	—	3	98	
316	11,0	21,2	2,5	2,1	2,26	—	3	100	
448	15,0	30,0	3,0	4,3	2,26	—	2	36	
310	15,0	30,3	3,5	7,6	2,18	—	2	20	
421	15,0	33,0	4,6	5,4	2,14	—	3	24	
342	22,0	21,3	4,0	7,8	2,40	—	2	32	
414	22,0	15,5	3,1	5,3	2,00	—	2	144	

вания плавучести, а также разнообразное специфическое оборудование: погружные аккумуляторы и электродвигатели, системы управления движением в вертикальной плоскости, дистанционного управления бортовыми устройствами и механизмами, акустические средства наведения на объект аппарата и т. п.

Столь высокая степень насыщенности приборами и механизмами как прочного корпуса, так и междубортного пространства требует особого внимания к удобству монтажа и обслуживания.

§ 7. Элементы конструкции аппарата

Все обитаемые подводные аппараты, несмотря на разнообразие форм, имеют общие элементы, которые обеспечивают безопасность погружений, ход и маневрирование, подводную навигацию и связь с судном-базой или берегом, обнаружение предметов под водой, выполнение под водой исследований и работ.

Все элементы аппарата можно подразделить на главные, определяющие его тип и характеристики, и составляющие (вспомогательные и составные), играющие второстепенную роль при проектировании. В дальнейшем изложении элементов подводного аппарата будут называться отдельные его части: конструкции, устройства, механизмы, системы, приборы, детали, выполняющие определенную функцию.

Главными элементами аппарата являются: прочный корпус; легкий корпус; энергетическая установка; движительно-рулевой комплекс; судовые устройства в системах; оборудование жизнеобеспечения; системы управления, навигации, связи и обнаружения; полезный груз; балласт; поплавок (заполнитель).

Прочный корпус должен обеспечивать защиту экипажа, прибора и систем от воздействия внешней среды, а также buoyancy погружения на рабочую глубину. При минимальной массе объем прочного корпуса должен быть достаточным для размещения экипажа и внутреннего оборудования с соблюдением требований удобства эксплуатации при заданной подводной автономности.

Форма и размеры легкого корпуса должны обеспечивать размещение бортового оборудования при сохранении наилучших гидродинамических качеств подводного аппарата. Легкий корпус служит также для крепления движительного комплекса, рулевого устройства, датчиков, приборов и других устройств. Он должен иметь минимальную массу благодаря оптимальному выбору конструкций и материала, а его элементы должны обеспечивать доступность и удобство ремонта расположенного в них оборудования.

Энергетическая установка подводного аппарата должна обладать мощностью и энергоемкостью, достаточными для обеспечения заданных скорости, автономности плавания и работы приборов, оборудования, систем навигации, управления и связи, выполнения погружения на рабочую глубину и всплытия; малой массой, компактностью, надежностью и простотой обслуживания, а также минимальной стоимостью изготовления и эксплуатации.

Движительно-рулевой комплекс обычно состоит из ходовых двигателей, обеспечивающих горизонтальное движение, и маневровых, служащих для вертикального перемещения и маневрирования. На современных подводных аппаратах в качестве ходовых двигателей в основном применяют гребные винты и направленные носалки, для маневровых двигателей — гребные винты и водометы.

Все двигатели должны обладать высоким КПД, надежностью работы, возможностью плавного регулирования частоты вращения, быстрым реверсом и малой шумностью.

Судовые устройства и системы располагают вне прочного корпуса: в межбортовом пространстве и частично снаружи, легкого корпуса. Основные требования, предъявляемые к якорно-гидродинамическому, рулевому, балластному, манипуляторному устройствам, гидросистеме, системам ВВД, плавучести и дифферентной, а также к лебедкам, механизмам и двигателям следующие: малая масса, компактность и простота обслуживания, достаточная мощность и быстрота действия, на-

дежность работы в морской воде, возможность ручного дистанционного и автоматического управления клапанами прочного корпуса, защита от вибраций и ударов.

Оборудование жизнеобеспечения, находящееся внутри прочного корпуса, состоит из систем регенерации, кондиционирования воздуха и вентиляции, пылевых и санитарно-гигиенических блоков и других устройств, обеспечивающих работу и отдых экипажа в течение заданной автономности. Все это оборудование должно обладать минимальной массой, габаритом и энергопотреблением, быть надежным в работе и простым в обслуживании.

Состав и основные характеристики средств управления, навигации, связи и обнаружения, также размещаемых внутри прочного корпуса, выбираются в зависимости от типа подводного аппарата. Но любая выбранная система должна обеспечивать навигацию и связь на заданной глубине погружения, иметь минимальную массу, габарит, энергопотребление, надежность и высокую степень автоматизации.

Каждый подводный аппарат является носителем полезного (рабочего) груза, которым могут быть пассажиры, водоплавы, исследователи, различные приборы, внешние манипуляторные устройства и другие элементы, предназначенные для выполнения подводных исследований и работ. Основная часть полезного груза располагается внутри прочного корпуса. Внешние манипуляторные устройства, датчики приборов и др., размещаемые за бортом и работающие непосредственно в морской воде, должны обладать высокой надежностью при минимальных массе и габаритах.

Обязательным элементом каждого подводного аппарата является балласт — жидкий и твердый. Жидкий балласт (вода, ртуть) служит для компенсации изменения массы и плавучести в процессе работы аппарата и создания дифференциальных моментов, твердый балласт (чугун, сталь, свинец) — для уравновешивания плавучести перед погружением, для сброса в аварийной ситуации и создания запаса водонепроницаемости.

У подводных аппаратов, работающих на средних и больших глубинах, плавучесть прочного корпуса часто оказывается недостаточной для уравновешивания его массы. В этом случае недостаток плавучести можно компенсировать путем размещения за бортом поплавков, состоящих из легких твердых материалов или емкостей как пустотелых, так и заполненных легкой жидкостью или газом (бензином, силиконовым маслом, водородом).

К составляющим элементам подводного аппарата относятся различные узлы и детали главных элементов, например лебедки, плавомоторы, стабилизаторы, или элементы, не обязательные для подводного аппарата, а частности испытываемые узлы, основное оборудование и т. п.

§ 8. Характеристика аппарата

Характеристики подводного аппарата будем называть параметрами, определяющие его технические и эксплуатационные свойства: рабочую глубину H_p , м; массу аппарата (с ползавками) m , кг; формальное водоизмещение $D_{\text{факт}}$, кг; полную скорость v , м/с; автономность по запасам энергии $T_{\text{э}}$, ч; автономность по объемам воздуха $T_{\text{в}}$, сут; массу полезного груза m_g , кг; число членов экипажа n_c ; главные размерения L , B , H , м; диаметр прочного корпуса d , м.

Рабочая глубина погружения подводного аппарата определяет форму и конструкцию прочного корпуса, его массу, количество балласта и легководного заполнителя, массу защитных капсул, а следовательно, и водоизмещение аппарата.

Не менее важной характеристикой является масса подводного аппарата, особенно транспортируемого, поскольку она определяет мощность подъемного устройства и водоизмещение судна-базы. Достижение минимальной массы и, конечно, стоимости при выполнении всех других требований — важнейшая задача, стоящая при проектировании транспортируемого подводного аппарата.

Полная подводная скорость зависит от гидродинамики подводного аппарата, мощности его двигателей, главных размеров и от требований безопасности. Чем выше скорость, тем эффективнее подводный аппарат как транспортное средство. Полная подводная скорость должна превышать ожидаемую скорость подводных течений в предполагаемых районах исследований.

Автономность, являясь одной из самых важных характеристик подводного аппарата по запасам энергии и объемам воздуха, определяется условиями обитаемости, системой жизнеобеспечения и энергоемкостью двигательной-двигательной установки. Чем выше эти показатели, тем больший путь может пройти аппарат и выполнить больший объем работ за погружение.

От того, сколько полезного груза (исследователей, приборов, рабочих устройств) может нести подводный аппарат, зависит общая эффективность его работы.

Число членов экипажа влияет на выбор водоизмещения аппарата. На транспортируемых подводных аппаратах экипаж обычно состоит из 2—6 чел.

От главных размерений аппарата зависит не только возможность его размещения на судне-носителе, но и возможность его транспортировки по железной дороге, самолетом или автотранспортом.

Размеры и объем прочного корпуса, определяя межделевое сечение аппарата, оказывают влияние на его массу, условия обитаемости, скорость и другие характеристики. Для транспортируемых подводных аппаратов диаметр прочного корпуса обычно

лежит в пределах 1,5—2,3 м. Отношение длины цилиндрической вставки к диаметру прочного корпуса влияет на полную длину и массу аппарата.

К дополнительным характеристикам подводного аппарата относятся: запас энергии $Q_{\text{э}}$, Дж; мощность водородных двигателей $N_{\text{вд}}$, Вт; мощность газородных двигателей $N_{\text{гд}}$, Вт; подводное водоизмещение $D_{\text{вд}}$, м³; осадка основания T , м; длина прочного корпуса $L_{\text{пк}}$, м; отношение длины цилиндрической вставки прочного корпуса к диаметру b ; объем прочного корпуса $V_{\text{пк}}$, м³; скорость экономическая $v_{\text{э}}$, м/с; скорость всплывания $v_{\text{в}}$, м/с; дальность подводного хода с экономической скоростью $l_{\text{э}}$, м; число выполняемых операций $n_{\text{э}}$; метacentрическая высота h , м.

По условиям эксплуатации подводный аппарат должен обладать определенной остойчивостью и мореходными качествами, а именно, положительной остойчивостью при любых положениях и нагрузке (подводная метacentрическая высота современных аппаратов составляет от 5 до 20 см); отсутствием сильной бортовой качки на поверхности при погружении и всплывании; запасом плавучести в надводном положении не менее 10% водоизмещения; достаточной мореходностью при буксировке, неизбежной в штормовую погоду, при неисправности спуско-подъемного устройства, на малых переходах и т. д.

Маневренность подводного аппарата считается обеспеченной, если он имеет плавное регулирование скорости (от нуля до максимальной) и малый радиус циркуляции: от нуля (поворот вокруг вертикальной оси) до двух длин корпуса (и больше с увеличением скорости) и обладает ходом при дифференце от -30° до $+30^\circ$, т. е. может быстро погружаться и всплывать.

Стабилизация подводного аппарата должна быть такой, чтобы он мог удерживать ход на заданных курсах и глубине во всем диапазоне скоростей, а также зависать на заданной глубине с дифференцем от -30° до $+30^\circ$ и временем от -45° до $+45^\circ$.

§ 9. Анализ массы и водоизмещающего объема

Одной из главных задач проектирования является определение массы и водоизмещающего объема подводного аппарата. При расчете этих параметров на ранней стадии проектирования ориентировочно определяются плавучесть, удельная реактовка и начальная остойчивость аппарата.

Массу самоходного подводного обитаемого аппарата можно определять несколькими способами. Чаще всего для этого используется аппарат-прототип, по назначению и характеристикам близкий к проектируемому. Создаваемый аппарат будет отличаться от прототипа либо назначением, либо отдельными характеристиками, например скоростью и автономностью, либо грузоподъемностью и составом экипажа. Важно, чтобы конструктивные схемы прототипа и проектируемого аппарата были оди-

накомых. Тогда пересчитывается масса только тех элементов прототипа, которые определяют указанные характеристики, т. е. мощность и запас электроэнергии, плавучесть, объем прочного корпуса и т. п.

Если же прототип подобрать не удается, используют несколько частично подобных аппаратов, у которых пересчитывают массы тождественных элементов. Например, у одного аппарата в качестве прототипа принимают конструкцию прочного корпуса, у другого — тип энергетической установки, у третьего — движительный комплекс и т. п.

Возмещение и массу аппарата на ранних стадиях проектирования можно также определить с помощью измерителей масс путем составления и решения соответствующих уравнений. Этот способ подробно изложен в этой работе.

Как известно, для определения массы проектируемых судов по прототипам применяют различные формулы и коэффициенты пересчета, полученные на основе обработки статистических данных по аналогичным судам, хорошо зарекомендовавшим себя в эксплуатации. Ввиду отсутствия таких формул и коэффициентов для подводных аппаратов обычно используют сведения по прототипам, выполняют графические проработки, делают приближенные расчеты массы и объемов отдельных элементов аппарата.

Если предусматривается установка совершенно новых изделий, систем или оборудования, не имеющих аналогов и не достигаемых промышленностью, то специализированные организации-разработчики выполняют принципиальную схему изделия, прорабатывают эскизы и подсчитывают его теоретическую массу и объем. В тех случаях когда массу невозможно подсчитать по эскизам, а габарит и масса изделия ожидаются большими, разрабатывается технический проект изделия и масса, рассчитанная по чертежам, применяется для проекта подводных аппаратов. Массу и габариты готовых изделий, составленных промышленностью, принимают по техническим условиям на востанку, массу простых узлов и элементов, например корпусных конструкций, балласта, заполнителя, подсчитывают по конструктивным чертежам, по чертежу общего расположения или эскизам.

Для определения массы подводного аппарата составляется таблица нагрузки масс (табл. 2.2) и таблица постоянных плавучих объемов (табл. 2.3). При заполнении таблиц используется чертеж общего расположения аппарата, позволяющий определить его массу, объем отстояние центра тяжести от осей координат каждого элемента аппарата.

Масса подводного аппарата распределяется на разделы нагрузки масс (табл. 2.4). Каждый раздел может делиться на группы, а каждая группа — на подгруппы и статьи. Разделами нагрузки являются: корпус (прочный и легкий), энергетическая

Таблица 2.2

Таблица нагрузки масс подводного аппарата

Вид элементов нагрузки	№	Наименование элементов нагрузки	Масса, кг	Площ., м			Работа, М·ж		
				$F_{\text{в.с}}$	$F_{\text{г.п}}$	$F_{\text{о.п}}$	$M_{\text{г}}$	$M_{\text{р}}$	$M_{\text{д}}$
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 2.3

Таблица постоянных плавучих объемов подводного аппарата

Вид элементов нагрузки	№	Наименование элементов нагрузки	Объем, м ³	По месту отстояния центра тяжести от осей			По длине аппарата		
				Площ., м	Мощность, м·ж	Работа, м·ж	Площ., м	Работа, м·ж	Работа, м·ж
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 2.4

Распределение нагрузок масс подводного аппарата в функциональной зависимости от характеристик

Код группы нагрузки	Наименование элементов нагрузки	Функциональная зависимость массы от характеристик аппарата
01	Прочный корпус Обшивка (обшивки) Подкрепления Видные люки Иллюминаторы Виды (обтеки, оттоки) Фундаменты, крепления Прочие детали	$m_{01} = f(H_{\text{пр}}, d, L_{\text{ок}}, R_{\text{м}}, L, \sigma_1)$
01	Легкий корпус Килевая часть Косынки обшивки Корытчатая обшивочность Валлажные пистоны Плуты Рубки Выступающие части Прочие детали	$m_{01} = f(H_{\text{пр}}, D, \rho, T_{\text{пр}}, L, B, H)$
04	Энергетическая установка и электрооборудование Источники энергии Электропроводка Преобразователи рода тока Коммутиционная аппаратура Кабельные сети Прочие электрооборудование	$m_4 = f(v, T_{\text{э}}, T_{\text{д}}, N, D, L)$
02	Устройства управления Главные движители Вспомогательные движители Рулевое устройство Гидравлическое устройство Гидравлического привода Прочие устройства	$m_2 = f(\sigma, L, B, H_{\text{пр}}, v)$
03	Система обслуживания Механизмы Система балластных Система ВВД Система регулирования плавуности Система дифферента Система прожеки	$m_3 = f(\sigma, L, B, H, H_{\text{пр}})$

Продолжение табл. 2.4

Код группы нагрузки	Наименование элементов нагрузки	Функциональная зависимость массы от характеристик аппарата
05	Оборудование помещений и средства управления Регенерация и кондиционирование Оборудование помещений Аварийно-стациональное снаряжение Средства управления и привода и связи Прочие оборудование	$m_{05} = f(n_1, d, b, \sigma_{\text{ст}}, \sigma_{\text{с}}, T_{\text{д}})$
07	Рабочий (поисковый) груз Научно-исследовательское оборудование Вспомогательные приборы и датчики Манулюаторы Вспомогательные органы	$m_7 = \text{const}$
10	Балласт в виде водонасосных Затоп водонасосных Манулюаторный балласт Аварийный балласт Специальный балласт	$m_{10} = f(D, \sigma_{\text{пр}}, \rho, \sigma_{\text{д}})$
11	Дополнительная плавучесть Затопляемость, кюветы Ползавки	$m_{11} = f(D, H_{\text{пр}}, V_{\text{вк}})$
14	Взвезд	$m_{14} = f(n_2)$
14	Скаффолд	$m_{14} = f(T_{\text{д}}, n_2)$

установка и электрооборудование, устройства, системы и т. п. В группы, подгруппы, статьи нагрузки масс входят отдельные устройства, механизмы, детали, составляющие главный элемент (узел или систему аппарата), который выполняет определенную функцию.

Ришет массы подводного аппарата по таблице нагрузки масс при всей своей подробности не позволяет выявить объективно существующие взаимосвязи между характеристиками аппарата и отдельными элементами его конструкции, а также

закономерности влияния характеристик на его массу. Кроме того, определение приближенной массы аппарата по таблице нагрузки требует затраты большого труда на графические проработки и кропотливый расчет масс отдельных элементов аппарата. При проработке нескольких вариантов объем упомянутых работ соответственно возрастает. Расчет оптимального варианта подводного аппарата можно значительно упростить и ускорить, если сравнение вариантов проводить аналитическим методом. В качестве базовых уравнений для анализа целесообразно принять уравнения, в которых масса и объем отдельных элементов выражены через основные характеристики, выступавшие в данном случае в качестве независимых переменных.

§ 10. Распределение масс и объемов по функциональному признаку

Для выявления функциональных взаимосвязей массы и основных характеристик, а также вывода аналитических выражений и эмпирических формул элементы конструкции подводного аппарата целесообразно распределить на разделы (зурнутые статьи нагрузки) по следующим признакам: в зависимости от одинаковых характеристик; расположения внутри прочного корпуса, т. е. без образования водоизмещающего объема; размещения за пределами прочного корпуса и образования водоизмещающего объема аппарата; обусловленности техническим заданием и независимости от основных характеристик аппарата (масса рабочего груза, состав экипажа, снабжение и т. п.); в зависимости только от массы и водоизмещения аппарата.

Такое распределение массы и объема отдельных элементов и узлов (см. табл. 2.4) позволяет нагляднее показать существующие взаимосвязи массы, объема отдельных элементов, разделов нагрузки и основных характеристик проектируемого аппарата; выявить функциональную зависимость массы отдельных узлов и элементов конструкции от некоторых основных характеристик аппарата, являющихся в данном случае независимыми переменными, и составить уравнения массы и плавучести аппарата в функции основных характеристик. Кроме того, предлагаемое распределение упрощает расчет водоизмещающего объема (элементы, внесенные за пределы прочного корпуса, группируются в соответствующих разделах нагрузки), а также определение общей стоимости аппарата, поскольку в разделах нагрузки объединяются элементы примерно одинаковой стоимости.

Используя указанное распределение нагрузки масс x и приняв в табл. 2.4 обозначения, массу подводного аппарата можно представить в виде

$$M = M_{\text{пр}} + M_{\text{эл}} + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7. \quad (2.1)$$

Анализ нагрузки (рис. 2.1 и табл. 2.5) показывает, что большую часть масс подводного аппарата (в среднем 52%) составляет масса прочного корпуса и энергетическая установка с электрооборудованием. На каждую из остальных статей нагрузки приходится в среднем от 7 до 10% массы аппарата.

Отношение масс каждого раздела нагрузки к полной массе аппарата колеблется в следующих пределах (%):

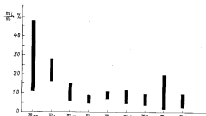


Рис. 2.1. Диаграмма Грейбуса нагрузки, составляющая массу некоторых статей

Прочный корпус	12—48
Энергетическая установка и электрооборудование	15—28
Легкий корпус	4—15
Устройства взорванные	5—9
Облагодение системы	7—11
Оборудование в системе (расположенное внутри прочного корпуса)	5—12
Балласт	4—10
Полетная (полезная)	2—30
Рабочий (полезный) груз	3—10

Такие значительные колебания массы в некоторых разделах нагрузки объясняются тем, что приведенные аппараты имеют различные назначения, характеристики, конструктивные схемы, материалы и тип оборудования. Так, водоизмещение этих подводных аппаратов колеблется от $5 \cdot 10^3$ до $50 \cdot 10^3$ кг, глубина погружения — от 400 до 2400 м, экипаж — от 2 до 4 чел., полезный груз — от 400 до 5200 кг, скорость — от 1,54 до 2,57 м/с.

Однако, несмотря на разницу конструкций и характеристик, в диаграммах прослеживаются определяющие закономерности: относительная масса электрооборудования, устройств, полезного груза и балласта у однотипных аппаратов примерно одинакова,

Узуровненные нагрузки масс

№ п/п	Наименование подводного аппарата	Габариты габр.-м	Масса аппаратов т	Узуровненные нагрузки масс					
				$M_{\text{вк}}$		$M_{\text{вг}}$			
				-10° кг	%**	-10° кг	%		
7	«Стар-1»	60	1,3	0,35	27	0,14	11	0,35	12
8	«Субмарин»	80	1,5	0,38	25	0,23	15	0,12	8
12	«Амурс»	180	2,0	0,45	23	0,28	20	0,40	10
17	«Дельфин»	300	2,5	0,41	16	0,84	24	0,42	12
28	«Стар 2»	360	4,3	0,84	20	0,99	21	0,43	10
30	«Шкаф-2»	400	10,3	3,08	30	2,35	23	1,70	16
34	«Дель стар-2000»	600	5,9	1,52	26	1,82	27	0,69	11
37	«Стар-3»	600	8,3	0,90	11	2,42	29	0,66	8
38	«Ваннер-4»	600	14,5	2,60	18	3,80	26	1,10	8
39	АМС-500 ***	600	6,2	1,45	23	1,72	28	0,56	10
43	«Гибискус-2»	1000	11,0	2,28	22	2,70	24	0,99	9
44	«Гибискус-1»	1000	6,5	2,00	30	1,50	23	0,65	10
45	«Дель стар-4000»	1220	8,6	2,83	33	1,84	21	0,70	8
46	ДСРВ	1520	33,0	8,96	27	7,70	23	2,30	7
47	«Альбат»	1840	13,5	3,10	23	3,10	23	0,81	6
48	«Фортис»	1800	10,0	1,70	17	2,30	23	0,63	6
51	«Дель»	1280	9,4	2,10	23	1,80	19	0,75	8
52	«Таран»	1980	20,0	3,40	18	4,60	23	1,23	6
53	«Дель шест»	2440	32,0	5,20	10	15,50	30	1,28	2
54	«Альбатсбург»	4570	81,0	47,0	58	9,8	12	3,20	4

* Точность распределения масс по узуровненным разделам нагрузок

** В процентах от массы подводного аппарата.

*** Проект.

относительная масса прочного корпуса в среднем составляет 20—30% массы подводного аппарата.

Анализ водонезменяющихся элементов подводного аппарата (табл. 2.6) позволяет сделать вывод о том, что положительная плавучесть у большинства рассматриваемых аппаратов в основном обеспечивается объемом прочного корпуса и легковесными поплавками (заполнителями). С учетом принятой разбивки составляющих массу подводного аппарата и его водонезменяющихся элементов, полезной плавучей объем можно выразить формулой

$$V = V_{\text{мк}} + K'_{\text{в}} V_{\text{к}} + V_{\text{вк}} + V_{\text{вг}} + V_{\text{с}} + K'_{\text{в}} V_{\text{с}} + V_{\text{б}} + V_{\text{л}} \quad (2.2)$$

где $V_{\text{мк}}$ —объем прочного корпуса, $K'_{\text{в}}$ —отношение объема забортного электрооборудования к его полному объему; $V_{\text{к}}$ —объем энергетической установки и электрооборудования; $V_{\text{вк}}$ —объем конструкции легкого корпуса; $V_{\text{вг}}$ —объем устройств;

исполнения подводных аппаратов *

$M_{\text{вк}}$		$M_{\text{вг}}$		$M_{\text{вк}}$		$M_{\text{вг}}$		$M_{\text{вк}}$		$M_{\text{вг}}$	
-10° кг	%	-10° кг	%	-10° кг	%	-10° кг	%	-10° кг	%	-10° кг	%
0,30	8	0,13	10	0,20	15	0,05	4	0,93	2	0,15	11
0,12	8	0,16	10	0,18	12	0,03	2	0,63	2	0,16	17
0,26	7	0,36	9	0,60	15	0,22	6	0,24	6	0,40	10
0,21	6	0,31	9	0,31	9	0,21	6	0,30	3	0,28	8
0,31	7	0,47	11	0,56	13	0,26	6	0,31	3	0,38	9
0,63	6	0,66	9	0,73	7	0,42	4	0,23	2	0,42	4
0,29	5	0,33	6	0,23	9	0,33	6	0,11	2	0,48	8
0,58	7	0,75	9	0,90	11	0,58	7	0,83	10	0,68	8
0,90	6	0,90	6	1,00	7	0,70	5	2,90	15	1,20	9
0,40	8	0,60	9	0,40	6	0,32	5	0,50	8	0,55	4
0,66	6	0,86	8	0,96	6	0,43	4	1,46	13	0,86	8
0,52	8	0,65	10	0,52	8	0,38	3	0,24	4	0,24	4
0,52	6	0,60	7	0,43	5	0,43	5	0,77	9	0,20	6
2,00	6	2,30	7	3,60	8	2,90	6	3,50	10	1,90	6
0,81	6	1,22	9	0,36	4	0,70	5	2,50	19	0,70	5
0,60	8	0,90	9	0,60	5	0,40	4	2,30	21	0,70	7
0,56	6	0,85	9	0,47	5	0,56	6	0,85	9	0,85	6
1,40	7	1,80	9	1,80	5	1,20	6	3,60	18	1,60	8
2,60	3	3,10	6	4,30	8	3,10	6	12,50	24	4,70	9
4,00	5	4,00	5	1,80	2	4,00	5	4,80	6	2,20	2

* Составляет ±10%.

$V_{\text{к}}$ —объем общесудовых систем; $K'_{\text{в}}$ —отношение объема забортного рабочего груза к его полному объему; $V_{\text{с}}$ —объем рабочего груза; $V_{\text{б}}$ —объем балласта; $V_{\text{л}}$ —объем поплавков (заполнителя).

Следует помнить, что объем прочного корпуса должен рассчитываться не только из условия размещения экипажа и внутреннего оборудования, но и из условия обеспечения плавучести аппарата во всем выбранном для него диапазоне глубин, из которых плотность прочного корпуса меньше плотности поплавков или заполнителя.

Полученные значения массы и водонезменяющегося объема подводного аппарата должны удовлетворять уравнению плавучести

$$m = \rho V, \quad (2.3)$$

где ρ —плотность воды в морях и океанах, кг/м³.

Таблица 2.6

Водонепроницаемые (пластичные) объемы главных элементов аппаратов некоторых подводных аппаратов

Номер по классификации	Материалы корпусов аппаратов	коэффициент водонепроницаемости	$\mu \cdot 10^4$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{пл}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{пр}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}} \cdot 10^3$	$\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}} \cdot 10^3$	$\frac{\mu \cdot 10^4 \cdot V_{\text{сум}}}{V_{\text{сум}}} = \mu \cdot 10^4$	$\mu \cdot 10^4$
1	Сталь-1а	1,20	0,633	0,69	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2	Сталь-1б	1,20	0,644	0,07	0,038	0,035	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
3	Алюминий	3,00	1,74	1,83	0,38	0,16	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
4	Алюминий-2	3,00	3,29	2,69	0,29	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
5	Алюминий-3	4,50	4,14	2,19	0,17	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
6	Алюминий-4	10,3	14,9	7,9	0,41	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
7	Алюминий-5	3,50	5,72	7,2	0,32	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
8	Алюминий-6	18,20	4,05	6,49	0,69	0,59	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
9	Алюминий-7	6,50	4,05	7,45	0,69	0,59	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
10	Алюминий-8	11,0	10,70	4,64	0,77	0,47	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
11	Алюминий-9	6,50	6,32	4,72	0,37	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
12	Алюминий-10	8,62	8,62	4,62	0,37	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
13	Алюминий-11	33,0	32,0	18,9	1,37	0,75	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
14	Алюминий-12	13,5	13,1	5,13	0,68	0,47	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
15	Алюминий-13	19,0	9,72	3,68	1,90	0,29	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
16	Алюминий-14	9,49	9,11	6,70	0,35	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
17	Алюминий-15	20,0	20,0	4,65	1,50	0,37	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
18	Алюминий-16	50,0	49,5	10,2	7,90	0,62	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
19	Алюминий-17	81,8	80,24	1,00	1,00	2,90	1,10	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40

Примечание 1. В формулы объема входят следующие величины: $V_{\text{сум}} = V_{\text{пл}} + V_{\text{пр}} + V_{\text{сум}} + V_{\text{сум}}$

Как известно, плотность воды в Мировом океане колеблется от 1,0 до 1,08 кг/м³. В этих же пределах (без учета других факторов) может меняться водоизмещение подводного аппарата в различных районах океана, в том числе и в тропическом. Это обстоятельство требует строгого расчета объема, водоизмещения и применения специальных систем для регулирования балласта и плавучести.

Полный объем аппарата включает: водостойкий плавучий объем $V_{\text{пл}}$, обеспечивающий водоуплотненность в подводном положении (прочный корпус и водоизмещающее заборное оборудование (рис. 2.2, а)); переменный плавучий объем $V_{\text{об}}$, сохра-

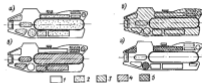


Рис. 2.2. Схема объема подводного аппарата.

1 — прочный корпус; 2 — водостойкий корпус; 3 — корпус плавучего аппарата; 4 — водостойкий плавучий объем; 5 — прочный плавучий объем

няющий водоуплотненность до ухода аппарата под воду и состоящий из всех балластных цистерн (рис. 2.2, в); прочный объем $V_{\text{пр}}$, суммарной вместимостью прочающихся частей легкого корпуса, огражденном люка и т. п. (рис. 2.2, а).

Таким образом, полный подводный объем аппарата (рис. 2.2, б) выражается формулой

$$V_{\text{сум}} = V + V_{\text{об}} + V_{\text{пр}} \quad (2.4)$$

нормальное водоизмещение $D_{\text{норм}}$, эквивалентное массе аппарата (в воздухе), количеством сжигаемого для плавания в воде с $\rho = 1,0$:

$$D_{\text{норм}} = \rho V; \quad (2.5)$$

надводное водоизмещение аппарата, погруженного в воду по действующую ватерлинию:

$$D_{\text{в}} = \rho (V + \Sigma V_{\text{об}}); \quad (2.6)$$

подводное водоизмещение

$$D_{\text{п}} = \rho (V + \Sigma V_{\text{об}} + \Sigma V_{\text{пр}}). \quad (2.7)$$

На рис. 2.3 представлена схема наиболее распространенного самодельного автономного обитаемого аппарата с рабочей глубиной погружения от 600 до 4000 м, транспортируемого в рабке погружения на борту судна-базы. К отличительным признакам аппарата этого типа относятся:

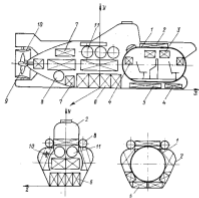


Рис. 2.3. Упрощенная схема обитаемого аппарата.
 1 — прочный корпус; 2 — датчик глубины; 3 — оборудование; 4 — выхлопной трап;
 5 — балласт; 6 — люк; 7 — аккумуляторный установочный; 8 — кислородный; 9 — кислород;
 10 — аккумулятор; 11 — устройство; 12 — окислитель.

1. минимально необходимый объем прочного корпуса, имеющего сферическую или сфероцилиндрическую форму;

2. наличие легкого корпуса, обеспечивающего гидродинамические качества аппарата и размещение в нем лабортного оборудования;

3. расположение вне прочного корпуса аккумуляторных батарей, двигателей, устройств, механизма и части рабочего оборудования;

4. наличие поплавков, уравновешивающих дифферент и остаточную отрицательную плавучесть.

Указанное распределение массы по обобщенным разделам нагрузки (табл. 2.4) и упрощенную конструктивную схему (рис. 2.3) принимаем за основу для выбора элементов аппарата и рассмотрения влияния характеристик на каждую группу или статью нагрузки масс.

Изложение методики определения массы аппарата и решения уравнения плавучести приводится в гл. 3.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА ПОДВОДНОГО АППАРАТА

§ 11. Форма прочного корпуса

Формы прочного корпуса современных аппаратов разнообразны. Самым распространенным является сферический корпус (рис. 3.1, а), который обладает высокой устойчивостью и наибольшей плотностью. У сферического корпуса минимальное отношение площади поверхности к объему, в нем проще вырезать отверстия для люка, компрессора и кабельных вводов. Однако сферическая форма создает известные неудобства при размещении экипажа и оборудования. Объем сферы можно увеличивать только путем увеличения диаметра, а это приводит к нежелательному росту сопротивления движению и уменьшению скорости аппарата. В связи с этим начали применять микросферные корпуса, состоящие либо из двух изолированных сфер, как у аппаратов типа «Морей» (рис. 3.1, в), либо из двух сфер, соединенных цилиндрическим туннелем (прочный корпус типа «Гантель» аппарата «Самкай», рис. 3.1, б). Прочный корпус на некоторых аппаратах более поздней постройки, например ДСРВ (рис. 3.1, в), выполнен из трех сваренных сферических элементов. У аппарата «Дли крест» (рис. 3.1, б) вместо третьей сферы использован сфероцилиндрический элемент.

Широкое применение цилиндрического корпуса со сферическим окончанием. Устойчивость удлиненных цилиндрических обечаек обычно обеспечивается шпангоутами (рис. 3.2, а). Прочный корпус с гладкими цилиндрическими обечайками (без шпангоутов) имеет «Длиг стар-4000» (рис. 3.3, б). При небольшом диаметре (и длине) цилиндрической части, а также относительно малом внешнем давлении устойчивость обеспечивается толщиной обшивки.

Прочные корпуса для малых глубин, например у аппарата «Кадмария» (рис. 3.2, а), обычно выполняются из цилиндрических и конических обечаек со сферическими окончаниями. На

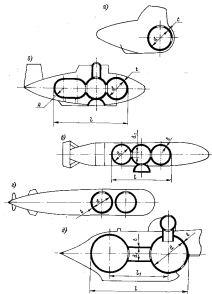


Рис. 3.1. Формы сферических и цилиндрических корпусов.
 d — диаметр; L — длина; R — радиус; h — высота обшивки

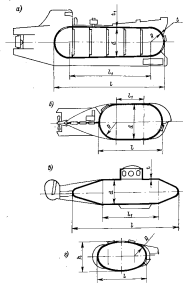


Рис. 3.2. Формы цилиндрических тороидных корпусов

аппаратах типа «Дельта» (рис. 3.2,4) прочный корпус имеет форму течения, однако из-за трудностей расчета и изготовления такие корпуса не получили широкого применения.

Как видно из диаграммы (рис. 3.3), сферическая форма корпуса — самая распространенная (34 ед.); эти корпуса используются во всем диапазоне глубин Мирового океана. Многоосферные корпуса менее распространены (13 ед.) и применяются в диапазоне глубин от 600 до 6000 м. Шляхоцилиндрические корпуса (21 ед.) в основном применяются на глубинах от 200 до 600 м. Исключения составляют аппараты типа «Алюминат»,

Проше формы немногочисленные (10 ед.) и используются преимущественно на глубинах до 100 м.

Таким образом, основными формами прочного корпуса современных подводных аппаратов являются сферическая, многоосферная («пересекающиеся сферы») и шляхоцилиндрическая.

§ 12. Материалы для изготовления корпусов

Условия эксплуатации подводных аппаратов предъявляют к материалам их прочных корпусов особые требования.

Как известно, корпус подводного аппарата должен иметь минимальную относительную массу, что в первую очередь обеспечивается качеством материала: его малой плотностью, большим удельным прочностью и жесткостью, представляющими соответственно отношения предела текучести и модуля упругости к плотности материала. Такими свойствами обладают высокопрочные металлы, однако для них характерны повышенная чувствительность к циклическим нагрузкам, нагреву, коррозии, сварке, а также подверженность коррозионному растрескиванию под нагрузкой. Между тем в условиях наименьшего отношения материал должен быть достаточно пластичным и поддаваться штамповке, ковке, гибке, хорошо свариваться и склеиваться без потери прочности и нарушения герметичности соединений. Поэтому высокопрочные металлы, используемые для корпусов подводных аппаратов, должны обладать стабильностью механических свойств, обеспечивающих надежность подводного аппарата в эксплуатации.

При эксплуатации аппарата не всегда можно обеспечить периодическое обслуживание, поэтому материал должен быть стойким к эрозии, абразивии, ударным нагрузкам и ползучести, а также быть ремонтпригодным, допускающим в морских условиях, на судне-базе, приваривать детали, проводить очистку и покраску и т. д.

Для изготовления прочных корпусов современных подводных аппаратов в основном применяют сталь, алюминийевые и титановые сплавы, стекло, керамику и различные типы пластмасс. У каждого материала есть свои преимущества и недо-

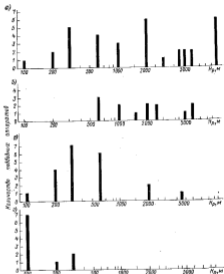


Рис. 3.3. Распределение форм прочных корпусов по глубине погружения: а — сферическая; б — многоосферная; в — шляхоцилиндрическая; г — прочие

сталей, потому его выбор зависит от конструкции аппарата, глубины погружения, назначения и других факторов.

Наиболее часто применяется сталь, ее используют как для изготовления прочных корпусов аппаратов на весь диапазон глубин, так и отдельных деталей: цистерны, баллонов, контейнеров и т. д. Современные марки сталей, специально разработанные в США для подводных аппаратов (табл. 3.1), имеют высокие механические, технологические, эксплуатационные и экономические показатели.

Таблица 3.1

Стали, применяемые в США для подводных аппаратов

Марка стали	Предел текучести σ_s , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Продолговатость δ , %	Относительное удлинение δ_{100} , %	Среднее значение ударной вязкости K_{CV} , МПа·м	Плотность ρ , г/см ³	Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /кг
HT	388	0,21	470	38	66	7,85	369
HV-80	600	0,21	740	22	74	7,76	773
HV-100	750	0,21	895	—	60	7,76	570
Легированная не-свариваемая							
563	950	0,50	1040	15	—	7,85	1170
HV-130	740	0,30	810	29	55	7,85	940
HV-140	985	0,30	—	15	50	7,90	2250
HP9-4-30	1238,8	0,21	—	16	—	7,76	1450
18N1 (2005)	1320	0,20	1330	14	55	7,90	1600
18N1 (2064)	1575	0,18	1610	12	—	8,01	1570
18N1 (2064)	1860	0,180	1930	10	—	8,01	2020
410 отожженная	615	0,204	—	—	—	7,76	850
301	467,8	0,204	1054,5	21	77,3	7,76	990
2.351p-EMo	730	0,21	843,0	19	—	7,76	990
T-1	773,8	0,21	913,9	14	—	7,76	990
H-11	1547	0,21	1838	9	—	7,76	1050
HP9-4-25	1547	0,21	1954	12	—	8,03	1020
HP9-4-65	1708	0,21	2079	7	—	8,03	2186
4340	1017	0,21	1368	9	—	7,76	2040
40A1	1708	0,204	1938	5	—	7,76	2270

По прочности стали разделяют на три категории: высокопрочные $\sigma_s = (36 \div 42) \cdot 10^6$ Н/м²; прочные $\sigma_s = (42 \div 105) \cdot 10^6$ Н/м²; высокопрочные $\sigma_s > 105 \cdot 10^6$ Н/м².

Накисленные стали легко подвергаются механической обработке, хорошо формируются и соединяются. Они имеют хорошие соротивляющие усталости и почти не подвержены разрушению излому. Изготовление из таких сталей прочных корпусов не представляет трудностей, значительно облегчается их ремонт. Из этих сталей изготавливают корпуса мелководных аппаратов, а также легкие корпуса и детали прочного корпуса, не подвергавшиеся большому внешнему давлению.

При изготовлении корпусов из прочных и высокопрочных сталей особое внимание необходимо обращать на однородность материала сварных швов, отсутствие внутренних дефектов и концентраторов напряжений, которые снижают усталостную прочность и повышают вероятность образования трещин и разрушения конструкции.

Титановые сплавы обладают высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью в морской воде и ледяной среде. Применение титановых сплавов ограничивается их высокой стоимостью, сложностью обработки, а частотой сварки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Титановые сплавы, применяемые в США для подводных аппаратов

Сплав титана	Предел текучести σ_s , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Продолговатость δ , %	Относительное удлинение δ_{100} , %	Среднее значение ударной вязкости K_{CV} , МПа·м	Плотность ρ , г/см ³	Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /кг
Чистый титан	352	0,1	5 150	22,0	51,0	~4,5	780
Титановые сплавы с содержанием:							
8% Al, 1% Mo, 1% V	840	—	10 000	10,0	20,0	4,5	1850
8% Al, 4% V	865	0,1	9 140	14,0	34,0	4,5	1230
8% Al, 2% Nb, 1% Ta	872	—	8 830	13,2	25,7	4,5	1940
6% Al, 4% Zr, 1% V	907	0,12	10 150	17,0	34,5	4,5	2160
3% Al, 13% V, 11% Cr	918	0,11	10 300	8,0	26,5	4,5	2040
5% Al, 2,5% Sn	950	0,12	10 300	8,0	14,5	4,5	2390
6% Al, 4% V (термообработка)	1050	0,115	12 000	6,0	—	4,5	2340

У современных титановых сплавов высокий модуль нормальной упругости. Это уменьшает допусковую нагрузку по условиям устойчивости и заставляет снижать норму допускаемых напряжений из-за склонности к ползучести и образованию трещин.

По мере совершенствования механических свойств, технология обработки и уменьшения стоимости титановые сплавы будут более широко применяться для изготовления прочных корпусов, контейнеров, подлодок и других корпусных элементов глубоководных аппаратов.

Алюминиевые сплавы с высокой удельной прочностью можно использовать для изготовления корпусов аппаратов, работающих на больших глубинах, однако стоимость алюминиевых прочных корпусов значительно больше стальных (табл. 3.3).

Существенный недостаток высокопрочных алюминиевых сплавов — их плохая свариваемость. Это значительно услож-

Таблица 3.3

Алюминиевые сплавы, применяемые в США для подводных аппаратов

Марка сплава	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Модуль упругости E , 10^4 МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Средняя длина зерна, мкм	Отношение $\sigma_B/\sigma_{0.2}$	Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	Удлинение при разрыве δ , %
5686-1039	218	74	302	19	41	2,8	780
5450-5321	204	74	330	26	39	2,8	730
6061-T6	246,3	74	281,2	19	32	2,7	910
7075-T6	478	74	536	15	30	2,8	1710
7075-T6	508,3	74	542,4	8	8	2,8	1830
5082H-38	332	71	274,2	4	4	2,7	800
5054-T4	323,4	74	457	17	17	2,8	1150
2024-T6	421,6	74	492,1	8	8	2,8	1510

ниет изготовление узлов соединений по сравнению с равнопрочными сталями и титановыми сплавами.

Стекловолоконные пластики широко используются для изготовления прочных корпусов аппаратов, работающих на малых

Таблица 3.4

Механические свойства сталей, пластмасс и керамических сплавов, применяемых в США для изготовления подводных аппаратов

Материал	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Модуль упругости E , 10^4 МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Плотность ρ , 10^3 кг/м ³	Удлинение при разрыве δ , %
Сталь легированная	130	2,8	45	95	1,18	—	550
Сталь легированная	500—2000	50—1,00	36—88	25—75	2,2—6,5	—	390
Сталь нержавеющая	2110	80—140	—	—	2,6	—	—
Акриловый пластик	1400	24	600	—	1,1	—	5300
Арамидные пластики	800—1530	18—210	330	—	1,7—2,2	—	1800—1900

глубинах, а также легких корпусов аппаратов, плавающих на различных глубинах (табл. 3.4).

К перспективным материалам следует отнести силикатное стекло, акриловые пластики и керамику. Пока эти материалы

имеют ограниченное применение ввиду отсутствия надежных технологий и соединений со смежными материалами. В качестве материалов для легкого корпуса используется маскаль сталь, алюминиевые и титановые сплавы, стекловолоконные пластики.

§ 13. Особенности расчета прочного корпуса

При расчете прочного корпуса должны быть определены конструктивные размеры обечайки и подкреплений, обеспечивающих прочность корпуса и устойчивость его формы.

Подробный расчет прочного корпуса и его отдельных элементов обычно выполняется на этапе технического проекта в соответствии с правилами, изложенными в строительной механике подводных лодок, или по специально разработанным методикам.

При проектировании корпуса глубоководного аппарата морской конструкции или изготовляемого из нового материала проводят сравнительные опытно-конструкторские разработки и испытание натурных образцов или моделей прочного корпуса. Обычно на ранних стадиях проектирования с целью выбора материала, толщины обечайки, элементов корпуса, размеров набора и определения массы аппарата по сокращенной схеме выполняют приближенный расчет прочного корпуса.

При расчете прочности корпуса вводится понятие рабочей и расчетной глубины погружения.

В иностранной технической литературе рабочей называют глубину, на которую подводный аппарат может погружаться непрерывное число раз за эксплуатационный период. Длительность последнего определяется надежностью работы различных элементов аппарата, в том числе особенностями конструкции и свойствами материала прочного корпуса.

Расчетной называют глубину, соответствующую гидростатическому давлению, принятому для расчетов прочности элементов корпуса. При погружении на эту глубину может произойти разрушение прочного корпуса.

Существует также понятие предельной глубины погружения подводных лодок, несколько превышающей рабочую, на которую американские подводные лодки погружались во время испытаний.

Отношение расчетной глубины погружения к рабочей в иностранной литературе называют коэффициентом безопасности (запасом прочности). При проектировании подводных лодок этот коэффициент принимают равным 1,5—2,0, а для глубоководных аппаратов его уменьшают до 1,3—1,4 [3]. Возможность допущения такого запаса прочности для гладких сферических оболочек и цилиндрических оболочек, подкрепленных шпангоутами, объясняется следующим: небольшие размеры и толстые стенки прочного корпуса допускают высокую точность изготовления; специальные устройства исключают опускание аппарата

ниже расчетной глубины погружения; толстостенные корпуса подводных аппаратов менее чувствительны к отклонениям от правильной круговой формы под действием гидростатического давления; абсолютное значение запаса глубины для глубоководных аппаратов довольно значительно (30—40%).

Запас прочности также наминают отношению расчетной (опытной) нагрузки к рабочей (допускаемой).

Умножив рабочую нагрузку на выбранный запас прочности получают расчетную нагрузку, на действие которой и проверяют прочность конструкции корпуса. Для приближенных расчетов прочности сварных корпусов, не прошедших сланочной обработки, можно принять $R_{расч} = 1,75 \rho_r$, что соответствует расчетной глубине $H_{расч} = 1,75 H_R$.

Согласно зарубежным данным, для корпусов, изготовленных из ковальной или штампованной стали и обработанных на станке (что обеспечивает высокую точность геометрической формы), запас прочности может быть уменьшен.

Расчет прочного корпуса состоит в определении напряжений, возникающих под действием нагрузки, и в проверке соблюдения условий прочности по напряжениям. При расчетной нагрузке действующее напряжение должно быть равно или меньше допускаемого:

$$\sigma_{дейст} < \sigma_{доп} \quad (3.1)$$

Поскольку под воздействием гидростатического давления возникают значительные сжимающие напряжения, необходимо проверять устойчивость формы корпуса. Сферические оболочки в основном работают в безмоментном состоянии. При давлении с внутренней стороны в материале сферы возникают растягивающие напряжения и потеря устойчивости исключается. Это свойство сферы позволяет создавать относительно легкие безнаборные конструкции и емкости для хранения жидкости и газов. Однако свойства сферической оболочки изменяются при действии на нее внешнего давления, как это имеет место у подводных аппаратов. При внешнем давлении в материале возникают сжимающие напряжения и сфера может потерять устойчивость, если давление превысит критическое значение. Для прочного корпуса подводного аппарата определяющими фактором является не только прочность оболочки, но и устойчивость формы. Устойчивость формы оболочки цилиндрического корпуса обеспечивается шпангоутами. При потере устойчивости формы возникают изгибы, выкручивания, а затем происходит разрушение оболочки и шпангоутов.

Чтобы исключить возможность потери устойчивости формы, при расчете толщины оболочки прочного корпуса необходимо определять критическое давление и проверять условия устойчивости:

$$P_{кр} > AP_{расч} \quad (3.2)$$

где $P_{кр}$ — критическое давление; $P_{расч}$ — расчетное давление; $k = 1,0 \div 1,5$ — коэффициент запаса устойчивости формы.

Для определения толщины оболочки и других размеров прочного корпуса, определяющих его прочность, используют формулы, приведенные в [12, 27, 34] или в специальных методиках.

Из условия прочности толщины оболочки сферического корпуса в первом приближении рассчитывают по формуле

$$t_{сф} = \frac{P_{расч} R}{2\sigma_{доп}}; \quad (3.3)$$

здесь R — радиус цилиндра, м.

В зависимости от качества изготовления прочного корпуса $P_{расч} = (1,4 \div 1,75) P_R$.

При расчете толщины оболочки цилиндрического корпуса в первом приближении из условия прочности применяют формулу

$$t_{ц} = \frac{k' P_{расч} R}{\sigma_{доп}}; \quad (3.4)$$

где $k' = 1,66 \div 1,1$.

Расчет прочности корпуса, состоящего из цилиндрической части, подкрепленной кольцевыми шпангоутами, и концевых полу-сферических переборок, выполняют в такой последовательности: по заданной рабочей глубине H_R определяют расчетную нагрузку в соответствии с вышеуказанными рекомендациями, выбирают материал прочного корпуса и определяют допускаемые напряжения. Толщину обшивки цилиндрической части рассчитывают из условия прочности по напряжениям, пользуясь формулой

$$\sigma_{дейст} > k \frac{P_{расч} R}{t_{ц}}; \quad (3.5)$$

$$t_{ц} > k \frac{P_{расч} R}{\sigma_{доп}}. \quad (3.6)$$

Согласно рекомендациям [33, 34] и практическим расчетам прочного корпуса, можно принимать следующие допускаемые напряжения: для суммарных напряжений в оболочке, имеющих местный характер,

$$\sigma_{доп} = 1,0\sigma_s; \quad (3.7)$$

для цепных напряжений в оболочке, имеющих общий характер,

$$\sigma_{доп} = 0,5\sigma_s; \quad (3.8)$$

для напряжений сжатия в поперечных сечениях кольцевых шпангоутов

$$\sigma_{доп} = 0,5\sigma_s. \quad (3.9)$$

Теоретическое значение критического давления для замкнутой сферической оболочки определяется формулой Целли:

$$P_{кр} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} E \left(\frac{t}{R}\right)^3, \quad (3.10)$$

где μ — коэффициент Пуассона; E — модуль упругости; t — толщина оболочки; R — радиус оболочки.

Теоретическое значение критического давления для стальной цилиндрической оболочки можно определить по формуле Мизеса—Панковича

$$P'_{кр} = 19,1 \left(\frac{100\sigma_s}{R}\right)^2 \left(\frac{R-100t}{\rho}\right)^{0,88} \quad (3.11)$$

или по формуле Соусвелла—Панковича

$$P'_{кр} = 18,3 \left(\frac{100\sigma_s}{R}\right)^{2/3} \frac{100\sigma_s}{t}, \quad (3.12)$$

где l — ширина шпанги; t_0 — толщина цилиндрической оболочки.

Существуют и другие формулы критического давления. Действительное критическое давление определяется по формуле

$$P_{кр} = \eta_1 \eta_2 P'_{кр}, \quad (3.13)$$

где η_1 — поправочный коэффициент, учитывающий начальную логбю, неоднородность материала и другие нелинейные факторы; η_2 — поправочный коэффициент, учитывающий влияние отклонений от закона Гука.

Определяя критическое давление прочного сферического корпуса по формуле Целли, используют коэффициент $\eta_1 = 0,3$. При расчете критического давления цилиндрического прочного корпуса по формулам (3.11), (3.12) коэффициент η_1 принимают соответственно равным 0,6 и 0,7. При практических расчетах по другим формулам его обычно принимают равным 0,6—0,8 [33, 34]. Значение коэффициента η_2 для сферических и цилиндрических прочных корпусов можно определить по табл. 3.5. Для приближенных расчетов прочных корпусов из сталей с высокими прочностными характеристиками $\eta_2 = 0,6$ —0,9. Возможность такого допущения подтверждается практическим расчетом прочного корпуса из высокопрочных углеродистых сталей, предел текучести которых заменяется на напряжение, вызвавшее остаточную деформацию, равную 0,2% первоначального размера (длина) образца ($\sigma_{0,2}$).

При установке кольцевых шпангоутов, обеспечивающих устойчивость цилиндрической оболочки, размер шпанги выбирают исходя из конструктивных соображений. Обычно ее принимают не менее 0,400 м, чтобы использовать пространство для размещения оборудования. При определении максимально допустимой длины шпанги необходимо выбрать коэффициенты η_1 ,

Таблица 3.5

Таблица критических давлений и поправочных коэффициентов для различных сталей

Теоретическое значение критического давления $P'_{кр} \cdot 10^{-2}$	Обыкновенная сталь $P_{кр} = 0,35$ ГПа		Сталь нормированная попрочности $P_{кр} = 0,3$ ГПа		Маргалецовская сталь $P_{кр} = 0,4$ ГПа	
	$P_{кр} \cdot 10^{-2}$	%	$P_{кр} \cdot 10^{-2}$	%	$P_{кр} \cdot 10^{-2}$	%
0	0	—	0	—	0	—
200	200	1,00	200	1,00	200	1,00
400	400	1,00	400	1,00	400	1,00
600	560	0,93	580	0,97	580	0,97
800	720	0,90	760	0,94	760	0,94
1000	880	0,88	940	0,94	940	0,94
1200	1020	0,85	1110	0,92	1120	0,92
1400	1160	0,83	1220	0,91	1200	0,91
1600	1280	0,80	1400	0,90	1400	0,91
1800	1320	0,78	1600	0,89	1630	0,90
2000	1480	0,74	1740	0,87	1800	0,90
2200	1570	0,71	1860	0,84	1940	0,88
2400	1640	0,68	2020	0,84	2020	0,87
2600	1720	0,66	2140	0,82	2240	0,86
2800	1780	0,64	2260	0,81	2280	0,85
3000	1840	0,62	2400	0,80	2280	0,83
3200	1890	0,60	2500	0,78	2640	0,82
3400	1940	0,57	2680	0,76	2760	0,81
3600	1980	0,55	2860	0,74	2960	0,80
3800	2020	0,53	2710	0,71	3000	0,79
4000	2060	0,51	2780	0,69	3100	0,77
4200	2100	0,50	2860	0,68	3200	0,76
4400	2140	0,49	2960	0,66	3300	0,75
4600	2180	0,47	3060	0,64	3380	0,74
4800	2220	0,46	3060	0,62	3440	0,72
5000	2260	0,44	3060	0,61	3520	0,70
5200	2280	0,43	3100	0,60	3580	0,69
5400	2290	0,42	3200	0,59	3640	0,67
5600	2320	0,41	3240	0,58	3720	0,66
5800	2340	0,40	3280	0,57	3780	0,65
6000	2360	0,39	3320	0,56	3820	0,64
6200	2400	0,37	3320	0,52	3940	0,60
6400	2420	0,35	3440	0,49	4040	0,57
7000	2500	0,33	3320	0,47	4140	0,55
8000	2540	0,32	3280	0,45	4240	0,53
8500	2580	0,30	3040	0,42	4380	0,51
9000	2600	0,29	3700	0,41	4420	0,49
9500	2640	0,28	3740	0,39	4500	0,47
10000	2670	0,27	3820	0,38	4580	0,45

η_2 и δ , по формулам (3.2) и (3.13) определить P_{22} и по формуле (3.11) рассчитать размер шпации. После преобразования получим значение l (м):

$$l = \sqrt{\frac{0,58}{\sqrt{\frac{19,1 \left(\frac{100\sigma_1}{R}\right)^2}{P_{22}}}}} 100\sigma_1 R. \quad (3.14)$$

Выбираем профиль шпангоута и определяем его момент инерции с присоединенным поясом обшивки, ширина которого равна шпации (из условия обеспечения устойчивости профиля):

$$J = \frac{R^4}{3E} P_{22\text{пр}}. \quad (3.15)$$

где E — модуль упругости; l — ширина шпации, м.

Далее методом подбора определяем J_0 — собственный момент инерции шпангоута и по нему — профиль из сортамента:

$$J = \sum (Fz^2 + J_0) - z_0 \sum Fz, \quad (3.16)$$

где F — площадь сечения, м²; J_0 — собственный момент инерции профиля шпангоута без присоединенного пояска, м⁴; z — длина плеча от оси сравнения, м.

Таким образом, в первом приближении получаем все необходимые размеры для построения чертежа прочного корпуса: d , t_0 , $t_{0\phi}$, $t_{0\text{вн}}$, J_0 .

В дальнейшем при расчете цилиндрического прочного корпуса проверяется устойчивость корпуса (вне оттока) в целом.

Толщину обшивки конических полусферических переборок выбирают на условия устойчивости по формуле (3.10).

Для упрощения приближенного расчета размера и массы прочного корпуса принимаем: $\mu=0,3$, $\eta_1=0,3$, $\eta_2=0,9$, $k=1,5$. Используя принятые коэффициенты и преобразуя (3.10), получаем выражение, аналогичное формуле Мушарти ($H/\text{м}^2$),

$$1,5P_{22\text{пр}} = 0,325E \left(\frac{l}{R}\right)^4. \quad (3.17)$$

где l_2 — толщина конической полусферической переборки:

$$l_2 = \sqrt{\frac{1,5P_{22\text{пр}}}{0,325E}} R = 2,15 \sqrt{\frac{P_{22\text{пр}}}{E}} R. \quad (3.18)$$

В соответствии с расчетными значениями толщины обшивки и профилем шпангоута, а также с учетом припуска на обработку выбирают материал по сортаменту. Затем, приняв более точные значения всех коэффициентов, проводят уточняющий расчет прочности и устойчивости элементов корпуса, чтобы определить действительные напряжения по выбранным толщинам.

При выборе конструктивных размеров и материала желательнее обеспечивать равнопрочность корпуса исходя из условий прочности по напряжениям и устойчивости формы.

С этой целью рассмотрим условия прочности и устойчивости формы сферического корпуса. Устойчивость сферы определяется формулой

$$1,5P_{22\text{пр}} < P_{\text{сф}} = 0,325E \left(\frac{l}{R}\right)^4, \quad (3.19)$$

где $E=2,0 \cdot 10^8$ (для стали).

Прочность сферы проверяется по формуле

$$\sigma_{22\text{пр}} = \frac{P_{22\text{пр}} R}{2l} < \sigma_{\text{доп}} = 0,5\sigma_s, \quad (3.20)$$

откуда

$$\sigma_s = \frac{P_{22\text{пр}} R}{l}, \quad (3.21)$$

и

$$\frac{l}{R} = \frac{P_{22\text{пр}}}{\sigma_s}. \quad (3.22)$$

Подставив l/R в формулу (3.19), после преобразования получим

$$\sigma_s = 0,66 \cdot 10^8 \sqrt{P_{22\text{пр}}}. \quad (3.23)$$

С помощью рис. 3.4 определяем сталь с необходимым пределом текучести для заданной глубины погружения. Более прочная сталь в данном случае не требуется, поскольку устойчивость сферы определяется модулем упругости, примерно одинаковым для любой марки стали.

В формулах (3.19) и (3.20) суммарный запас прочности обтекаемого корпуса складывается из следующих составляющих: отношения расчетной глубины погружения к рабочей $H_{\text{расч}}/H_p = 1,75$; запаса прочности от предела текучести материала $\sigma_s/\sigma_{\text{доп}}=2$; запаса прочности по устойчивости формы $k=1,5$.

Практическая схема расчета прочности прочного корпуса. Исходные данные: $H_p=1000$ м, $d=2$ м. Форма прочного корпуса сферическая. Материал — сталь $\sigma_s = 6 \cdot 10^8$ Н/м²; $\mu=0,3$; $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $\eta_1=0,3$.

Принимаем: $P_{22\text{пр}}=1,5P_p=1,5 \cdot 10^8$ Н/м²; напряжение прочного корпуса $\sigma_{22\text{пр}} < 0,5\sigma_s = 3 \cdot 10^8$ Н/м².

Определим ориентировочную толщину оболочки по формуле (3.3):

$$t_{0\phi} = \frac{P_{22\text{пр}} R}{2\sigma_{22\text{пр}}} = \frac{1,5 \cdot 10^8 \cdot 1,0}{2 \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,025 \text{ м};$$

теоретическое критическое давление — по формуле (3.10) с учетом $\eta_0 = 0,3$:

$$P'_{кр} = \eta_0 \frac{2}{\sqrt{2(1-\eta_0^2)}} E \left(\frac{t}{R} \right)^2 =$$

$$= \frac{0,3 \cdot 2}{\sqrt{2(1-0,3^2)}} \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \left(\frac{0,025}{1,0} \right)^2 = 4,76 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2;$$

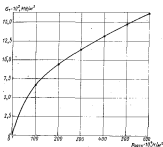


Рис. 3.4. Зависимость предела текучести материалов стали сферического корпуса от критического давления

теоретическое критическое напряжение в оболочке — по выражению (3.3):

$$\sigma'_{кр} = \frac{P'_{кр} R}{2t} < \frac{476 \cdot 100}{2 \cdot 2,5} = 95,2 \text{ МН/м}^2;$$

$$\sigma'_{кр} < \sigma_{200} = 0,16 \sigma;$$

поправочный коэффициент — по табл. 3.5: $\eta_0 = 0,94$; действительное критическое давление — по зависимости (3.13)

$$P_{кр} = \eta_0 P'_{кр} = 4,33 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

или

$$P_{кр} > P_{пред};$$

действительное напряжение

$$\sigma_{действ} = \frac{P_{пред} R}{2t} = \frac{1,5 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,025} = 3 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2.$$

§ 14. Определение массы корпуса

Для вывода формулы массы прочного корпуса $m_{кр}$ необходимо установить упрощенные зависимости, связывающие массу прочного корпуса с его геометрическими размерами (диаметром и длиной цилиндрической части, высотой днищем, определяющим глубину погружения, и свойствами материала корпуса). В общем виде искомую зависимость можно выразить следующим образом:

$$m_{кр} = f(H_p, d, l, \rho_m, E, \sigma_{доп}). \quad (3.24)$$

где H_p — рабочая глубина погружения; d — диаметр прочного корпуса; l — длина цилиндрической части прочного корпуса; ρ_m — плотность материала; E — модуль упругости материала; $\sigma_{доп}$ — допустимое напряжение в материале корпуса.

Полученную зависимость используем для вывода упрощенных формул массы прочного корпуса трех основных типов.

Чтобы определить массу сферического корпуса, рассмотрим модель этого корпуса в виде идеальной тонкостенной сферы из упругого однородного материала (см. рис. 3.1, а). Для простоты примем наружный диаметр равным внутреннему, пренебрегая толщиной оболочки. Такое допущение практически не влияет на точность расчета при $H_p < 4000$ м.

Из геометрических соображений следует

$$m_{кр} = \rho_m \pi d^2 l, \quad (3.25)$$

где l — толщина оболочки ($l \ll d$).

Толщину оболочки сферического корпуса находим с помощью соотношения (3.19), учитывающего отклонения формы корпуса от идеальной сферы и отклонение свойств реального материала от закона Гука:

$$1,5 P_{кр} = 0,325 E \left(\frac{t}{R} \right)^2, \quad (3.26)$$

где $P_{кр}$ — критическое давление, Н/м²; R — радиус сферы, см. После преобразования получаем

$$P_{пред} = 0,217 E \left(\frac{t}{R} \right)^2, \quad (3.27)$$

откуда

$$t = R \sqrt{\frac{P_{пред}}{0,217 E}} = 1,07 d \sqrt{\frac{P_{пред}}{E}}. \quad (3.28)$$

Подставив в формулу (3.25) значение t , получим

$$m_{ок} = 1,07 \rho_{ок} d^3 \sqrt{\frac{P_{раб}}{E}} \quad (3.29)$$

Принимаем $P_{раб} = 1,75 P_0$, где P_0 — давление на рабочей глубине погружения. Пренебрегая изменением плотности воды с увеличением давления и учитывая, что гидростатическое давление на каждые 10 м повышается примерно на 10^6 Н/м², можем записать: $P_0 = 10^4 H_0$, где H_0 выражено в метрах, а P_0 — в Н/м².

Принимая во внимание массу сварной поллюминаторов, уплотнений, входного люка, а также возможные технологические отступления действительной толщины сферы от расчетной, на основании анализа массы элементов построенных прочных корпусов и рекомендаций [12, 27, 34, 42], увеличиваем расчетную массу сферы на 10%. Тогда

$$m_{ок} = 1,1 \cdot 1,07 \rho_{ок} d^3 \sqrt{\frac{0,175 H_0}{E}} = \frac{1,56 \rho_{ок}}{\sqrt{E}} d^3 H_0^{0,5} \quad (3.30)$$

Вводим постоянный коэффициент (кг/м^{3,5}), зависящий от механических свойств материала сферического прочного корпуса (табл. 3.6)

$$A_{ок} = 1,56 \frac{\rho_{ок}}{\sqrt{E}} \quad (3.31)$$

Массу сферического прочного корпуса (кг) записываем в виде

$$m_{ок} = A_{ок} d^3 H_0^{0,5} \quad (3.32)$$

здесь d измеряется в метрах.

Полученную зависимость массы прочного корпуса от материала, диаметра и рабочей глубины погружения можно использовать для приближенного расчета.

Объем прочного сферического корпуса (м³)

$$V_{ок} = \frac{\pi d^3}{6} \quad (3.33)$$

Плотность корпуса. Плотностью прочного корпуса, как и других конструкций, будем называть отношение массы корпуса (конструкции) к его полному наружному объему:

$$\rho_{ок} = \frac{m_{ок}}{V_{ок}} = \frac{A_{ок}}{0,52} H_0^{0,5} \quad (3.34)$$

Сферические оболочки широко применяются не только для прочных корпусов подводных аппаратов, но и в качестве прочных контейнеров для размещения различных приборов и оборудования за пределами прочного корпуса, а также для игно-

Таблица 3.6
Характеристика и расчетные коэффициенты материалов, применяемых в США для корпусов подводных аппаратов

Материал	Марка	Механические свойства					Расчетные коэффициенты	
		Предел прочности $\sigma_{т}$, МПа	Модуль упругости E , ГПа	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент Пуассона ν	Длина шарового корпуса, м	$A_{ок}$, кг/м ^{3,5}	$A_{ок}$, кг/м ^{3,5}
Сталь	Двухфазная (двух-фазная) низколегированная	840	0,2	7,85	0,3	1070	8,7	0,203
"	4V-150	1070	0,2	7,85	0,3	1300	8,7	0,182
"	NAF-330	1255	0,2	7,85	0,3	1570	8,7	0,160
"	4V-350	1650	0,2	7,85	0,3	2060	8,7	0,140
Титановый сплав	5-Al, 3,5 — Sn	950	0,12	4,5	—	2000	6,4	0,119
Алюминиевый сплав	7075-T6	478	0,074	2,8	0,35—0,36	1710	5,0	0,141
Сплав алюминия	5-Mil-E	1330	0,042	3,0	0,15	6650	4,8	0,058
Сплав алюминия — магния	809	809	0,018	1,7—1,8	0,15	4400	6,3	0,071
Сплав алюминия	Золотников	500—2000	0,05—0,1	2,2—6,5	0,24—0,27	2750—3100	4,8	—

толщения легких всплывков, компенсирующих отрицательную осадочную плавучесть.

Сферические контейнеры и всплывки небольших размеров можно изготовить с высокой точностью из материалов с большой удельной прочностью. При этом запас прочности может быть меньше, чем для обитаемых сферических корпусов.

Расчет прочности и плотности всплывков, выполненных в виде пустотелых сфер, производится с помощью вышеприведенного метода расчета сферического прочного корпуса.

Условие обеспечения устойчивости позволяет использовать формулу (3.17). После преобразования получаем

$$1,5 \cdot 10^4 N_{расч} = 0,325E \left(\frac{2r}{d} \right)^3, \quad (3.35)$$

откуда

$$t = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^4 N_{расч}}{0,325E}} \quad (3.36)$$

или

$$t = 100d \sqrt{\frac{N_{расч}}{E}} \quad (3.37)$$

Из условия обеспечения прочности применяем формулу расчета по временному напряжению

$$\sigma_s = \frac{P_{расч} d}{4t} \quad (3.38)$$

Для сохранения условия равнопрочности по устойчивости и напряжению коэффициент запаса приемем равным 1,5. Тогда

$$\frac{\sigma_s}{1,5} = \frac{P_{расч} d}{4t} \quad (3.39)$$

откуда

$$t = \frac{1,5 P_{расч} d}{4\sigma_s} = \frac{1,5 \cdot 10^4 N_{расч} d}{4\sigma_s} \quad (3.40)$$

Дальнейший расчет плотности пустотелых сфер, выполненный из различных материалов, ניתן по формулам, аналогичным (3.30), (3.33), (3.34). Полученные результаты сведены в табл. 3.7 и представляем графически (рис. 3.5 и 3.6).

Как видно из рисунков, расчет прочности пустотелых сфер из стеклопластика и титана следует вести из условий устойчивости. Сферы из стали надо рассчитывать по формулам устойчивости до $N_{расч} = 4200$, а сферы из алюминия — до $N_{расч} = 2650$ м. Для больших глубин расчет стальных и алюминиевых сфер необходимо вести из условий прочности по напряжениям,

Массу многосферного корпуса, состоящего из нескольких соединенных сфер (см. рис. 3.1, в), можно определять по формуле,

Таблица 3.7

Формулы плотности пустотелых сфер (всплывков) [3]

Материал	Условие устойчивости	Условие прочности
Сталь $E = 2,0 \cdot 10^{11}$; $\rho = 7,85 \cdot 10^3$; $\sigma_s = 10700 \cdot 10^6$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 11,4 \sqrt{N_{расч}}$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 0,178 N_{расч}$
Титановый сплав $E = 1,2 \cdot 10^{11}$; $\rho = 4,5 \cdot 10^3$; $\sigma_s = 9500 \cdot 10^6$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 8,36 \sqrt{N_{расч}}$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 0,307 N_{расч}$
Стеклопластик $E = 0,18 \cdot 10^{11}$; $\rho = 2,0 \cdot 10^3$; $\sigma_s = 13300 \cdot 10^6$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 9,6 \sqrt{N_{расч}}$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 0,34 N_{расч}$
Алюминиевый сплав $E = 0,7 \cdot 10^{11}$; $\rho = 2,7 \cdot 10^3$; $\sigma_s = 4780 \cdot 10^6$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 6,6 \sqrt{N_{расч}}$	$P_{расч} \cdot 10^3 = 0,127 N_{расч}$

Примечание. Величины E и σ_s выражены в 10^6 Дин/см^2 , а ρ в кг/см^3 . $N_{расч}$ — в атм.

аналогичной (3.32), с учетом количества сферических элементов.

При расчете массы корпуса типа «газитель» (см. рис. 3.1, в) должна быть учтена масса соединяющего туннеля, подкреплений и вырезов.

Согласно американским данным, форма прочного корпуса, состоящего из нескольких старинных сферических элементов — «пересекательных сфер» (см. рис. 3.1, в), равноадекватна с точки зрения увеличения массы и увеличения объема атмосферного корпуса при значениях $d/d_0 < 0,4$ (где d_0 — диаметр отверстия в свету между сферами) и числе пересечений их более трех. Ориентировочные масса и объем такой модели могут быть

рассчитаны по формулам, используемым для расчета сферического прочного корпуса:

$$m_{\text{сф}} = A_{\text{сф}} d^2 H_p^2 \alpha, \quad (3.41)$$

$$V_{\text{сф}} = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (3.42)$$

где n — число сферических элементов.

При выборе данной модели необходимо учитывать, что корпус должен обеспечивать точность сферической формы с отклонением не более чем 0,01% от диаметра или 0,1 толщины

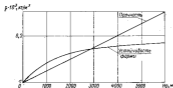


Рис. 3.5. Изменение плотности пустотелых сфер из алюминия в зависимости от глубины погружения и условий расчета

оболочки. Кроме того, в процессе проектирования требуется выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а расчет прочности многосферного корпуса вести по специально разработанной методике.

Определим массу цилиндрического корпуса. Для этого рассмотрим его модель, представляющую собой подкрепленную шпангоутом тонкостенную цилиндрическую оболочку со сферическими оконечностями (см. рис. 3.2, а).

Толщину цилиндрической оболочки находим с помощью формулы (3.4)

$$t_1 = 1,1 \frac{P_{\text{расч}} R}{\sigma_{\text{доп}}}.$$

Приведя согласно (3.7) $\sigma_{\text{доп}} = \sigma_T$, получим

$$t_1 = 1,1 \frac{P_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}} = 0,55 \frac{P_{\text{расч}} d}{\sigma_{\text{доп}}}, \quad (3.43)$$

где d — диаметр прочного корпуса.

Масса цилиндрической части корпуса

$$m_{\text{сф}} = \rho_{\text{ст}} \pi d t_1 l_1, \quad (3.44)$$

где l_1 — длина цилиндрической части корпуса. Подставив значение t_1 из формулы (3.43), получим

$$m_{\text{сф}} = 0,55 \rho_{\text{ст}} \pi d l_1 \frac{P_{\text{расч}} d}{\sigma_{\text{доп}}}. \quad (3.45)$$

Введем коэффициент δ , равный отношению длины цилиндрической части прочного корпуса к его диаметру:

$$\delta = \frac{l_1}{d}. \quad (3.46)$$

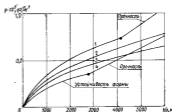


Рис. 3.6. Изменение плотности пустотелых сфер в зависимости от интервала, глубины погружения и условий расчета: 1 — сталь; 2 — алюминий; 3 — титановый сплав; 4 — композитный сплав

В дальнейшем величину δ будем называть относительным удлинением прочного корпуса.

Как и при расчете сферического корпуса, с учетом массы вварившей и шпангоуты увеличиваем массу цилиндрической части на 10%. Согласно формулам (3.11) — (3.16), устойчивость цилиндрической оболочки обеспечивается шпангоутами.

В соответствии с выражениями (3.3) и (3.4) запас прочности цилиндрической части прочного корпуса по отношению к рабочей глубине примем равным 1,4. Тогда

$$P_{\text{расч}} = 1,4 P_p = 1,4 \cdot 10^6 H_p.$$

С учетом принятых допущений формула (3.45) будет иметь вид

$$m_{\text{сф}} = 1,1 \cdot 0,55 \rho_{\text{ст}} \pi \delta d \frac{1,4 \cdot 10^6 H_p d}{\sigma_{\text{доп}}} = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\rho_{\text{ст}}}{\sigma_{\text{доп}}} d^2 \delta H_p. \quad (3.47)$$

Введем коэффициент $10 \cdot 1,4$ (кг/м^3), определяемый механическими свойствами материала цилиндрической части прочного корпуса (табл. 3.5):

$$A_{\text{кр}} = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\rho_{\text{ст}}}{\sigma_{\text{ст}}} \quad (3.48)$$

Тогда

$$m_{\text{кр}} \sim A_{\text{кр}} d^2 H_P \quad (3.49)$$

где d и H_P выражены в метрах.

Общая масса (кг) цилиндрического корпуса, состоящего из цилиндрической части и двух конических полусфер, на основании (3.42) и (3.32) выражается формулой

$$m_{\text{кр}} = d^3 (A_{\text{кр}} H_P + A_{\text{кр}} H_P^2). \quad (3.50)$$

Объем цилиндрического корпуса (м^3)

$$V_{\text{кр}} = \pi d^2 \left(\frac{1}{6} + \frac{b}{4} \right) \quad (3.51)$$

или

$$V_{\text{кр}} = d^3 (0,52 + 0,79b). \quad (3.52)$$

Выражения (3.50) и (3.52) справедливы также для сферического корпуса (как частный случай при $b=0$).

Точность имеющихся приближенных формул оценива путем сопоставления расчетной массы корпуса с фактической массой прочного корпуса востроенных аппаратов (табл. 3.8). График зависимости относительной ошибки приближенных формул от глубины погружения приведен на рис. 3.7.

Ошибка вычислялась по формуле

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{m - m_{\text{факт}}}{m} \cdot 100\%,$$

где m — фактическая масса прочного корпуса; $m_{\text{расч}}$ — масса прочного корпуса, рассчитанная по приближенным формулам.

Как следует из анализа таблицы и рисунка, погрешность приближенных формул при $H_P < 300$ м составляет от 19 до 34%. Такие большие погрешности объясняются тем, что у аппаратов, предназначенных для малых глубин, толщина оболочки прочного корпуса выбирают в первую очередь из конструктивных и технологических соображений и без четкой зависимости от глубины. Кроме того, необходимо учитывать, что у реальных аппаратов доля подкреплений, сварных, элементов и тому подобных элементов превышает те 10% массы прочного корпуса, которые принимаются при приближенном расчете. По-

этому оболочки, рассчитанные по приближенной формуле, как правило, значительно легче реально существующих.

В области предельных глубин фактические массы прочного корпуса также значительно больше расчетных (на 42—46%), так как для глубин свыше 4000 м расчет должен выполняться на условии удовлетворения прочности (см. рис. 3.6), а это приводит к увеличению массы прочного корпуса.

В области $H_P = 300 \div 4500$ м фактическая масса прочного корпуса хорошо совпадает с расчетной. Максимальное отклоне-

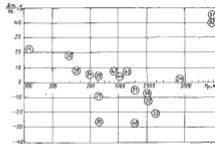


Рис. 3.7. Отклонение расчетной массы прочного корпуса от фактической (в кружках указаны порядковые номера аппаратов, приведенные в табл. 2.1)

ние составляет не более 10% и объясняется различием методов расчета прочности, конструкции и технологии изготовления, принятых различными иностранными фирмами. Следует отметить, что у прочных корпусов аппаратов поздней постройки, рассчитанных по методике Тейлоровского окислительного бассейна (США) и изготовленных методом горячей штамповки и станочной обработки, фактическая масса прочного корпуса примерно на 25% меньше расчетной.

Таким образом, сравнение результатов теоретического расчета с фактическими массами прочных корпусов существующих подводных аппаратов показывает, что погрешность приближенных формул не превышает $\pm 10\%$ для диапазона глубин 300—4500 м и является допустимой при приближенных расчетах.

На основании формулы плотности сферического корпуса

Таблица 2.8
Характеристики прочных корпусов

Испытание по табл. 2.1	Наименование аппарата	Рабочая глубина погружения, м	Марка стали прочного корпуса	$\sigma_{\text{пр}} \times 10^5$, МПа	d , м	l , м
3	«Стар-1»	60	A-212 сорт В	267	1,22	—
7	«Субмарина»	91	A-212 « з »	267	0,91	2,5
12	«Амерз»	183	A-212 « з »	267	1,52	—
28	«Стар-2»	360	HV-80	635	1,59	—
30	«Шельф-2»	460	HV-80	635	1,65	5,7
34	«Два стар-2000»	600	HV-80	625	1,54	3,05
37	«Стар-3»	610	HV-100	752	1,67	—
38	«Ванер-4»	669	HV-100	752	—3,13	—
39	АМС-200	669	Лигаровская	625	1,65	2,60
43	«Найск-2»	1 000	HV-100	752	1,98	—
44	«Найск-1»	1 000	HV-80	625	1,98	—
45	«Два стар-4000»	1 200	HV-80	550	1,98	—
46	ДЦРБ	1 320	HV-140	1050	2,29	—
47	«Линет»	1 830	HV-100	700	2,14	—
48	«Морей»	1 830	Алюминий	478	1,52	—
49	«Найск-1-2»	2 000	HV-140	1050	1,98	—
50	«Дюва»	1 980	HV-100	700	2,34	—
51	«Гармон»	1 980	HV-100	752	2,07	—
52	«Два шара»	2 440	МОР-209	1400	2,14	—
54	«Алмазбург»	4 570	Алюминий 7079-T6	478	2,44	13,66
61	«Триест-2»	6 100	Лигаровская	840	2,14	—
62	«Архимед»	11 000	Лигаровская	840	2,4	—

(3.34) из формул (3.50) и (3.52) получаем для цилиндрического корпуса

$$P_{\text{пл}} = \frac{\sigma_{\text{пл}}}{V_{\text{пл}}} = \frac{A_{\text{пл}} \Delta P_{\text{р}} + A_{\text{пл}} P_{\text{р}}^{\text{пл}}}{0,52 \phi + 0,796} \quad (3.53)$$

Для многосферного корпуса из выражений (3.41) и (3.42) следует

$$P_{\text{пл}} = \frac{6}{\pi} A_{\text{пл}} P_{\text{р}}^{\text{пл}} \quad (3.54)$$

Как видно, плотность корпуса при принятых допущениях не зависит от диаметра, и определяется только механическими свойствами материала, рабочей глубиной погружения и формой прочного корпуса (длиной цилиндрической части, а у многосферных — особенностями стыковки сферических элементов).

d , м	V , м ³	σ (10 ⁵ МПа)	$\sigma_{\text{пр}}^{\text{пл}} \times 10^5$, МПа	$P_{\text{пл}}^{\text{пл}} (10^5 \text{ кг/м}^3)$	$P_{\text{пл}}^{\text{пл}} \times 10^5$, кг	$\delta = \frac{P_{\text{пл}}}{d}$	$\frac{\Delta m}{m}$, %
9,5	0,25	0,35	0,23	0,27	0,24	0	34
6,0	1,44	0,38	0,28	0,26	0,20	1,7	26
9,5	1,83	0,55	0,42	0,35	0,23	0	23
12,0	2,10	0,44	0,25	0,40	0,35	0	9
12/16	8,0	3,08	2,44	0,28	0,21	2,6	19
12/0	4,72	1,52	1,49	0,51	0,31	1,0	4
12,7	2,49	0,90	1,01	0,36	0,40	0	-10
12,7	5,06	1,66	2,07	0,20	0,41	—	-26
12,0	4,30	1,45	1,42	0,24	0,23	0,6	2
25,4	4,10	2,28	2,15	0,28	0,22	0	9
19,5	4,10	1,96	2,13	0,48	0,51	—	9
30,3	4,10	2,85	2,09	0,69	0,28	0	9
18,7	28,90	8,90	11,5	0,47	0,27	—	-28
23,4	5,15	3,70	3,93	0,79	0,76	0	-6
43,2	3,68	1,59	1,74	0,46	0,5	0	-3
36,0	4,10	2,90	3,04	0,71	0,74	0	5
23,2	6,70	3,18	3,30	0,45	0,49	0	-6
34,4	4,65	3,53	3,69	0,76	0,79	0	-4
22,8	10,2	5,20	6,30	0,51	0,62	—	-21
665	60,54	47,50	47,8	0,79	0,79	4,8	-2
120	5,15	12,10	6,50	2,25	1,30	0	46
150	7,30	21,20	12,3	2,59	1,70	0	42

Плотность следует считать основным критерием качества прочного корпуса, поскольку у большинства аппаратов он обеспечивает плавучесть.

При сравнении нескольких прочных корпусов с равными глубинами погружения и равными объемами лучшим следует считать прочный корпус, имеющий меньшую плотность.

На рис. 3.8 приведена зависимость плотности сферического и цилиндрического корпусов от глубины погружения и относительной длины цилиндрической части, рассчитанная по формулам (3.34), (3.53) и методике, полученной Тейлоровским олеговым бассейном (США) для корпусов, изготовленных методом горячей штамповки и станочной обработки. График показывает, что при использовании обоснованного запаса прочности и технологии изготовления для глубин свыше 2000 м целесообразнее применять сферические корпуса.

На рис. 3.9 следует, что плотность корпуса из титанового сплава, для которого характерна более высокая удельная прочность, при всех других равных условиях на 20—25% меньше стальной.

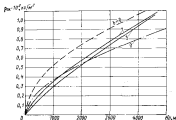


Рис. 3.8. Зависимость плотности прочного корпуса, изготовленного из стали ($\sigma_s = 1070$ МПа), от рабочей глубины погружения.
— цилиндрический; --- сферический; - · - сферический, прямоугольный по методу Тейлоровского расчета балласта

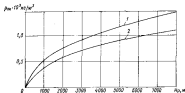


Рис. 3.9. Зависимость плотности сферического прочного корпуса от рабочей глубины погружения.
1 — сталь ($\sigma_s = 100$ МПа); 2 — титановый сплав ($\sigma_s = 90$ МПа)

Плотность сварного корпуса больше плотности корпуса точечной конструкции, имеющих одинаковую глубину погружения, что объясняется большей точностью изготовления последнего.

Таким образом, для уменьшения плотности прочных корпусов необходимо совершенствование методов расчета прочности и технологии изготовления сферических и многоферрих корпусов, а также применение материалов с высокой удельной прочностью.

Практическая схема расчета массы прочного корпуса. Исходные данные: $H_p = 3000$ м; $d = 2$ м; $b = 0,6$. Материал — сталь $\sigma_s = 1,07 \cdot 10^8$ Н/м².

По табл. 3.6 определяем

$$A_{сж} = 8,7 \text{ кг/м}^2, \quad A_{сн} = 0,182 \text{ кг/м}^2.$$

Тогда масса корпуса [см. формулу (3.50)]

$$m_{сж} = d^2 (A_{сж} b H_p + A_{сн} H_p^2) = 8 (0,182 \cdot 0,6 \cdot 3000 + 8,7 \cdot 54,6) = 6220 \text{ кг};$$

$$m_{сн} = 6,3 \text{ т} = 6300 \text{ кг}.$$

Объем прочного корпуса по формуле (3.52) равен

$$V_{сж} = d^3 (0,52 + 0,79b) = 8 (0,52 + 0,79 \cdot 0,6) = 7,9 \text{ м}^3;$$

$$V_{сн} = 8 \text{ м}^3.$$

Плотность прочного корпуса

$$\rho_{сж} = \frac{m_{сж}}{V_{сж}} = \frac{6220}{8} = 790 \text{ кг/м}^3.$$

§ 15. Выбор легкого корпуса

Легкий корпус вместе с прочным определяет внешнюю форму и архитектурный тип аппарата (рис. 3.10).

Подобные аппараты для малых глубин (100—200 м) часто не имеют легкого корпуса. Их внешняя форма определяется конфигурацией прочного корпуса, который состоит из цилиндрической оболочки, носовой и кормовой конических частей и сферических оконечностей. В средней части обычно размещаются удлиненный рубка с иллюминаторами или прозрачные лючки, обеспечивающие хороший обзор экипажа («Кабина», «Дал дайвер»).

Легкий корпус аппарата для средних глубин (до 2000 м), имеющего односферный прочный корпус и скорость около 1,29 м/с, придает аппарату каплеобразную форму с относительным удлинением от 2,0 до 3,0 («Аллиан», «Тарта»).

Аппаратом с многоферными прочным корпусом прядается торпедообразная форма, обеспечивающая высокие гидродинамические качества. К таким аппаратам относятся ДСРВ, «Море», имеющие относительные удлинения от 3,7 до 6,5.

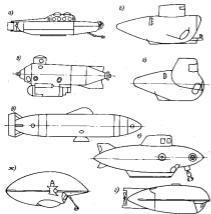
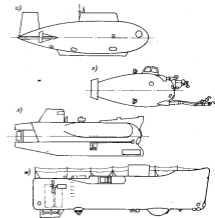


Рис. 3.10. Формы легких корпусов подводных аппаратов: а — «Кабмарин»; б — «Дли стар-2000»; в — «Дли стар-4000»; г — «Дли квест».

Особую группу представляют аппараты со сплюснутой формой легкого корпуса, к которым, в частности, принадлежат «Дензна», «Дли стар-2000» и «Дли квест».

Американскими учеными установлено, что носовая оконечность должна иметь более плавно обводы. Резко выраженная ступенчатость носовых обводов аппаратов типа «Дли стар-2000» удобна для размещения оборудования, но увеличивает сопротивление движению.

Наиболее рациональной формой легкого корпуса аппарата для средних глубин, имеющих хорошие скоростные показатели, является вытянутый эллипсоид вращения («Дли стар-4000», «Вивер-4»). Подводные аппараты типа «Стар-3», «Дензна», «Пайсис», «Дли квест» удобны для исследований по-



б — «Торго»; в — «Дли дайвер»; г — «Аква»; д — ДСРВ; е — «Стар-3»; ж — «Вивер-4»; з — «Смер-2»; и — «Триест-2».

верхности дна. Для них характерны обтекаемые обводы носовой части, низкое расположение внешнего оборудования и хорошая маневренность.

Конструкторы некоторых подводных аппаратов отдадут предпочтение удобству расположения внешнего оборудования в ущерб скорости («Дли дайвер», «Смер-2», «Триест-2»).

Правильное расположение междубортного оборудования определяет форму отдельных элементов легкого корпуса и аппарата

в целом. При расположении общесудового оборудования руководствуются требованиями устойчивости, удифференциции, ала-
нучности, а также ограничениями по высоте, ширине или длине аппарата, которые определяются типом спуско-подъемного устройства судна-базы, габаритом помещения для хранения и т. п.

Легкий корпус может состоять из нескольких элементов, выполняющих самостоятельные функции. Носовая оконечность закрывает приборы и оборудование, расположенные впереди прочного корпуса, как правило, над смотровыми иллюминаторами; внутри кормовой оконечности размещают механизмы, устройства, системы, а снаружи — движительный комплекс и рулевое устройство (иногда движитель ставит на пилоне или стабилизаторе). Килевая часть легкого корпуса служит для размещения тяжелых элементов: аккумуляторов, балласта, уравнивательной и дифференциальной систем и т. п. Вдоль правого и левого бортов располагают балластные цистерны, часто со встроенными в них нагнетателями дивангителами. Верхняя часть легкого корпуса составляет палубу и ограждение надводного люка. Для доступа к оборудованию в легкий корпус предусматриваются съемные люки и смотровые люки.

Легкие корпуса изготавливают из стали и других металлов, у большинства аппаратов они выполнены из легких металлических сплавов или армированных пластиков для уменьшения общей массы аппарата.

Конструкция легкого корпуса не испытывает нагрузки от внешнего давления, поэтому для расчета прочности легкого корпуса и его отдельных узлов принимаются нагрузки, испытываемые аппаратом во время спуска из воды и подъема на судно-базу, от воздействия воды при надводном плавании и от возможных ударов при авариях. Расчет прочности ведется по методикам, принятым в судостроении.

Масса легкого корпуса, составляющая от 5 до 15% массы аппарата, зависит от материала, запаса пластичности, объемов прочного корпуса и бортового оборудования. Его основную часть составляют массы прочных цистерн, поплавков, аккумуляторных батарей, движительного комплекса и судовых устройств, зависящие в свою очередь от глубины, скорости, автономности и назначения подводного аппарата. Таким образом, масса легкого корпуса является функцией многих независимых переменных.

Из-за сложной функциональной зависимости, разнообразия конструктивных решений и типов подводных аппаратов, а также ввиду отсутствия статистических данных не представляется возможным получить аналитическую зависимость массы легкого корпуса от перечисленных выше характеристик аппарата. Чтобы упростить задачу, сократим число характеристик, косвенно влияющих на массу легкого корпуса, и выведем зависи-

тели, определяющие его размер, а следовательно, и массу. Очевидно, что размер легкого корпуса в значительной мере определяют диаметр, длина и масса прочного корпуса, а, как следует из (3.50), масса прочного корпуса зависит от его диаметра, длины, глубины погружения.

Естественно предположить, что у подводных аппаратов, имеющих сходную конструктивную схему и материал прочного и легкого корпусов («Алион», «Стар», «Дип Квест»), должны

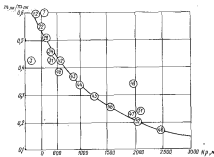


Рис. 3.11. Кривая зависимости отношения массы легкого корпуса к массе прочного корпуса от рабочей глубины погружения

проявляться идентичные закономерности во взаимосвязях величин $m_{л}$, $m_{п}$ и H_p .

При анализе составляющих массы некоторых аппаратов прослеживается общая закономерность: с увеличением глубины погружения масса прочного корпуса растет значительно быстрее массы легкого корпуса. Выберем ряд подводных аппаратов, имеющих стальной прочный корпус, наиболее совершенную форму легкого корпуса, приближающуюся к эллипсоиду различного удлинения, небольшое число выступающих частей, однотипную конструкцию легкого корпуса из армированного пластика, и построим график зависимости отношения массы легкого корпуса к массе прочного корпуса от рабочей глубины погружения (рис. 3.11).

Из анализа графика следует, что с ростом глубины погружения масса прочного корпуса увеличивается значительно быстрее массы легкого корпуса, в то время как масса и объем забортного оборудования относительных аппаратов остаются примерно постоянными. Для упрощения зависимости можно пренебречь погрешностью, вносимой различием в объеме забортного оборудования, формой прочного корпуса и другими второстепен-

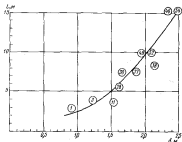


Рис. 3.12. Кривая зависимости diam подводного аппарата от диаметра прочного корпуса

ными факторами. Аппроксимация графика по методу наименьших квадратов дает

$$\frac{\sigma_{\text{дв}}}{\sigma_{\text{кк}}} = \frac{0,55}{10^{-3} N_p + 0,62} \quad (3.55)$$

Данная зависимость имеет чисто статистический характер и справедлива для приближенного расчета массы легкого корпуса аппаратов с $N_p = 300 - 3000$ м, имеющего формы, близкие к показанным на рис. 3.10, б, в, д, е, а, и.

Погрешность расчета массы легкого корпуса аппаратов со стальным прочным корпусом составляет не более $\pm 5\%$.

Подставив в выражение (3.55) формулу (3.50), после преобразований получим

$$\sigma_{\text{дв}} = \frac{0,55(A_{\text{об}} \Delta H_{\text{г}} + A_{\text{об}} N_p^{0,5}) d^2}{10^{-3} N_p + 0,62} \quad (3.56)$$

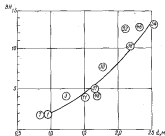


Рис. 3.13. Зависимость ΔH от диаметра прочного корпуса

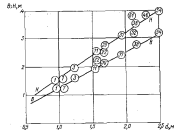


Рис. 3.14. Зависимость B и H подводного аппарата от диаметра прочного корпуса

Объем легкого корпуса определяется формулой

$$V_{\text{лг}} = \frac{m_{\text{лг}}}{\rho_{\text{лг}}} = \frac{0,55 [A_{\text{лг}} \beta H^2 + A_{\text{лг}} \rho_{\text{л}}^{\text{об}}] d^3}{\rho_{\text{лг}} (10^{-2} H^2 + 0,62)}, \quad (3.57)$$

где $\rho_{\text{лг}}$ — плотность материала легкого корпуса (см. таблиц 3.1—3.4).

Показателем рациональности легкого корпуса, характеризующим компактность размещения в легком корпусе заборного оборудования, будем считать величину

$$K_{\text{лг}} = \frac{m}{D_{\text{л}}}, \quad (3.58)$$

здесь m , $D_{\text{л}}$ — масса и подводное водозащитное устройство аппарата.

Чем больше $K_{\text{лг}}$, тем меньше воды в легком корпусе, меньше его смоченная поверхность и, следовательно, лучше конструкция аппарата. У большинства современных подводных аппаратов $K_{\text{лг}} = 0,7-0,9$.

Для установления остальных взаимосвязей характеристик, а также массы других элементов найдем приближенные соотношения между размерами легкого корпуса, определяющими главные размеры аппарата L , B , H , и размерами его прочного корпуса.

Чтобы упростить задачу, будем считать, что размеры легкого корпуса в значительной степени определяются диаметром прочного корпуса. Как видно на рис. 3.12, для наиболее распространенных современных подводных аппаратов группируются вблизи аппроксимирующей зависимости вида

$$L = 2,5D, \quad (3.59)$$

Аналогичным образом можно показать (рис. 3.13, 3.14), что

$$BH = 2D^2, \quad (3.60)$$

$$B = 1,25d, \quad (3.61)$$

$$H = 1,6d, \quad (3.62)$$

Погрешность приближенных соотношений (3.59)—(3.62) не превышает $\pm 10\%$, что позволяет использовать их для ориентировочных расчетов и более углубленного исследования взаимосвязей массы элементов подводного аппарата с его характеристиками.

ВЫБОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, ОБЩЕСУДОВЫХ УСТРОЙСТВ, СИСТЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ

§ 16. Определение мощности и выбор энергетической установки

Определение необходимой мощности ходовых двигателей, обеспечивающих заданную скорость, является одной из главных задач проектирования подводного аппарата. Решению этой задачи осложняется тем, что ряд конструктивных особенностей подводного аппарата не позволяет придать ему хорошую гидродинамическую форму.

Как показали экспериментальные исследования ходовых качеств подводных аппаратов, основной составляющей сопротивления движению является сопротивление формы и выступающих частей. В связи с этим приближенный расчет мощности ходовых двигателей целесообразно вести по суммарному коэффициенту сопротивления, отнесенному к площади поперечного сечения аппарата.

Учитывая особенности формы подводного аппарата, используем метод приближенного расчета мощности (кВт) на валу ходовых двигателей, которую можно представить в виде

$$N_{\text{дв}} = \frac{1}{2} \frac{\rho v^3}{1000} C_x S_{\text{зо}}, \quad (4.1)$$

где ρ — плотность воды, кг/м^3 ; v — расчетная скорость, м/с ; C_x — суммарный коэффициент лобового сопротивления; η — пропульсивный коэффициент движительного комплекса; $S_{\text{зо}}$ — площадь поперечного сечения аппарата, м^2 .

Если выразить расчетную скорость (м/с) через v , площадь поперечного сечения $S_{\text{зо}}$ через произведение главных размеров B , а плотность воды ρ принять равной 1000 кг/м^3 , то формулу мощности на валу ходового двигателя (кВт) можно представить в виде

$$N_{\text{дв}} = A_N \frac{C_x}{\eta} v^3 B H \beta, \quad (4.2)$$

где $A_N = \frac{\rho \cdot 0,519}{2 \cdot 1000} = 0,512 \text{ кВт}/(\text{м/с})^3$ — постоянная величина; $\beta = S/BH$ — коэффициент полноты площади поперечного сечения корпуса подводного аппарата. Поскольку у большинства

существующих подводных аппаратов коэффициент $\beta > 0,9$, приближим $\beta = 1,0$. Тогда мощность на валу (кВт) будет

$$N_{\text{вд}} = \frac{A_{\text{дс}} \cdot V H^2}{\eta} \quad (4.3)$$

Пропульсивный КПД движетельного комплекса может быть представлен в виде

$$\eta = \eta_{\text{д}} \eta_{\text{к}} \quad (4.4)$$

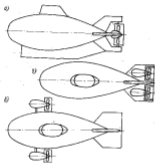


Рис. 4.1. Схема расположения движителей: а — одно-двигательная кормая; б — двухдвигательная на кормовых стабилизаторах; в — двухдвигательная бортовая на галзах

где $\eta_{\text{д}}$ — КПД изолированного движителя; $\eta_{\text{к}}$ — коэффициент влияния корпуса на работу движителя.

Величина $\eta_{\text{к}}$ в значительной мере зависит от коэффициента загрузки σ_p , с увеличением которого $\eta_{\text{к}}$ уменьшается, хотя упор возрастает. Как правило, $\eta_{\text{к}} = 0,45 - 0,70$, где нижний предел соответствует $\sigma_p = 11$.

Коэффициент загрузки σ_p определяется выражением

$$\sigma_p = \frac{P}{\frac{\rho \omega^2}{2} F_{\text{дс}} \eta_{\text{к}}} \quad (4.5)$$

где P — упор, создаваемый движителем, Н; $F_{\text{дс}}$ — гидравлическое сечение движителя, м²; $Z_{\text{д}}$ — число движителей; $\rho \omega^2 / 2$ — скоростной упор в гидравлическом сечении движителя.

Анализ результатов расчета движетельных комплексов, приведенных в проектах подводных аппаратов, показывает, что значение σ_p в зависимости от компоновочной схемы (числа и месторасположения движителей) лежит в диапазоне 5—11, т. е. движители являются тяжелонагруженными. Верхний предел значений σ_p соответствует однодвигательной схеме движетельного комплекса, расположенного в корме подводного аппарата; нижний предел — бортовым движителем, установленным на галзах или кормовых стабилизаторах (рис. 4.1).

Таблица 4.1

Гидродинамические характеристики подводных аппаратов

Номер аппарата по табл. 3.1	Наименование аппарата	Объ. м	$V_{\text{дс}}$, м		$M_{\text{дс}}$, кВт	σ_p , кг	$C_p = \frac{M_{\text{дс}}}{A_{\text{дс}} \eta_{\text{к}}}$	$\eta_{\text{к}}$	$C_p = C_{\text{д}}$
			$\frac{L}{D}$	$\frac{L}{D}$					
3	«Супер-1»	1,73	1,38	5,70	2×0,38	0,970,4	3,0	0,15	—
7	«Супер-2»	0,57	0,56	2,43	—	12,813,3	0,148	0,27	—
10	«Китовая ПК-3»	1,23	1,15	4,1	2,6	35,1	0,088	—	—
11	«Атлант»	3,36	1,81	1,58	2×0,75	15,49,5	0,222	0,46	0,285
12	«Атлант»	2,20	1,32	2,43	2×1,2	28,63,2	0,283	0,45	0,176
13	«Дельфин»	2,20	2,31	1,21	2×1,2	15,5	0,423	—	—
14	«Атлант»	5,58	2,30	2,30	4,5	2,9	0,173	—	0,324
15	«Турец-8»	2,20	2,24	2,57	2×2,2	2,85,24	0,145	—	—
16	«Турец-8»	2,20	2,4	2,4	18,6	8,25,8	0,176	—	—
17	СФРБ	0,50	1,55	1,85	2×1	108,90	1,21	0,45	0,459
18	«Саманта»	2,20	2,20	1,94	2×0,75	20,48,5	0,220	0,70	0,326
19	«Середа»	2,80	2,27	2,20	—	2,500,5	0,165	0,45	0,400
22	«Дельфин»	1,85	2,00	1,21	2×1,2	1,650,5	0,113	0,25	2,141
24	«Дельфин-2000»	3,20	1,80	2,24	2,0	2,3	0,238	—	—
25	«Саманта»	2,4	2,20	2,14	11,0	1,20,77	0,280	—	0,280
26	«Середа»	2,20	2,27	2,20	—	2,50,5	0,165	0,30	0,260
27	«Середа»	1,35	1,20	2,27	2,0	3,081,29	0,222	0,20	0,288
42	«Атлант»	2,40	2,40	2,20	2×2	2,081,03	0,203	0,45	0,273
43	«Атлант»	1,18	2,27	2,15	2×1,2	2,086,0	0,172	0,45	0,052
45	«Дельфин-2000»	4,5	2,12	2,27	17,1,5	1,200,54	0,222	—	—
46	СФРБ	1,06	2,08	2,20	11	2,201,26	0,176	0,70	0,173
47	«Атлант»	2,40	2,28	2,20	7,5	0,950,77	0,208	0,25	0,127
48	«Середа»	2,20	2,4	2,20	—	2,50,5	0,165	0,30	0,260
49	«Атлант»	20,0	2,28	2,28	7,5	2,21	0,129	0,45	0,093
51	«Атлант»	0,48	2,24	2,08	2×2	1,200,77	0,146	0,45	0,125
52	«Дельфин»	10,2	2,29	2,07	—	2,215,5	0,112	0,20	0,207
54	«Атлант»	0,9	0,9	0,18	2×2	1,81,3	0,288	0,22	0,188
59	«Дельфин»	0,3	0,25	0,28	2×2,2	0,37	0,178	0,45	0,08
61	«Турец-2»	25,2	0,8	0,0	17,7,5	1,180,81	1,0	0,25	0,259

Коэффициент полезного действия изолированного движетельного комплекса $\eta_{\text{к}}$ в зависимости от коэффициента загрузки σ_p принимает значения, равные $\eta_{\text{к}} = 0,45 - 0,70$ (табл. 4.1), где нижний предел соответствует упомянутому значению $\sigma_p = 11$.

Влияние корпуса подводного аппарата на пропульсивный КПД движетельного комплекса также определяется компо-

точной схемой аппарата. По данным расчетов движительных комплексов зарубежных подводных аппаратов установлено, что значения коэффициента влияния корпуса лежат в пределах $\eta_c \approx 1-1,27$, где верхний предел соотносится корному одновалному движителю.

Результатом влияния корпуса на пропульсивный КПД движительного комплекса является весьма узкий диапазон значений для упомянутых выше компоновочных схем: так, для

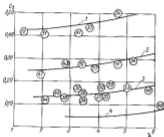


Рис. 4.2. Зависимость приведенного коэффициента сопротивления C_1 от относительного удлинения подводного аппарата при $Re = 5 \cdot 10^6 - 3,5 \cdot 10^7$

одновалного варианта $\eta = 0,63$; для движителей на кормных стабилизаторах $\eta = 0,62$; для бортовых движителей на палонах $\eta = 0,61$.

Таким образом, можно сделать вывод, что пропульсивный КПД почти не зависит от схемы расположения движителей, а определяется формой корпуса.

При расчете мощности $N_{дв}$ целесообразно использовать приведенный коэффициент сопротивления

$$C_1 = \frac{C_x}{\eta} \quad (4.6)$$

Тогда формула (4.1) примет вид

$$N_{дв} = A_N C_1 V n^3 \rho \quad (4.7)$$

Рассмотрим зависимость C_1 от формы корпуса некоторых реальных аппаратов.

Вычисленный для ряда существующих подводных аппаратов коэффициент C_1 (табл. 4.1) представлен на рис. 4.2 в виде зависимости от приведенного относительного удлинения корпуса аппарата $\lambda = L/\sqrt{VH}$.

Анализ зависимости $C_1 = f(\lambda)$ показывает, что разнообразные по форме и конструктивному исполнению подводные аппараты с относительным удлинением $\lambda = 2-5$ можно разделить на три основные группы в зависимости от формы корпуса. К первой принадлежат хорошо обтекаемые аппараты, имеющие форму, близкую к эллипсоидам вращения, с относительно небольшими количеством выступающих частей (кривая 3). Для этой группы $C_1 = 0,13-0,17$. Вторую группу составляют аппараты с достаточно обтекаемой формой, развитой рубкой и небольшим количеством выступающих частей (кривая 2), для которых $C_1 = 0,25-0,30$. В третью группу входят аппараты с большим количеством выступающих частей (кривая 1). Для этой группы $C_1 = 0,40-0,45$. Кривая 4 показывает зависимость эллипсоида вращения.

Хотя с увеличением λ значение C_1 растет, для приближенных расчетов с точностью $\pm 5\%$ можно считать $C_1 = const$ в пределах каждой группы.

Общую мощность энергетической установки в соответствии с практикой проектирования подводных аппаратов представим в виде суммы

$$N_{эп} = N_{дв} + N_{ин} + N_{дт}, \quad (4.8)$$

где $N_{дв}$ — мощность вспомогательного оборудования и систем, работающего в ходовом режиме, кВт; $N_{дт}$ — мощность на вилу ходовых двигателей, кВт; $N_{ин}$ — мощность дополнительных потребителей (прибора, рабочих устройств и т. п.), не используемых в ходовом режиме, кВт.

Мощность энергетической установки обозначим суммой

$$N_{эп} = N_{дв} + N_{ин}, \quad (4.9)$$

Мощность, потребляемую вспомогательными механизмами и оборудованием в ходовом режиме (кВт), определим по формуле

$$N_{ин} = K_0 K_1 (N_1 K_2 + N_2 K_3 + N_3 K_4), \quad (4.10)$$

где $K_0 = 0,5-1,0$ — коэффициент одновременности; $K_1 = 1,05$ — коэффициент потерь в бортовой сети; $K_2 = 0,5-1,0$ — коэффициент загрузки; N_1, N_2, N_3 — соответственно мощность устройств, механизмов и систем.

Такой расчет требует точного знания полного состава вспомогательного оборудования и мощности отдельных потребителей

Таблица 4.2

Оценочная мощность потребляемой энергии, кВт

Потребитель	Номер аппарата по табл. 4.1			
	45	39	27	39
Механизмы и устройства				
Главный электродвигатель	11,0	4,5	5,5	4,0
Вспомогательные электродвигатели	8,0	3,5	2,9	1,5
Электродвигатель гидравлики	6,0	1,0	1,5	1,0
Рулевое устройство	0,2	0,1	0,2	0,2
Якорно-гайдровое устройство	0,6	0,4	0,2	0,2
Дифференциальная система	0,5	0,1	0,1	0,1
Система уравновешивания	6,0	0,4	0,4	0,2
Система кондиционирования воздуха	1,0	0,6	0,2	0,2
Вентиляторы	0,2	0,04	0,02	0,02
Системами наружные	3,0	1,5	0,5	0,5
Упорные двигатели	0,5	0,5	0,2	0,2
Внутренние осветители	0,1	0,04	0,02	0,02
Сигнальные огни	0,05	0,05	0,05	0,05
Звуководная связь	0,2	0,1	0,1	0,1
Радиосвязь	0,4	0,2	0,2	0,2
Система навигации	0,6	0,35	0,15	0,15
Гидрокомпас	0,3	0,3	0,2	0,2
Экран	0,15	0,15	0,3	0,1
Система кондиционирования	0,25	0,25	0,25	0,25
Научно-исследовательское и рабочее оборудование				
Маневраторы	2,5	1,6	1,6	1,6
Видеовые устройства	0,2	0,2	0,2	0,2
Измерительные световые	0,2	0,2	0,2	0,2
Кинорокатаратура	0,2	0,2	0,2	0,2
Батареи	0,05	0,05	0,05	0,05
Грузоподъемник	0,5	0,2	0,2	0,2
Гидравлический рабочий комплекс	0,2	0,2	0,15	0,15
Геофизический рабочий комплекс	0,1	0,1	0,1	0,1
Гидрометрические средства наблюдения	0,5	0,3	0,35	0,2
Матрифон	0,02	0,02	0,02	0,02
Воздухоструйные приборы	0,5	0,3	0,3	0,3

лей, для чего необходимо обратиться к соответствующим таблицам (табл. 4.2 и 4.3).

Анализ данных (табл. 4.4) показывает, что для упрощения расчетов можно считать $N_{\text{вд}} = aN_{\text{эл}}$ и $a < 1$, поскольку в аппаратах рассматриваемых типов мощность $N_{\text{вд}}$ всегда больше $N_{\text{эл}}$.

На рис. 4.3 видно, что коэффициент a уменьшается с увеличением мощности судовых двигателей. Для современных аппаратов $a = 0,2 - 0,5$, причем этот коэффициент учитывает также коэффициенты K_0 и K_1 .

Таблица 4.3

Мощность вспомогательного оборудования и систем, работающего в холостом режиме

Потребитель	Потребляемая мощность, кВт
Гидрокомпас	0,7—0,2
Лаз индукционный	0,05—0,1
Экран	0,1—0,15
Гидрокомпас	0,25—0,25
Звуководная связь	0,1—0,2
Управление двигателями	0,2—0,2
Внутренние осветители, кондиционирование, вентиляция	0,8—1,8
Рулевое устройство	0,2—0,4

Таблица 4.4

Значения коэффициентов α , β , γ

Тип аппарата	Номер таблицы (табл. 4.1)	Мощность аппарата (кВт), кг	Мощность подводки двигателя, кВт	Мощность электродвигателя вспомогательного оборудования, кВт	Коэффициент мощности вспомогательного оборудования, работающего в холостом режиме, $\alpha = \frac{N_{\text{вд}}}{N_{\text{эл}}}$	Мощность вспомогательных двигателей, кВт	Коэффициент мощности вспомогательных двигателей $\beta = \frac{N_{\text{вд}}}{N_{\text{эл}}}$	Мощность двигателя, кВт	Коэффициент мощности двигателя, $\gamma = \frac{N_{\text{вд}}}{N_{\text{эл}}}$
Научно-исследовательский	30	15	3,0	0,28	10	0,70	11	0,75	
Сопутственный	39	11	3,0	0,10	5,8	0,85	7,0	0,80	
Научно-исследовательский	29	7,5	2,0	0,25	4,3	0,70	3,2	0,66	
Рабочий	14,5	7,5	3,0	0,40	4,5	0,70	4,1	0,60	
Научно-исследовательский	13,5	7,5	2,4	0,16	4,5	0,80	4,5	0,60	
То же	30,5	4,5	1,5	0,25	7,0	0,60	2,9	0,56	
Полнокадр	5,0	4,0	1,4	0,30	2,5	0,60	1,9	0,45	
"	4,5	3,0	1,2	0,40	1,6	0,60	1,9	0,40	
"	1,5	2,0	1,0	0,30	1,1	0,50	1,2	0,40	

Для упрощения расчетов будем считать, что η остается постоянным для разных ходовых режимов. Тогда, используя формулы (4.3), (4.6), (4.9), получаем мощность энергетической установки (кВт)

$$N_{\text{вв}} = \frac{(1 + \alpha) A_{\text{м}} C_{\text{в}} H \eta^2}{C_{\text{в}}}, \quad (4.11)$$

где $\eta_{\text{вв}} = 0,5 + 0,8$ — общий КПД ходовой установки, учитывающий потери энергии в приводах двигателей, вспомогательном оборудовании и в системах.

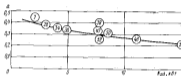


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента η

Источники энергии. При выборе энергетической установки (источника энергии) руководствуются назначением, типом, характеристиками и условиями эксплуатации подводного технического средства. На современных подводных лодках, в лабораторных и аппаратах в основном применяют следующие энергетические установки: аккумуляторные батареи, генераторы электрического тока, приводимые тепловыми двигателями, топливные элементы и автономные энергетические установки.

Некоторые подводные аппараты имеют энергетическую установку смешанного типа; в одном режиме она обеспечивается энергией с базы для кабеля, в другом — может вырабатывать энергию самостоятельно.

Более 95% современных подводных аппаратов имеют аккумуляторные батареи (табл. 4.5), в основном свинцово-кислотные. Щелочные батареи (серебряно-цинковые, никель-кадмиевые) применяют реже из-за ограниченной энергоемкости (360 кДж/кг). Напряжение основных аккумуляторных батарей обычно составляет 120/220 В, вспомогательных — 28 В, емкость — 50—600 А·ч. Имеется тенденция к увеличению емкости, например на японском подводном аппарате «Синяя» она составляет 2000 А·ч.

Свинцово-кислотные аккумуляторы отличаются надежностью в работе, простотой обслуживания и небольшой стоимостью.

Таблица 4.5

Характеристики аккумуляторов (при разряде 30 ч)

Тип аккумулятора	Тип аккумулятора	Емкость А·ч	Удельная энергия		Отношение емкости на 30-градусный С
			кДж/кг	кДж/л	
Свинцовые	ССТК-100	100	106,5	176	65
	СП-800	200	126	241	65
Кадмиево-никелевые	10КН-45	45	55,8	55,4	50
	10КН-60	60	46,5	45,7	50
	10КН-100	100	52,6	53,3	50
Железо-никелевые тяговые	ТЖН-500	350	100,8	205,2	46
	ТЖН-550	550	95,6	216	46
Серебряно-цинковые	СЦС-40	38	313	529,2	80
	СЦС-50	51	336,6	612	80
	СЦС-76	72	324	576	80

К недостаткам следует отнести большую массу и нарушение работы при больших углах наклона. На транспортируемых подводных аппаратах в основном применяются погружные аккумуляторные батареи. Погружные батареи могут заряжаться как на поверхности, так и в рабочей глубине, в последнем случае должно использоваться специальное зарядное устройство с компенсатором давления, подогревом и циркуляционным насосом для прокачки электролита.

Серебряно-цинковые аккумуляторные батареи отличаются высокой удельными характеристиками и малой массой. Эти батареи, как правило, разряжают только до 40—50% номинальной емкости. Первые серебряно-цинковые аккумуляторные батареи были установлены на аппарате «Долфин» в 1968 г. и проработали 27 мес, причем после 21 мес службы у них ежемесячно заменялось примерно 9—20% элементов.

Современные серебряно-цинковые батареи имеют более высокие показатели. Так, например, аккумуляторы американской фирмы «Ярдлей» выдерживают 80—100 циклов перезарядки. Однако высокая стоимость и сложность эксплуатации серебряно-цинковых батарей ограничивает их массовое применение.

В США, Франции, Англии и ФРГ проводятся работы по дальнейшему совершенствованию аккумуляторных батарей: повышению энергоемкости в 2—3 раза и срока службы до 5—8 лет. При новых разработках используются более эффективные материалы для активных элементов и электролита.

На некоторых подводных аппаратах типа «Снайка», «Кабирин», «Торус» устанавливаются обычные дизель-генераторы, используемые в подводном положении для зарядки аккумуляторной батареи и движущего аппарата.

При проектировании подводных аппаратов большое значение имеет компоновка элементов энергетической установки, которме, в зависимости от типа аппарата, могут размещаться внутри прочного корпуса или за его пределами. В последнее время все большее распространение получает размещение энергетической установки в отдельных блоках (модулях). В блоке, легко отделяющемся от подводного аппарата, располагают аккумуляторную батарею или дизель-генератор и другой элемент энергетической установки. Модульные конструкции применены на аппаратах ДСРВ, «Долфин», «Кабирин», ВОЛ-ЛП и др. Легкосъемные модули облегчают обслуживание, ремонт, подготовку энергетической установки и повышают эффективность подводного аппарата.

В состав энергетической установки могут входить специальные торпедные и роторные двигатели различных типов. К ним относятся двигатель типа Рикардо замкнутого цикла с рециркуляцией выхлопных газов и двигатель Стирлинга. Последний считается наиболее перспективным.

В США на одном из экспериментальных двигателей внутреннего сгорания с замкнутой рециркуляцией выхлопных газов применялся в качестве топлива пропан. Отработанный газ очищался в скруббере от продуктов сгорания, после чего в него добавлялся кислород и вновь подавался к карбюратору. Для поглощения CO_2 использовалась гидроксидная калия, зинас которой составляла 50% массы энергетической установки, и все же масса пропанового ДВС в 3 раза, а стоимость в 2 раза была меньше обычной системы электродвигатель — серебряно-цинковая аккумуляторная батарея равной мощности.

Более перспективным топливом является водород, поскольку при его продукте сгорания — дистиллированной воде — не требуется применения промывочного скруббера, гидроксидная калия и системы для выброса за борт продуктов сгорания.

В США также разработана и испытана энергетическая роторная установка, работающая на пропане. Установка предназначена для подводных технических средств и снабжена газовой фильтрацией для удаления продуктов сгорания, системой обогащения кислородом и карбюрацией топлива. Установка имеет удельную плотность и мощность энергии в 2—3 раза больше, чем у серебряно-цинковой аккумуляторной батареи с электродвигателем, и дешевле в 5—10 раз. При работе на водороде установка менее эффективна, но при этом же требуется система очистки газа. Запасы водорода рекомендуются хранить в жидком состоянии на аппаратах для малых глубин, а в металло-матрицах — на аппаратах для больших глубин.

Предполагается разработать ряд роторных установок мощностью от 3,677 до 735,000 кВт.

Топливные элементы испытаны несовершенство и высокой стоимостью электра пока не нашли широкого применения на подводных аппаратах. В настоящее время ведутся работы по повышению удельной мощности, надежности при длительной работе под водой и снижению стоимости новых химико-электрических установок.

В 1975 г. западногерманской фирмой «Сименс АГ» разработаны и изготовлены водородно-кислородные топливные элементы. Агрегат, состоящий из шести батарей напряжением 144 В, имеет номинальную мощность 15 кВт, кратковременную 25 кВт, расхода водорода при номинальной нагрузке около 8,7 м³/ч, кислорода 4,3 м³/ч, выход дистиллированной воды 7 л/ч, относительный рабочий объем 59 дм³/кВт, относительную массу 66 кг/кВт.

На американском аппарате ДССВ установлены водородно-кислородные топливные элементы. Мощность энергетической установки при четырехчасовой работе составляет 80 кВт, при 36-часовой работе — 20 кВт. Рабочее напряжение — 100—140 В, общая энерговыработка — 1000 кВт·ч.

Продолжаются работы по совершенствованию водородно-кислородных и гидрокси-кислородных топливных элементов.

Для экспериментальной научно-исследовательской подводной лодки НР-1 в США была разработана малогабаритная газотурбинная атомная энергетическая установка, а для подводного аппарата — с глубокой погружением до 3000 м — проекты газотурбинной атомной энергетической установки со сверхкритическими параметрами теплоносителя.

Для подводных аппаратов также создаются газотурбинные установки на базе установок для космических аппаратов. В качестве топлива используется водород, окислителя — кислород. Мощность установки составляет 50 кВт со средней энерговыработкой 7,2 · 10⁴ кДж.

Ведутся работы по созданию атомных газотурбинных установок с радионуклидовым источником тепла и реакторами с жидкотеплоносительным теплоносителем.

Согласно зарубежным источникам в табл. 4.6 приведены некоторые характеристики современных энергетических установок. К перспективным следует отнести установки с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую, из них и наиболее известным установкам относятся магнитогадроциклическая, термомембранная и термоэлектрическая. Так, в США испытан магнитогадроциклический генератор мощностью 15 кВт и разработан проект атомной установки с генератором мощностью 300 кВт для космических аппаратов.

По мнению зарубежных специалистов, атомные энергетические установки с прямым преобразованием могут быть самыми

Таблица 4.6

Характеристики источников энергии
(по зарубежным источникам)

Тип установки	Удельная энергия		Плотность, кг/л	Средняя стоимость, руб./кВт·ч	Средняя мощность, кВт	
	кДж/кг	кДж/л				
Дизель-генератор Аккумуляторные батареи:	162—334	36—108	11—22	1—3	—	
	свинцовые при разряде 10 ч	82,8—180	216—420	20—43	4—5	0,72
	серебряно-цинковые при разряде 10 ч	216—396	340—628	9—17	30—55	4,5
Топливные элементы: водородно-кислородные	72—108	54—180	33—50	—	4,14	
	369—540	54	7—10	10—12	—	
Атомные энергетические установки:	540—1080	—	3—7	—	—	
тепловой ядерной «Совь Девис»	90	43,2	40	23	—	
используемого аппарата «Сизис-30»	468	—	8	—	—	
используемого аппарата «Триумф»	216,4	—	15	—	—	

перспективны для подводных технических средств различного назначения.

Американскими фирмами разработаны радиомоторные источники электроэнергии. Среди них установка мощностью 30 кВт, работающая на стронцие-90, установка мощностью 31 кВт — на кобальте-60. Такие установки имеют диаметр 1,8 м, длину 4 м и массу около 4 т. Радиомоторные установки используются на экспериментальных подводных буйках, подводных аппаратах, в лабораториях.

Следует ожидать, что в ближайшие годы для подводных аппаратов будут применяться аккумуляторные батареи и двигатели внутреннего сгорания с открытым и замкнутым циклами. В более отдаленное время могут найти применение различного вида топливные элементы, а также атомные установки (с ядерными реакторами или на радиоизотопах), в том числе с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую. Перспективы развития энергетики подводных аппаратов будут во многом зависеть от разработки надежных и экономичных энергетических установок на базе достижений космической техники.

§ 17. Определение массы энергетической установки и электрооборудования

В состав этого раздела нагрузки входят следующие элементы аппарата:

- источники энергии (аккумуляторы);
- электродвигатели;
- преобразователи рода тока;
- коммутационная аппаратура;
- кабельные сети;
- прочее электрооборудование.

Некоторое оборудование, такое, как электродвигатели, аккумуляторы, часть кабелей, кабельные разъемы, находится за пределами прочного корпуса, образуя подвешивающий объем. Преобразователи и коммутационная аппаратура размещаются внутри прочного корпуса.

При проектировании масса энергетической установки и электрооборудования в основном определяется скоростью, автономностью по запасам энергии, главными размерениями и водоизмещением аппарата, а мощность энергетической установки — режимом максимального расхода энергии. При расчете мощности, потребляемой в исследовательском режиме, нельзя получить однозначного решения, поскольку расход энергии зависит от конкретной программы подводных исследований, состава приборов и устройств. Поэтому в дальнейшем изложении зависимость массы и объема элементов электрооборудования определяется по мощности ходовых двигателей [см. формулу (4.7)] и мощности энергетической установки [см. формулу (4.11)].

Аккумуляторные батареи. Поскольку основным источником электроэнергии за большинство аппаратов является аккумуляторная батарея, выразим ее массу $m_{аб}$ (кг) через характеристики аппарата.

Запишем

$$m_{аб} = \frac{T_{\text{ав}} N_{\text{ст}}}{K_{\text{аб}}}, \quad (4.12)$$

где $T_{\text{ав}}$ — автономность по запасу энергии, ч; $K_{\text{аб}}$ — энергия, отнесенная к единице массы, кДж/кг.

Подставляя значение $N_{\text{ст}}$ по формуле (4.11), получаем

$$m_{аб} = \frac{(1 + \alpha) T_{\text{ав}} A_{\text{д}} C_{\text{д}} \beta \eta \rho^3}{K_{\text{аб}} \sigma_{\text{д}}}; \quad (4.13)$$

для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей $K_{\text{аб}} = 108 \div 162$ кДж/кг; для серебряно-цинковых $K_{\text{аб}} = 252 \div 360$ кДж/кг.

В некоторой степени удельная энергия аккумуляторной батареи зависит от температуры окружающей среды.

Для свинцово-кислотной аккумуляторной батареи СП-300 $K_{\text{аб}} = 144$ кДж/кг при $t = 20 \pm 2^\circ \text{C}$, $K_{\text{аб}} = 137$ кДж/кг при $t = 0^\circ \text{C}$.

В дальнейшем эти измерения пренебрегаем вследствие его малости. Для наиболее распространенной схемы энергетической установки, состоящей из погружных свинцово-кислотных аккумуляторов и гребных электродвигателей постоянного тока, КПД лежит в пределах $\eta_{\text{гп}} = 0,7 \div 0,8$.

Объем аккумуляторных батарей (м^3)

$$V = \frac{\alpha_{\text{эл}}}{\rho_{\text{эл}}} = \frac{(1 + \alpha) T_{\text{эл}} A_{\text{эл}} C_{\text{эл}} B H \sigma^2}{\rho_{\text{эл}} K_{\text{эл}} \eta_{\text{гп}}}, \quad (4.14)$$

где $\rho_{\text{эл}}$ — плотность погружной аккумуляторной батареи.

Для практических расчетов можно считать: $\rho_{\text{эл}} = 2800 \text{ кг/м}^3$ — для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей; $\rho_{\text{эл}} = 1400 \text{ кг/м}^3$ — для серебряно-цинковых.

При расположении батарей в прочном корпусе или контейнерах ее объем увеличивается на 10—15%.

Электродвигатели. Значительную долю массы электрооборудования составляют электродвигатели, используемые для привода движителей и различных механизмов общесудовых систем и устройств.

Из погружных двигателей для привода гребных винтов оптимальным типом считают быстроходный электродвигатель мощностью до 75 кВт постоянного тока, заполненный диэлектриком. Такой электродвигатель с редуктором имеет $\eta = 0,6 \div 0,7$. Для больших мощностей чаще применяют электродвигатели переменного тока с водяной смазкой, имеющие $\eta = 0,8 \div 0,9$.

Рассмотрим зависимость массы электродвигателя от характеристик аппарата.

Известно, что масса токоведущих элементов электродвигателей и генераторов зависит от силы тока или мощности двигателя

$$m_{\text{д}} = f(N). \quad (4.15)$$

Для ряда однотипных двигателей с одинаковой частотой вращения массы активных материалов (меди и стали), а следовательно, и массы двигателя можно записать в виде

$$m_{\text{д}} = A_{\text{д}} N_{\text{д}}^{\alpha}, \quad (4.16)$$

где $A_{\text{д}}$ — коэффициент, зависящий от типа двигателя; $N_{\text{д}}$ — мощность двигателя, кВт; $\alpha < 1$ — показатель степени.

Общая масса электродвигателей зависит от мощности ходовых движителей и вспомогательных механизмов.

Анализ данных двигателей вспомогательных механизмов ряда современных аппаратов (см. табл. 4.4) свидетельствует, что мощность вспомогательных двигателей $N_{\text{всп}}$ составляет определенную часть мощности ходовых двигателей:

$$N_{\text{всп}} = \alpha_1 N_{\text{хд}} \quad (4.17)$$

где $\alpha_1 < 1$. Из рис. 4.4 видно, что величина α_1 увеличивается с возрастанием мощности ходовых двигателей. Для современных аппаратов $\alpha_1 = 0,6 \div 0,7$; при этом α_1 учитывает также коэффициенты $K_{\text{эл}}$ и $K_{\text{эл}}$ [см. формулу (4.10)].



Рис. 4.4. Зависимость коэффициента α_1

На рис. 4.5 показана зависимость массы электродвигателей серии П от мощности в пределах от 0,2 до 15 кВт.

Используя формулы (4.16) и (4.17), можно записать:

$$m_{\text{д}} = A_{\text{д}} [(1 + \alpha_1) N_{\text{хд}}]^{\alpha}. \quad (4.18)$$

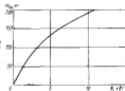


Рис. 4.5. Зависимость массы электродвигателя серии П от мощности

Подставив значение $N_{\text{хд}}$ из (4.17), получим

$$m_{\text{д}} = A_{\text{д}} [(1 + \alpha_1) (A_{\text{д}} C_{\text{д}} B H \sigma^2)]^{\alpha}, \quad (4.19)$$

где $\alpha = 0,75$.

Для практических расчетов можно принять: $A_{\text{д}} = 60$ — для электродвигателей серии П; $A_{\text{д}} = 20$ — для электродвигателей серии СТГ.

Плавающий объем электродвигателей (м^3)

$$V_{\text{д}} = \frac{m_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}} = \frac{A_{\text{д}}}{\rho_{\text{д}}} [(1 + \alpha_1) (A_{\text{д}} C_{\text{д}} B H \sigma^2)]^{\alpha}, \quad (4.20)$$

где $\rho_{\text{д}} = 3500 \text{ кг/м}^3$ — средняя плотность электродвигателей.

Преобразователи. На некоторых современных аппаратах используют электродвигатели и другие потребители переменного тока. В этом случае устанавливают преобразователи ряда тока. В последнее время начинают применять экспериментальные статические преобразователи, имеющие более высокие показатели и надежность. Однако ввиду отсутствия однотипных статических преобразователей ряда мощностей не представляется возможным определить зависимость их массы и габаритов от мощности.

Рассмотрим зависимость массы вращающихся преобразователей от потребляемой мощности.

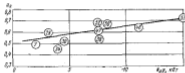


Рис. 4.6. Зависимость коэффициента a_2

Для ряда однотипных преобразователей их масса связана с мощностью соотношением

$$m_a = A_2 N^a, \quad (4.21)$$

где A_2 — коэффициент, учитывающий тип преобразователя; N — мощность потребителей переменного тока; a — показатель степени.

Обозначим:

$$N = N_{\text{дв}} + N_{\text{ст}}, \quad (4.22)$$

где $N_{\text{дв}}$ — мощность дополнительных потребителей переменного тока.

Анализ потребителей энергии современных аппаратов (см. табл. 4.4) показывает, что $N_{\text{ст}}$ составляет часть $N_{\text{дв}}$:

$$\frac{N_{\text{ст}}}{N_{\text{дв}}} = a_2, \quad (4.23)$$

где $a_2 < 1$.

Тогда

$$N = (1 + a_2) N_{\text{дв}}. \quad (4.24)$$

Из рис. 4.6 следует, что a_2 увеличивается с возрастанием $N_{\text{дв}}$ и лежит в пределах $a_2 = 0,5 - 0,75$.

На рис. 4.7 показана зависимость массы вращающихся преобразователей типа АПО от мощности. Аппроксимация графика позволяет записать:

$$m_a = A_3 N^{0,5}, \quad (4.25)$$

Используя формулы (4.24) и (4.25), получим

$$m_a = A_3 (1 + a_2) N_{\text{дв}}^{0,5}, \quad (4.26)$$

Подставив значение $N_{\text{дв}}$ из (4.7), имеем

$$m_a = A_3 [(1 + a_2) [A_R C_2 B H V^2]]^{0,5}, \quad (4.27)$$

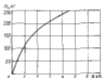


Рис. 4.7. Зависимость массы вращающегося преобразователя типа АПО от мощности

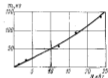


Рис. 4.8. Зависимость массы коммутационной аппаратуры с учетом вращающихся элементов и размеров от мощности

Для практических расчетов и случае применения вращающегося преобразователя типа АПО примем $A_3 = 150$. Объем преобразователя, который располагается внутри вращающегося корпуса, может быть определен по формуле

$$V_a = \frac{A_3}{\rho_a} [(1 + a_2) A_R C_2 B H V^2]^{0,5}, \quad (4.28)$$

где $\rho_a = 1,7 \cdot 10^3$ кг/м³ — средняя плотность статического преобразователя; $\rho_b = 3,5 \cdot 10^3$ кг/м³ — средняя плотность вращающегося преобразователя типа АПО.

Коммутационная аппаратура. Анализ массы элементов электрооборудования проектов ряда аппаратов показывает, что масса коммутационной аппаратуры составляет 15—30% общей массы электрооборудования и зависит от мощности энергетической установки, а также от количества и мощности потребителей энергии (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Масса элементов аппаратуры элементов аппаратов

Имя элемента аппаратуры	Имя аппарата по табл. 2.1												
	40		50		60		70		80		90		
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	
Аккумуляторы	3,463	50	1,210	58	0,880	62	0,780	50	1,540	56	7,10	61	2,8
Датчики	0,187	2,5	0,120	6	0,140	10	0,140	9	0,150	6	0,280	2	3,5
Преобразователи (электронные)	0,710	10	—	—	—	—	—	—	0,662	2	0,490	3	1,7
Коммутационная аппаратура	2,151	31	0,643	28	0,340	17	0,220	14	0,360	18	2,100	16	1,8
Кабели:													
проводами	0,368	5	0,164	7	0,130	7	0,190	12	0,220	7	0,790	5	1,6
проводами	0,136	2	0,09	4	0,08	4	0,08	5	0,094	3	0,280	2	1,6
Прочие	—	—	0,100	4	—	—	0,190	12	0,460	15	1,7	12	—
Всего	6,98		2,43		1,65		1,60		3,1		13,0		

Имя аппарата по табл. 2.1

Имя аппарата по табл. 2.1

Искомую зависимость в общем виде можно записать так:

$$m_k = f(N_{\text{пр}}, N, \kappa), \quad (4.29)$$

где N — мощность потребителей энергии; κ — количество потребителей.Масса коммутационной аппаратуры (m_k), включая крепежные изделия и размеры, в первом приближении может быть определена по эмпирической формуле

$$m_k = A_k N_{\text{пр}}^2, \quad (4.30)$$

где A_k — коэффициент, учитывающий мощность и количество потребителей энергии в зависимости от типа аппарата.Рассмотрение данных коммутационной аппаратуры ряда современных аппаратов показывает, что величина A_k находится в пределах 8—30 и зависит от общей мощности и количества потребителей электроэнергии (табл. 4.8).Таблица 4.8
Значения коэффициентов A_k , $A_{\text{кб}}$

Имя элемента аппаратуры		Имя аппарата по табл. 2.1		Имя аппарата по табл. 2.1		Имя аппарата по табл. 2.1		Имя аппарата по табл. 2.1		Имя аппарата по табл. 2.1		Имя аппарата по табл. 2.1	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Имя элемента аппаратуры	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1
Имя элемента аппаратуры	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1	Имя аппарата по табл. 2.1

На рис. 4.8 представлена зависимость массы коммутационной аппаратуры от мощности. Аппроксимация графика позволяет записать

$$m_k = A_k N_{\text{пр}}^{1.4}. \quad (4.31)$$

На основании формулы (4.11) зависимость (4.30) можно выразить так:

$$m_k = A_k \left[\frac{(1 + \kappa) A_{\text{кб}} C_{\text{кб}} R H^2}{\kappa \omega} \right]^{1.4}. \quad (4.32)$$

где $A_0 = 8 \div 30$ (для практических расчетов принимается по табл. 4.8).

Объем коммутационной аппаратуры, расположенной внутри прочного корпуса, может быть определен по формуле

$$V_k = \frac{A_0}{\rho_k} \left[\frac{(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2}{\nu_{0y}} \right]^{0.5}, \quad (4.33)$$

где $\rho_k = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ — средняя плотность коммутационной аппаратуры.

Кабельные сети. Масса кабельных сетей зависит от мощности энергетической установки, характеристик электрооборудования подводного аппарата.

Анализ элементов электрооборудования ряда аппаратов (см. табл. 4.7) позволяет сделать вывод, что масса кабеля составляет 7—15% общей массы электрооборудования и зависит от мощности энергетической установки, количества потребителей энергии и длины аппарата.

Искомую зависимость можно записать в виде

$$m_{каб} = f(N_{эп}, n, L); \quad (4.34)$$

здесь n — количество потребителей энергии; L — длина подводного аппарата.

Зависимость массы кабеля от мощности выражается эмпирической формулой

$$m_{каб} = A N^{0.7}, \quad (4.35)$$

где A — коэффициент, учитывающий тип кабеля; $A_1 < 1$ — показатель степени.

Применительно к современным аппаратам формулу (4.35) можно выразить так:

$$m_{каб} = A_{каб} (1 + K_L L) N_{эп}^{0.7}, \quad (4.36)$$

где $A_{каб}$ — коэффициент, учитывающий типы кабеля и крепления, мощность и количество потребителей энергии (см. табл. 4.8); K_L — коэффициент, учитывающий длину аппарата.

Анализ массы кабеля ряда современных аппаратов (см. табл. 4.8) показывает, что величина $A_{каб}$ находится в пределах 40—120 и зависит от общей мощности и количества потребителей энергии.

Повторным расчетом массы кабеля на ряде современных аппаратов установили, что $K_L = 0,05$.

На основе имеющихся данных построим график зависимости массы кабеля от мощности (рис. 4.9). Функцию, представленную графиком, можно выразить формулой

$$m_{каб} = A_{каб} N^{0.75}, \quad (4.37)$$

Подставив в формулу (4.36) значение $N_{эп}$ по (4.11), можно записать

$$m_{каб} = A_{каб} (1 + K_L L) \left[\frac{(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2}{\nu_{0y}} \right]^{0.5}, \quad (4.38)$$

Объем кабеля равен

$$V_{каб} = \frac{m_{каб}}{\rho_{каб}} = \frac{A_{каб} (1 + K_L L)}{\rho_{каб}} \left[\frac{(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2}{\nu_{0y}} \right]^{0.5}, \quad (4.39)$$

где $\rho_{каб} = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ — плотность кабеля.

Плавучий объем кабеля составляет

$$V_{плав} = A_2 V_{каб}, \quad (4.40)$$

где $A_2 = 0,25 \div 0,3$ — коэффициент, определенный из анализа данных современных аппаратов (см. табл. 4.7).

Масса элементов электрооборудования согласно формулам (4.13), (4.19), (4.27), (4.32), (4.38) выражается следующим образом:

$$m_{эп} = \frac{(1 + \alpha) T_0 A_M C_1 \delta H \nu^2}{K_0 \nu_{0y}};$$

$$m = A_0 [(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2]^{0.75};$$

$$m_{каб} = A_{каб} [(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2]^{0.5};$$

$$m_{э} = A_{э} \left[\frac{(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2}{\nu_{0y}} \right]^{0.4};$$

$$m_{эп} = A_{эп} (1 + K_L L) \left[\frac{(1 + \alpha) A_M C_1 \delta H \nu^2}{\nu_{0y}} \right]^{0.5}.$$

Для упрощения полученных формул вида $m_i = f(N)$ (см. рис. 4.5, 4.8, 4.9) перейдем к линейным зависимостям в пределах изменения мощности от 5 до 15 кВт. При этом ошибка в определении $m_{эп}$, m , $m_{каб}$ не превысит 1,5% от $m_{э}$ — общей массы электрооборудования.

В дальнейшем рассматриваем аппараты с датчиками постоянного тока ($m_{эп} = 0$). Массы вспомогательных преобразователей включаем в массы соответствующих систем.

Ввиду небольшого диапазона данных рассматриваемых аппаратов считаем, что масса кабеля не зависит от длины аппарата,

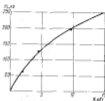


Рис. 4.9. Зависимость массы кабеля от мощности

т. е. $K_C L = \text{const}$. Величина $K_C L$ лежит в пределах 0,4—0,6. Принимаем $K_C L = 0,5$. При этих допущениях формулы массы электрооборудования примут вид

$$m_a = A_a(1 + \alpha) A_N C_T B H^2, \quad (4.41)$$

$$m_k = \frac{A_k}{\eta_{\text{пр}}} (1 + \alpha) A_N C_T B H^2, \quad (4.42)$$

$$m_{\text{св}} = \frac{1,5 A_{\text{св}}}{\eta_{\text{пр}}} (1 + \alpha) A_N C_T B H^2, \quad (4.43)$$

приняв по выражению (3.60) $BH = 2d^2$, массу энергетической установки и электрооборудования можно записать в виде

$$m_a = \left[\frac{(1 + \alpha) T_a}{K_A \eta_{\text{пр}}} + A_a (1 + \alpha) + \frac{A_k (1 + \alpha)}{\eta_{\text{пр}}} + \frac{1,5 A_{\text{св}} (1 + \alpha)}{\eta_{\text{пр}}} \right] 2 A_N C_T d^2 v^2. \quad (4.44)$$

Практическая схема расчета электрооборудования. *Необходимые данные:* аппарат научно-исследовательский, по массе, габариту и форме близкий к аппарату № 37 (см. табл. 2.1): $d = 1,67$ м; $v = 2,06$ м/с; $T_a = 2,16 \cdot 10^4$ с; $A_N = 512$ Вт/(м/с)².

По рис. 4.2 принимаем $C_T = 0,19$. Аккумуляторные батареи свинцово-кислотные. По (4.13) $K_A = 144$ кДж. Принимаем: $\eta_{\text{пр}} = 0,7$. По табл. 4.4 $\alpha = 0,35$; $\alpha_1 = 0,66$. По табл. 4.8 $A_k = 12$; $A_{\text{св}} = 60$. По формуле (4.19) $A_N = 20$.

Выбранные характеристики и коэффициенты подставляем в формулу массы электрооборудования (4.44), тогда

$$m_a = \left[\frac{(1 + 0,35) 2,16 \cdot 10^4}{144 \cdot 10^3 \cdot 0,7} + 20(1 + 0,66) \cdot 10^{-3} + \frac{12(1 + 0,35) \cdot 10^{-3}}{0,7} + \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 10^{-3}(1 + 0,35)}{0,7} \right] 2 \cdot 512 \times \\ \times 0,19 \cdot 1,67^2 \cdot 2,06^2 = 2460 \text{ кг.}$$

Для дальнейшего упрощения выражение (4.44) приводим к виду

$$m_a = (T_a + A_a) B_s d^2 v^2, \quad (4.45)$$

в котором использованы новые постоянные

$$A_a = K_A \left[\frac{(1 + \alpha)}{(1 + \alpha)} \eta_{\text{пр}} A_k + A_a + 1,5 A_{\text{св}} \right]; \quad (4.46)$$

$$B_s = \frac{2(1 + \alpha) A_N C_T}{K_A \eta_{\text{пр}}}. \quad (4.47)$$

Объем электрооборудования

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_{\text{об}}} + \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}} + \frac{m_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}}}. \quad (4.48)$$

Объем электрооборудования, расположенного внутри прочного корпуса,

$$V_{\text{акв}} = \frac{m_a}{\rho_k} + \frac{0,7 m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}} = \left[\frac{A_a}{\eta_{\text{пр}} \rho_k} (1 + \alpha) + \frac{1,5 A_{\text{св}} (1 + \alpha)}{\rho_{\text{св}} \eta_{\text{пр}}} \right] A_N C_T 2d^2 v^2, \quad (4.49)$$

или с новыми постоянными

$$V_{\text{акв}} = (A'_a + B'_k) D_s d^2 v^2, \quad (4.50)$$

где

$$A'_a = \frac{A_a}{\rho_k};$$

$$B'_k = \frac{1,5 A_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}};$$

$$D_s = \frac{2(1 + \alpha)}{\eta_{\text{пр}}} A_N C_T.$$

Таблица 4.3

Результаты расчета массы электрооборудования некоторых авиационных аппаратов

№ авиационного аппарата	Наименование авиационного аппарата	T _a , с	α	α ₁	η _{пр} , кг	m _{пр} , кг	m _а , кг
12	«Аэро»	2	1,02	1,54	0,78	0,75	4
17	«Океан»	6	1,5	1,03	0,5	0,35	36
30	«Шельф-2»	3	1,05	2,06	2,43	2,56	-5
38	«Стр-2»	3	1,59	1,54	0,92	1,14	-24
34	«Стр стар-2000»	9	1,54	1,54	1,5	1,72	-8
37	«Стр-2»	3	1,87	2,06	2,24	2,1	-6
38	«Стр-2»	3	2,13	2,06	3,86	4,1	7
39	АМС-300	4	1,66	2,06	1,42	1,56	-10
43	«Айск-2»	4	1,98	1,54	2,1	2,01	5
45	«Шельф-4000»	4	1,99	1,54	1,7	1,8	6
46	ДСРН	4,5	2,29	2,57	7,7	8,5	-10
47	«Аэро»	3,5	2,14	1,5	3,0	2,83	6
48	«Марс»	1,5	1,52	5,1	2,32	2,4	-13
52	«Стар»	4	2,07	2,06	4,62	4,3	7
53	«Обл-ави»	10	2,14	2,57	14,5	13,4	8

Плавучий объем электрооборудования

$$V_{\text{пл}} = \frac{\pi_{\text{об}}}{\rho_{\text{об}}} + \frac{\pi_{\text{э}}}{\rho_{\text{э}}} + \frac{0,28\pi_{\text{э}}}{\rho_{\text{об}}} =$$

$$= \left[\frac{(1+\alpha)T_{\text{э}}}{K_{\text{э}}\eta_{\text{э}}\rho_{\text{об}}} + \frac{A_{\text{э}}(1+\alpha)}{\rho_{\text{э}}} + \frac{0,45A_{\text{э}}(1+\alpha)}{\eta_{\text{э}}\rho_{\text{об}}} \right] A_{\text{э}}C_{\text{э}}2d_{\text{э}}^3 \quad (4.51)$$

или

$$V_{\text{пл}} = (T_{\text{э}} + B_{\text{э}}) D_{\text{э}} d_{\text{э}}^3 \quad (4.52)$$

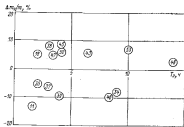


Рис. 4.10. Отклонения расчетов массы электрооборудования от фактической

где

$$B_{\text{э}} = \frac{K_{\text{э}}\pi_{\text{э}}}{(1+\alpha)\rho_{\text{об}}d_{\text{э}}^3} \left[(1+\alpha)\rho_{\text{об}}A_{\text{э}}\eta_{\text{э}} + 0,45(1+\alpha)A_{\text{э}}\rho_{\text{э}} \right];$$

$$D_{\text{э}} = \frac{2(1+\alpha)A_{\text{э}}C_{\text{э}}}{K_{\text{э}}\eta_{\text{э}}\rho_{\text{об}}}$$

Для оценки точности выведенных формул сопоставим результаты теоретического расчета массы электрооборудования с фактическими данными существующих аппаратов.

При отсутствии по некоторым аппаратам достоверных коэффициентов или численных значений постоянных величин, входящих в формулы, принимаем вместо них известные значения для близких по типу и конструкции аппаратов.

Данные массы существующих аппаратов и результаты расчета сведены в табл. 4.9. Зависимость относительной ошибки

приближенных формул от автономности аппарата по запасам энергии приведена на рис. 4.10. Ошибка вычислялась по формуле

$$\frac{\Delta m_{\text{ф}}}{m_{\text{ф}}} = \frac{m_{\text{ф}} - m_{\text{ф}}^{\text{расч}}}{m_{\text{ф}}} 100\%,$$

где $m_{\text{ф}}$ — фактическая масса энергетической установки электрооборудования; $m_{\text{ф}}^{\text{расч}}$ — масса энергетической установки электрооборудования, рассчитанная по приближенным формулам.

Из рассмотрения зависимости ошибки от автономности по запасу энергии $T_{\text{э}}$ следует, что погрешность приближенных формул для большинства аппаратов не превышает $\pm 10\%$, что вполне допустимо для ориентировочного расчета.

§ 18. Заборные устройства

Заборным устройством называют совокупность механизмов и приспособлений, обеспечивающих различные эксплуатационные потребности аппарата.

К устройствам, работающим вне прочного корпуса и составляющим часть водоизмещающего объема, относятся:

- двигательно-рулевое комплекс;
- рулевое устройство;
- якорно-гайдропное устройство;
- гидравлическая передача;
- прочие устройства.

Масса перечисленных устройств в основном зависит от скорости и водоизмещения аппарата. В состав общесудовых устройств входят механизмы, к которым относятся различные лебедки, механизмы поворота рулей и движителей, приводы выдвинутых устройств и контейнеров и т. п. На полностью автономных подводных судах, кроме того, устанавливаются швартовные лебедки, грузоподъемные, буксирные и другие механизмы, масса которых может учитываться в отдельном подразделе нагрузки.

Ниже приводится краткое описание, особенности и характеристики некоторых типов устройств.

Двигательно-рулевое комплекс. Поскольку подводный аппарат перемещается в трехмерном пространстве, он имеет шесть степеней свободы; поступательное движение параллельно координатным x , y , z и вращательное движение вокруг осей этих координат. Угол θ , образуемый с осью x , является углом крена, угол ψ относительно оси z — углом дифферента и угол φ относительно оси y — углом курса.

Двигательно-рулевое комплекс должен обеспечивать: поступательное движение по оси x (ход) и по оси y (погружение и всплытие), вращение вокруг оси y (поворот) и вокруг оси z

(дифферсат), перемещения вдоль оси z (дагом) и вращения вокруг оси x (крен). Изменение крена обычно требуется для тракторных или сплавательных аппаратов, стыкующихся с комингсом выходного люка затопившей подводной лодки или подводного дома-лаборатории.

Точность стабилизации поступательного движения по заданной траектории, вращательного движения или зависания в толще воды определяется назначением аппарата.

Таким образом, движительно-рулевой комплекс должен обеспечивать подводному аппарату:

- движение в горизонтальной плоскости с реверсом и с изменением скорости от нуля до максимума;
- движение в вертикальном и любом другом направлении;
- зависание в толще воды в заданной точке;
- безопасную посадку на грунт;
- высокие маневренные качества.

Для выполнения вышеуказанных требований из аппарата удаляются ходовые и маневровые движители, количество и размещение которых определяется в процессе проектирования. Наиболее распространенные схемы установки движителей приведены на рис. 4.1. Приводом движителей служат электрические или гидравлические двигатели. Хороший ход и маневренность обеспечивает схема с одним главным (ходовым) движителем, расположенным в кормовой части, и двумя вспомогательными (маневровыми) двигателями, расположенными по бортам.

На некоторых экспериментальных аппаратах используются водометные, крылатые, доплетные и другие типы движителей, однако наиболее распространенными продолжает оставаться гребной вент, заключенный в защитное кольцо или направляющую насадку.

Масса и габарит движительного комплекса зависят от водоизмещения и скорости аппарата.

Обычные движительные комплексы при больших глубинах погружения обладают определенными недостатками, связанными со сложностью уплотнений. Поэтому в США и других странах проводятся работы по совершенствованию существующих движителей и созданию принципиально новых. К последним, в частности, относятся электрогидроактивные движители с использованием электрического разряда и электромагнитные гидроактивные движители ЭМГРД, принцип действия которых основан на использовании в качестве рабочего тела (проводника) морской воды, через которую различными способами пропускают электрический ток. В результате его взаимодействия с магнитным полем Земли и системной возбуждения, установленной на аппарате, в воде возникает объемные электромагнитные силы. Скорость воды увеличивается в направлении действия электромагнитных сил, и реакция воды создает упор.

Рулевое устройство. Рули поворота и глубины используются лишь для буксируемых аппаратов, обладающих большой скоростью. Все самоходные автономные обитаемые аппараты имеют малую скорость, во по своему назначению должны обладать высокими маневренными качествами. В этих условиях обычные рули становятся неэффективными, возникает необходимость сочетания в движительных комплексах функций движения и управления. Поэтому для поворота и маневрирования аппарат осматривают поворотными движителями, а для получения нужной степени устойчивости движения применяют горизонтальные и вертикальные стабилизаторы.

Таким образом, рулевым устройством аппарата являются различного вида поворотные насадки, а также горизонтальные и вертикальные каналы с заключенными внутри гребными винтами.

В случае применения для гребных винтов гидродвигателей они встраиваются в направляющие насадки и поворачиваются вместе с ними. При использовании электродвигателей, обладающих большими габаритами с массой, поворотными делают только насадки.

Вес движительно-рулевой комплексы обеспечивает возможность поворота аппарата вокруг собственной оси, зависание в толще воды и движения в наклонном, а у некоторых аппаратов в любом направлении.

Поворот насадок осуществляется дистанционно управляемыми гидромашинами.

Масса рулевых насадок, гидромашин совместно с трубопроводами и арматурой зависит от водоизмещения и скорости аппарата.

Якорно-гайдропное устройство. Якорно-гайдропное устройство выполняет роль якоря при спуске воле два, обеспечивает мягкую посадку на дно и регулировку плавучести при ходе воле два. Устройство состоит из лебедки, имеющей барабан для намотки нейлового троса, к которому прикреплен якорь-гайдроп, имеющий форму шара.

Масса якоря-гайдрона для аппаратов водоизмещением свыше 10 т составляет примерно от 50 до 150 кг. Якорь используется для удержания аппарата воле два при наличии течений и в качестве аварийного балласта. Длина троса выбирается в зависимости от назначения аппарата и обычно не превышает 50 м.

Управление и контроль за работой лебедки осуществляются дистанционно из прочного корпуса.

Устройство сброса балласта. Для сброса маневрового или аварийного балласта предусматриваются различного вида механизмы, магнитные клапаны, пневмопривод и ручные приводы. Масса данного устройства зависит от его конструкции, а также от водоизмещения и глубины погружения аппарата.

Гидравлическая передача. На современных подводных аппаратах широко используются гидравлические передачи, приводящие вспомогательные механизмы, расположенные за пределами прочного корпуса. К таким механизмам относятся: якорно-гайдропная и другие лебедки, рулевой привод, поворотные устройства для гидроакустических антенн и выдвижных устройств, насосы общесудовых систем, манипуляторы и т. п. Имеются аппараты, на которых гидропередачи применяются также для привода движительных комплексов, обеспечивающих ход и маневрирование. Такие комплексные системы применены на многих аппаратах. Поскольку гидропередача в основном обеспечивает работу устройств и двигателей, во многом целесообразно учитывать в разделе «Устройства бортовые».

По сравнению с другими передачами: электрическими, механическими и пневматическими — гидравлическая имеет ряд преимуществ, к которым можно отнести: малую массу и габарит, плавность передачи движения, легкость и простоту управления, хорошую смазку трущихся частей, надежность работы, возможность располагать ось гидродвигателя в любом направлении.

Одна насос гидросистемы может приводить в действие несколько различных гидродвигателей и силовых цилиндров.

Гидросистема подводного аппарата, приводящая механизмы, работающие за пределами прочного корпуса, работает непосредственно в морской воде. Для обеспечения безопасности на аппаратах с глубиной погружения более 300 м сквозь стенку прочного корпуса обычно не проводят труб, управление гидравлической осуществляется с помощью электромагнитной системы.

Отличительная особенность погружных систем и механизмов (работающих в воде) заключается в том, что в их сливной полости автоматически поддерживается давление, равное наружному, что снижает массу гидросистемы и упрощает конструкцию узлов и агрегатов. Уравнивание давлений и компенсации сжатия рабочей жидкости в системе осуществляются компенсатором поршневого или сальфонового типа.

На рис. 4.11 изображен компенсатор с резиновым сальфоном, который имеет нижнюю и верхнюю крышки. Для создания в комплексных и длинотрубных системах применяют несколько компенсаторов. В сальфоне установлены сжимающие пружины. Обычно в комплексных и длинотрубных системах применяют несколько компенсаторов.

Комплексная гидросистема, как правило, состоит: из насосного агрегата, гидромоторов, приводящих гребные винты, подкачного насоса, вакууматора рабочей жидкости, компенсатора, зазора гайдропной лебедки, исполнительных гидроцилиндров и других элементов, характерных для гидросистемы подводного типа.

Насосный агрегат, подающий масло для привода гидродвигателей и гидроцилиндров, состоит из погружного электродвигателя, к которому присоединено несколько насосов. Каждый насос обеспечивает свою группу потребителей: гидромотор



Рис. 4.11. Сальфоновый компенсатор системы 5,0 · 10⁻³ м³ с рабочим давлением 6 · 10⁵ Па



Рис. 4.12. Гидродвигатель гребного винта мощностью 8 кВт с частотой вращения 450 об/мин

ходового двигателя, гидромоторы маневровых двигателей, насос управительной системы и общесудовых потребителей.

Все насосы заключены в кожух, залиты маслом и снабжены аппаратурой дистанционного управления производительностью и направлением потока рабочей жидкости.



Рис. 4.13. Гидродвигатель гребного винта мощностью 2 кВт с частотой вращения 500 об/мин

На рис. 4.12 и 4.13 показаны гидродвигатели, которые служат для привода гребных винтов. Гидродвигатель состоит из аксиально-плунжерного гидромотора с наклонной шайбой, упорно-опорного подшипника и вращающегося корпуса, на котором укреплен гребной винт. Многокамерное уплотнение

предотвращает утечку масла. Водяной насос предназначен для откачки воды из ураниятельной цистерны при высоком внешнем давлении окружающей среды. Насос состоит из корпуса, крышек с перепускными клапанами и диафрагм.

Для привода механизмов различных общесудовых устройств служат исполнительные гидродоильники. Каждый из них состоит из цилиндра, в котором перемещается поршень-рейка, находящийся в зацеплении с шестерней, а валки, который осуществляет поворот механизма.

На рис. 4.14 показан водооткачивающий насос, применяемый для ураниятельной системы.

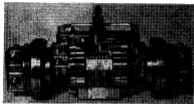


Рис. 4.14. Водооткачивающий насос ураниятельной системы с рабочей $2 \cdot 10^{-4}$ м/с давлением $2100 \cdot 10^4$ Па

Использование погружных систем на подводном аппарате разрешает целый ряд конструктивных проблем; исключает проход труб и кабельные утолщения в прочном корпусе, обеспечивает удобство размещения агрегатов и механизмов за пределами прочного корпуса, повышает надежность и безопасность погружений на большие глубины. Вместе с тем погружным системам свойственны некоторые недостатки. Так, например, с увеличением глубины погружения происходит рост давления, что увеличивает вязкость масла и гидравлические и энергетические потери.

Увеличение внешнего давления и неизбежное наличие воздуха в агрегатах системы обуславливает сжимаемость рабочей жидкости и увеличение избыточного давления. Падение давления в системе может нарушить уплотнение быстровращающихся валов механизмов.

Масса гидравлической передачи в основном зависит от объема и скорости аппарата. В любом случае гидрпере-

дачи целесообразно применять для общесудовых устройств и вспомогательных механизмов. Однако, учитывая недостаточную высокую КПД гидродвигателей и его снижение с увеличением глубины погружения, ходовой и маневровой движительный комплекс целесообразнее проводить высокооборотными электродвигателями погружного типа постоянного тока с понижающим редуктором.

Прочие устройства. К числу других общесудовых устройств, расположенных за пределами прочного корпуса, относятся буксирное устройство, которое обычно состоит из обвеса, приваренное к прочному корпусу, буксирного конца, кнехтов, уток и т. д. К деталям швартовного устройства следует отнести: линеечное устройство, швартовные концы, кнехты, утки, поручки и трапы для входа на палубу аквалангистов, ярицы, бамперы и т. п.

Необходимыми принадлежностями каждого аппарата являются элементы для состыковки со спуско-подъемным устройством судна-базы, к ним прежде всего относятся грузовые штоки, приваренные к прочному корпусу; на некоторых аппаратах с автоматической состыковкой устанавливается специальная соединяющая буй с направляющим проводником-кавалом, по которому опускается и состыковывается с грузовым тросом захватное устройство.

Автоматическое спуско-подъемное устройство обеспечивает также опущение аппарата после его спуска на воду.

На некоторых зарубежных судах-базы имеются устройства, обеспечивающие автоматическую подводную и надводную стыковку и расстыковку с грузоподъемным устройством судна-базы.

Масса устройств. Анализ функциональной зависимости показывает, что масса устройств в основном зависит от массы, габарита и скорости аппарата. Эту зависимость в общем виде можно выразить так:

$$m_y = f(m, L, B, H, v). \quad (4.53)$$

Принимая во внимание зависимость массогабаритных характеристик аппарата от массы и размеров прочного корпуса (см. рис. 2.1, 3.13, 3.14, 3.15), а также частную функциональную зависимость отдельных элементов устройства от скорости и объема инициации (см. табл. 2.4, 2.5, рис. 2.1), можно записать

$$m_y = A' m_{23} (d' L_{23} + B' v^2). \quad (4.54)$$

где A' , B' — коэффициенты, зависящие от конструкции устройств; L_{23} — длина прочного корпуса.

Вместе с тем рассмотрение устройств ряда современных подводных аппаратов позволяет сделать вывод, что вследствие разнообразия конструкций и отсутствия фактических данных

Таблица 4.10
Масса и объем взорванных устройств

Номинальная взрывная сила	Интервалы массы аппарата по табл. 2.1												Плотность $\rho = 1,6 \text{ кг/м}^3$
	40		50		60		80		100		150		
	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	
Механизмы	0,30	0,05	0,30	0,05	0,10	0,05	0,09	0,02	0,20	0,05	0,20	0,02	4,5—5,0
Главные двигатели	0,27	0,08	0,20	0,05	0,30	0,05	0,16	0,04	0,20	0,05	0,16	0,04	3,0—3,5
Вспомогательные двигатели	0,20	0,02	0,13	0,02	0,05	0,02	0,10	0,02	0,05	0,02	0,10	0,02	3,0—5,0
Рулевое устройство	0,15	0,04	0,09	0,02	0,05	0,03	0,04	0,01	0,05	0,03	0,04	0,01	3,0—5,0
Ядерно-сакреционные устройства	0,12	0,03	0,15	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	0,05	0,02	0,04	0,01	3,0—3,5
Устройство сброса балласта	0,02	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3,0—5,0
Гидравлическая передача	0,45	0,14	—	—	0,12	0,03	0,07	0,02	—	—	—	—	3,0—5,0
Прочие устройства	0,80	0,25	0,05	0,01	—	—	0,03	0,01	—	—	—	—	3,2—3,0
Всего	5,39	0,65	0,87	0,18	0,63	0,18	0,70	0,18	—	—	—	—	Плотность средняя 3,2—3,5
Диап. от массы взорванного аппарата, %	5,5	—	6,4	—	6,6	—	6,5	—	—	—	—	—	—

установить количественную зависимость массы устройств от характеристик рассматриваемых аппаратов не представляется возможным.

Для определения коэффициентов A_x ; B_x необходимы дополнительные исследования.

С целью упрощения задачи обратимся к табл. 2.4, 4.10, где приведена масса отдельных элементов, а также устройств и механизмов в целом. Анализ данных показывает, что масса устройств составляет определенную часть массы аппарата.

Для ряда современных аппаратов, имеющих примерно одинаковую конструкцию устройств, построим график зависимости

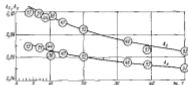


Рис. 4.15. Зависимости коэффициентов A_x , A_y

$m_x = f(m_a)$, показанной на рис. 4.15. Данные зависимости имеют характер, близкий к линеарному; с увеличением массы аппарата относительная масса устройств несколько уменьшается.

Таким образом, искомые зависимости можно записать в виде

$$m_x = A_x m_a \quad (4.35)$$

где $A_x = 0,03 \div 0,07$.

Отклонения фактических значений массы устройств для аппаратов от 5 до 50 т не превышает $\pm 10\%$, что вполне допустимо для ориентировочных расчетов.

Объем устройств

$$V_x = \frac{A_x m_a}{\rho_x} \quad (4.36)$$

здесь ρ_x — плотность устройств.

Для практических расчетов можно использовать усредненное значение $\rho_x = 3,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Общесудовыми системами аппарата называют совокупность оборудования и трубопровода, предназначенных для обеспечения нормальной эксплуатации аппарата в целом. В состав общесудовых входят системы:

- балластных;
- воздуха высокого давления;
- регулирования плавучести;
- дифференциальной.

Все перечисленные системы работают за пределами прочного корпуса и составляют часть водонемцающего объема аппарата, их масса зависит в основном от глубины погружения, водоизмещения и главных размеров аппарата.

В состав оборудования систем входят насосы, баллоны, отдельные цистерны, дистанционно управляемая аппаратура и др. Иногда массу крупного самостоятельного оборудования учитывают и отдельным подразделом нагрузки масс. Ниже приводится краткое описание и характеристики некоторых систем.

Балластная система. На аппаратах для средних и больших глубин, кроме системы жидкого балласта, устанавливают систему твердого балласта для регулирования плавучести и сброса балласта в случае аварийной ситуации. В последнем случае в качестве аварийного балласта часто используют аккумуляторные батареи, якорь-гайдрол, ртуть, дифференциальную систему и другие элементы, имеющие достаточно большую массу. Для сброса аварийного балласта устанавливают специальные механизмы или используют пиропатроны.

Система ВВД. Система воздуха высокого давления (ВВД) на транспортируемых аппаратах в основном применяется для продувания балластных цистерн при всплытии на глубины и перехода в водное состояние. Сжатый воздух также используется для других вспомогательных нужд.

Баллоны заряжают воздухом на судне-базе, после того как аппарат поднят на борт после очередного погружения, поэтому на нем устанавливают лишь баллоны, трубопроводы, аварийную ручную, автономическую и дистанционно управляемую арматуру и приборы контроля.

Для аппаратов малых глубин обычно применяют давление до 200 ат, для глубоководных — 400 ат. Запас сжатого воздуха в баллонах должен быть достаточным не менее чем для двукратного продувания балластных цистерн.

Масса системы ВВД зависит от водоизмещения аппарата и вместимости балластных цистерн.

Система регулирования плавучести. Система служит для компенсации положительной или отрицательной плавучести, возникающей во время погружения при изменении плотности воды и объемного водоизмещения.

У аппаратов малых и средних глубин плавучесть регулируется приемом или откачкой воды из прочной уравнивательной цистерны, для этой цели устанавливаются поддонный насос, откачивающий воду из цистермы, приборы и арматура дистанционного контроля и управления из прочного корпуса.

На некоторых глубоководных аппаратах в качестве рабочего тела используется масло. Для этого кроме прочной цистерны устанавливается эластичная цистерма сифонного типа. Когда все масло находится в прочной цистерме, а эластичная цистерма сжата давлением заборной воды, аппарат обладает минимальной положительной плавучестью. При перекачке масла из прочной цистермы в эластичную положительная плавучесть возрастает за величину массы воды в объеме эластичной цистермы.

Объем уравнивательной цистермы обычно составляет до 3% водоизмещения.

На батискафах регулирование плавучести осуществляется сбросом твердого маневрового балласта (дробь) и выпуском маневрового бензина.

На некоторых зарубежных экспериментальных аппаратах для продувки уравнивательной цистермой применяют гидродесляющие вещества, образующие в воде газ высокого давления.

Дифференциальная система. Дифференциальная система служит для компенсации дифференцирующих моментов при изменении нагрузки и плавучести аппарата, а также создания дифференциала за нос или на корму при погружении, всплытии или маневровании в толще воды или вблизи дна. Угол дифференциала в зависимости от назначения аппарата может быть от 30 до 90°. Для создания момента на аппаратах малых глубин используют воду. На глубоководных аппаратах с целью снижения их массы применяют ртутьно-масляную систему, в которой ртуть является рабочим телом, а масло от общей системы гидравлики используется для перекачки ртути из носовой цистерны в кормовую и обратно. Применение ртути ограничивается ее ядовитостью и относительно большой сложностью эксплуатации. Вместо ртути можно использовать так называемую шарожиловую, представляющую собой смесь стальных шариков с маслом.

Для создания большого плеча и понижения центра тяжести цистерны дифференциальной системы располагают как можно выше и дальше в нос и корму.

На некоторых малых аппаратах упрощенной конструкции дифференцировка осуществляется ручной переносимой грузом, расположенного внутри корпуса (резервной аккумуляторной батареей, балластом и т. п.).

Масса системы зависит от водоизмещения аппарата, его длины, глубины погружения, расположения цистерн внутри или за пределами прочного корпуса.

Масса дифференциальной системы составляет от 1 до 1,5% массы аппарата.

Выбор схемы и конструкции дифференциальной системы определяется назначением аппарата, его водоизмещением, глубиной погружения и условиями эксплуатации.

Общесудовые системы. Анализ функциональной зависимости механизмов и общесудовых систем от характеристик аппарата свидетельствует, что их масса в основном связана с водоизмещением, главными размерениями и глубиной погружения. Эту зависимость в общем виде можно записать так:

$$m_c = f(m, L, B, H, H_p). \quad (4.57)$$

Принимая во внимание ранее установленную зависимость массогабаритных характеристик устройств от массы и размеров прочного корпуса и глубины, по аналогии с (4.54) можно записать:

$$m_c = A_c' \pi_{\text{ек}} (d^2 L_{\text{ок}} + B_0 H_p), \quad (4.58)$$

где A_c' , B_0' — коэффициенты, зависящие от конструкции механизмов и систем; $L_{\text{ок}}$ — длина прочного корпуса.

С целью упрощения задачи и по аналогии с определенным массе устройств обратимся к табл. 24, 4.11.

Анализ показывает, что масса общесудовых систем составляет определенную часть общей массы аппарата. Построим график зависимости $m_c = A_c m$ (см. рис. 4.15). Найденная зависимость позволяет записать массу систем в виде

$$m_c = A_c m, \quad (4.59)$$

где $A_c = 0,07 \div 0,1$.

Объем общесудовых систем (m^3) можно выразить таким образом:

$$V_c = \frac{A_c m}{\rho_c}, \quad (4.60)$$

где ρ_c — плотность соответствующих систем.

Для приближенных расчетов можно использовать усредненное значение $\rho_c = 3,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

§ 20. Оборудование помещений и средства управления

К данной группе элементов конструкции аппарата отнесем оборудование, обеспечивающее жизнедеятельность экипажа, изоляцию и дельные вещи жилых и рабочих помещений, аварийно-спасательное снаряжение, а также средства управления, навигации и связи.

К перечисленному оборудованию, расположенному внутри прочного корпуса, относятся:
система регенерации и кондиционирования воздуха;
оборудование помещений;

Таблица 4.11

Масса и объем общесудовых систем

Наименование и группа масс	Наимр заданных параметров по табл. 2.1						Плотность ρ_c (кг/м ³)
	40		20		10		
	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	
Оборудование	0,71	0,25	0,20	0,07	0,09	0,04	2,6—2,8
Система балластная	0,27	0,21	0,18	0,10	0,11	0,10	1,1—1,2
Система ВВД	6,10	0,07	0,15	0,06	0,05	0,06	1,4—2,5
Система регулирования температуры	0,63	0,36	0,14	0,13	0,12	0,10	1,4—1,4
Дифференциальная система	0,56	0,10	0,16	0,03	0,06	0,12	4,5—6,0
Прочие системы	0,03	0,03	0,36	0,16	0,12	0,09	1,5—1,6
Всего	2,30	1,22	1,07	0,61	0,61	0,60	Плотность, среднее 2,7
Доля от массы прочного корпуса, %	6,8	—	9,7	—	9,8	—	—

спасательное снаряжение;
средства управления движением, навигации и связи;
прочие оборудование.

Масса перечисленного оборудования в основном зависит от автономности, водоизмещения, численности экипажа и скорости аппарата.

Система регенерации и кондиционирования воздуха. Основным фактором, обеспечивающим обитаемость и сохранение длительной работоспособности экипажа при подводном плавании, является оптимальный состав воздуха для дыхания с наилучшими характеристиками по газовому составу, температуре и влажности.

Воздух, замкнутый в аэсма ограниченном помещении прочного корпуса, непрерывно подвергается качественным изменениям и очень быстро становится совсем непригодным для дыхания.

Для предотвращения загрязнения воздуха и поддержания оптимальных концентраций помещение аппарата оснащается специальной системой для очистки, регенерации и кондиционирования воздуха. Производительность системы должна обеспечивать нормальную жизнедеятельность экипажа в течение всего периода пребывания его в аппарате.

Главное назначение системы — восполнить расход кислорода в количестве 0,03—0,06 м³/ч на одного человека и поглощение углекислого газа.

Кислород может восполняться следующим образом:
регенерационной установкой, непрерывно очищающей воздух от углекислоты;

из балансов со сжатым кислородом;

за счет работы электролитических генераторов кислорода.

Удаление из воздуха углекислоты происходит при помощи специального прибора с веществом, поглощающим углекислый газ.

Наиболее распространенной и рациональной для аппаратов является регенерационная система очистки воздуха. Газовый состав воздуха должен контролироваться специальным прибором.

Система кондиционирования должна автоматически поддерживать следующие параметры воздуха:

обеспечивать в жилом отсеке температуру воздуха 20°С;

сохранять относительную влажность воздуха около 50%.

Очищать воздух от посторонних примесей: водорода, окиси углерода, сероводорода и других газов, неприятных запахов и пыли с помощью сепараторов и фильтров.

Длительная работоспособность и выносливость экипажа также обеспечивается за счет рационального размещения приборов управления и рабочих мест, наличия свободного объема для выполнения гимнастических упражнений.

Масса и объем системы регенерации и кондиционирования зависят от подводной автономности, объема помещения и численности экипажа.

Оборудование помещений. Жилые помещения аппарата оснащаются мебелью и бытовыми предметами, необходимыми для работы и отдыха экипажа. Состав бытового оборудования зависит от подводной автономности и типа аппарата.

На однодневных аппаратах автономность по обитаемости обычно предусматривают на 10—12 ч нормальной работы экипажа. Однако, исходя из возможности аварийной ситуации или потребности в проведении подводных работ и исследований в течение нескольких суток, автономность по запасам регенерационных патронов, провизии, воды и другого снабжения рассчитывается на 2—3 сут. Для удобства выполнения продолжительной работы для каждого члена экипажа предусматриваются мягкие кресла с откидными спинками, предназначенные для отдыха и сна. Помещение оборудуется провизионными шкафами, санитарно-гигиеническим узлом. Для экипажа предусматриваются теплая одежда, запас горячей пищи и т. п.

На подводных судах с длительной автономностью (недели, месяцы) оборудуется комплекс жилых помещений, включая спальные каюты, камбуз, кают-компанию, душевой и санитарный блок и другие бытовые помещения по нормам, принятым в подводном кораблестроении.

Спасательное снаряжение. В состав аварийно-спасательного оборудования, размещаемого внутри прочного корпуса, входят: противоположарное снаряжение, индивидуальные дыхательные аппараты на случай задымления помещения и аварийного выхода с малых глубин в море, спасательная надувная шлюпка, запас воды и провизии.

Средства управления движением, навигации и связи. Как было сказано выше, для аппаратов, транспортируемых на судне-базе, характерен малочисленный экипаж. На подавляющем большинстве аппаратов управления движением решение навигационных задач и связи с судном осуществляется одним человеком — командиром аппарата, выполняющим одновременно и его подсистем. Только на четырехместных и многоместных аппаратах в помощь командиру предусматривается бортинер, на которого кроме решения задач, связанных с подводным плаванием, возложено обеспечение работы, обслуживания всех механизмов, приборов и оборудования, находящихся внутри прочного корпуса. Поэтому в части управления подводный аппарат можно сравнить с вертолетом, самолетом и даже с космическим кораблем, управляемым одним человеком.

Воздухе аппарата осложняется еще и тем, что оно находится в морских глубинах, где видимость осмещаемого фона

пространства не превышает 10—15 м. Поэтому в течение времени в день на глубинах свыше 50—100 м пилот ведет аппарат по приборам.

Степеньные условия на пульте управления, расположение исполнительных органов за пределами прочного корпуса, необходимость экранировки массы, объема внутри помещения и расхода энергии предъявляют дополнительные требования к приборам, которые должны иметь:

минимальные массу, габарит и потребляемую мощность; высокую эксплуатационную надежность и простоту управления;

надежную работу при кратковременных крене и дифференте до 45° и длительных — до 30° при температуре окружающего воздуха от 0 до +40°C и относительной влажности 98%; уровень шума — менее 50—70 дБ.

К указанным требованиям присоединяются также, как: взрывоопасные датчики приборов должны работать при давлении, соответствующем рабочей глубине погружения, и обладать коррозионной стойкостью против воздействия морской воды и воздуха;

габаритные размеры должны обеспечивать транспортировку через люк и монтаж на предназначенном месте;

на больших и сложных аппаратах приборы должны работать в режиме автоматического управления и контроля;

все органы управления движением аппарата, системой навигации и связи, а также контрольно-измерительные приборы должны находиться на одном пульте управления в пределах видимости и доступности командира-пилота.

Системы навигации и связи должны обеспечивать точность ведения и безопасность плавания в заданном положении, под водой и на рабочей глубине.

Решение навигационных задач обеспечивается магнитным и гироскопическими компасами, креномером, дифференциальным и гиросвертикальным, измерителем частоты вращения гребного винта, относительным и абсолютным лагами, автопрокладчиком, хронометром и азимутальными приборами и инструментами.

Для измерения глубины и расстояния до поверхности устанавливаются эхолоты, а для обзора подводного пространства — гидролокаторы, в том числе эсоторного и бокового обзора. Аппараты оснащают прибором для определения скорости звука, гидроакустическим маяком для обозначения местоположения, аппаратурой наведения на маяк, радиосигнальными и световыми устройствами.

Связь и навигация в подводном положении обеспечиваются радиосенсоратором и радиолокатором, радиостанциями, ближнего и дальнего действия, а для связи с судном-базой и другими аппаратами для волоконными устанавливаются станции звуко-

подводной связи. В качестве налетного журнала предусматривается диктофон.

С целью увеличения дальности видимости в навигационных и научно-исследовательских целях некоторые аппараты оснащаются специальными приборами видения, в том числе:

— прибором обзора на принципах ультразвуковой фотографии; светоптическими приборами, увеличивающими дальность видения;

подводной телевизионной установкой; оптическими трубами.

Состав и комплектация средств управления навигации и связи зависит от типа, назначения, сложности и основных характеристик аппарата.

Примерное оснащение средствами управления, навигации, связи и наблюдения приведено в табл. 4.12.

Оснащение может изменяться в случае наличия специальных требований в техническом задании.

Определение массы оборудования и средств управления помещений, средств управления, навигации и связи в общем виде можно выразить так:

$$m_{\text{об}} = f(m_{\text{к}}, d, b, m_{\text{уп}}, v, T_{\text{а}}, \dots), \quad (4.61)$$

где $m_{\text{к}}$ — численность экипажа; d — диаметр прочного корпуса; b — относительная длина прочного корпуса; $m_{\text{уп}}$ — масса средств управления; v — скорость аппарата; $T_{\text{а}}$ — автономность по запасам энергии.

Для дальнейшего исследования зависимости массы от характеристик аппарата воспользуемся табл. 4.13, в которой приведены массы отдельных элементов оборудования и средств ряда современных аппаратов.

Анализ названных и функциональной зависимости нагрузки мест, указанной в табл. 4.13, позволяет разделить полную массу оборудования и систем на три составляющие:

$$m_{\text{об}} = m_{\text{сж}} + m_{\text{об}} + m_{\text{уп}}, \quad (4.62)$$

где $m_{\text{сж}}$ — масса систем жизнеобеспечения; $m_{\text{об}}$ — масса оборудования помещений; $m_{\text{уп}}$ — масса средств управления, навигации и связи.

Выражение (4.62) можно представить в виде

$$m_{\text{об}} = A_{\text{сж}} n_{\text{ж}} + B_{\text{об}} n_{\text{д}} (d + l_1) + m_{\text{уп}}, \quad (4.63)$$

где $A_{\text{сж}}$ — масса систем жизнеобеспечения, приходящаяся на 1 чел.; $B_{\text{об}}$ — масса оборудования помещений, относимая к 1 м² внутренней поверхности прочного корпуса; $n_{\text{д}}(d + l_1)$ — площадь внутренней поверхности прочного корпуса.

Анализ массы оборудования и систем ряда современных аппаратов позволяет определить численное значение коэффициен-

Таблица 4.12

Описание подводных аппаратов средствами управления, авиации и связи

Наименование средства	Масса, кг	Потребляемая энергия, Вт	Группа сложности системы
Методы:			
ручного управления движением и системами	50	—	I
дистанционного управления движением и ручного управления системами	100	100	II
автоматического управления курсом и глубиной, ручного управления системами	180	500	III
автоматического управления движением и системами, а также сигнализациями состояния систем и регламентного контроля каналов	430	800	IV-VI
Команды:			
малогабаритной акустической магнитофонной	5	—	I
малогабаритной дистанционной магнитофонной	10	10	II-V
магнитофонной дистанционной	50	100	VI
Малогабаритный гироскопический	70	150	II-IV
Гироскопический	50	200	V-VI
Кренсомер, дифференциальный	1	—	I-VI
Гиросфера	25	100	IV-VI
Измеритель частоты вращения гребного вала	5	50	I-VI
Лазер:			
относительный однокомпонентный	10	30	I-III
относительный трехкомпонентный	20	50	II, IV-VI
магнитоэлектрический абсолютный гидроакустический	70	100	III-IV
абсолютный гидроакустический	130	300	V, VI
Малогабаритный лазеродальномер	30	50	II-V
Автоподъемник	100	200	V
Кренсомер и другие штурманские приборы и инструменты	5	—	III-VI
Гидроакустический гидроакустический			
Системы:			
малогабаритной	25	50	I-V
магнитоэлектрической в режиме глубиномера	15	50	II-VI
в режиме гидролокатора	15	100	II, III
Эхолот	100	150	VI
Гидролокаторы:			
системного обзора	60	200	II-VI
базового обзора	200	350	VI
для вождения	30	30	VI
Гидролокатор	100	350	V, VI
Прибор для определения скорости звука в воде	25	30	III-VI

Продолжение табл. 4.12

Наименование средства	Масса, кг	Потребляемая энергия, Вт	Группа сложности системы
Аппаратный гидроакустический маяк для обозначения местоположения аппарата	30	30	I-VI
Радиосигнальное световое устройство	250	200	VI
Гидроакустическая аппаратура авиационная на маяке	30	250	II-VI
Радиосигналятор	150	150	VI
Радиолокатор	400	800	VI
Автомато-фидерное устройство	20	—	I-VI
Радиосвязь:			
близкого действия	25	150	I-VI
дальнего действия	100	300	VI
Дататоры	5	10	I-VI
Судовое переговорное устройство	5	10	I-V
Судовое гидроакустическое переговорное устройство	30	30	VI
Связки гидроакустической связи:			
близкого действия в связи с вождением дальнего действия	25	50	I-VI
дальнего действия	100	100	III-VI
Вакуумные гидроакустические связи	20	15	VI
Устройство системного обзора на приемной ультразвуковой гидроакустике	180	700	V, VI
Устройство для увеличения дальности видения под водой	50	500	III-VI
Поддержка гидромеханической установки	80	100	IV-VI
Эксплуатационная труба	30	—	IV-VI
Светосигнальное устройство	5	50	I-V
Ходовые огни	10	200	VI
Торцы	10	100	VI
Навигационная гидроакустическая система ориентации:			
с короткой базой	30	—	II-IV
с длинной базой	120	400	V-VI

Примечания. 1. По сложности систем гидроакустической аппаратуры распределены на VI группу. Группы — акустическая, турботочная, гидроакустическая маяков до 30 кг и звуковой погружаемая до 100 и 150 кг подводных аппаратов 3-4 по табл. 2.15 II группа — гидроакустическая в работе аппаратура маяков до 20 кг гидроакустическая до 300 и 150 кг подводных аппаратов 3-5 по табл. 3. III, IIII — IV группа — гидроакустическая в работе аппаратура маяков до 30-50 кг с глубиной погружения до 200 и 100 м аппаратов 31, 45, 41, 46, 22 по табл. 2.15 V группа — гидроакустическая аппаратура маяков базой до 10-15 кг с глубиной погружения свыше 100 и 150 м аппаратов 32, 34, 31, 35 по табл. 2.15 VI группа — акустическая гидроакустическая маяков типа ИР-1, 3-гидроакустическая.

2. Определены структурная масса для I группы сложности равно 170 кг, II — 400, III — 760, IV — 1150, V — 1700, VI — 2800 кг.

3. Масса приборов и устройств указана без учета кабелей, крепежа, фундамента, массы кабелей, исключены 20-000, масса аппаратуры.

4. Масса устройств указана без учета исключительных элементов.

5. Устройство автоматического управления включено в категорию дистанционного управления.

6. Значения массы и потребляемой энергии округлены.

Таблица 4.13

Масса и объем оборудования и систем, расположенных внутри прочного корпуса

Наименование частей массы	Всего								Плотность $\rho_{об}$, кг/м ³
	48		30		38		37		
	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	
Средства ретрансляции и взаимодействия	0,4	0,8	0,04	0,08	0,04	0,08	0,04	0,08	0,50
Оборудование и детали внутри	1,32	2,56	0,18	0,36	0,12	0,25	0,10	0,12	0,30
Антенно-спутниковые системы	0,06	0,08	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,75
Средства связи/связи	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,30
Система управления	0,54	0,90	0,15	0,25	0,08	0,13	0,05	0,09	0,30
Система навигации	0,20	0,24	0,16	0,20	0,05	0,06	0,05	0,06	0,30
Система связи	0,31	0,38	0,09	0,12	0,06	0,16	0,06	0,10	0,30
Всего	2,85	5,00	0,67	1,09	0,4	0,68	0,34	0,53	Плотность средняя 0,38

тов, приведенных в табл. 4.14, которые можно использовать для практических расчетов.

Объем оборудования и систем определяется зависимостью

$$V_{об} = \frac{m_{об}}{\rho_{об}} = \frac{A_{об}n_{об} + B_{об}n(d + l) + m_{пр}}{\rho_{об}}, \quad (4.64)$$

где $\rho_{об} = 500 + 600$ кг/м³ — плотность оборудования (см. табл. 4.13).

Объемом датчиков систем, устанавливаемых за бортом, можно пренебречь вследствие его малости.

Пример расчета массы оборудования и систем, расположенных внутри прочного корпуса. Исходные данные: тип аппарата по массогабаритным характеристикам и освещению близкий к аппарату № 53 (см. табл. 2.1), прочный корпус цилиндрический, $d = 2,0$ м; $l = 0,75$ м. Принимаем: $n_{об} = 4$ чел.; $\rho_{об} = 500$; масса комплекса систем по табл. 4.12 равна 740 кг. По табл. 4.14 $A_{об} = 0,1$, $B_{об} = 0,01$. Подставляем в (4.63) принятые характеристики и выбранные коэффициенты, получим массу оборудования и систем, расположенных внутри прочного корпуса

$$m_{об} = 0,1 \cdot 4 + 0,002 \cdot 3,14 \cdot 2(2 + 0,75) + 0,74 = 1,35 \text{ т.}$$

§ 21. Рабочий груз

Подводный аппарат является транспортным средством и в зависимости от назначения перевозит пассажиров, туристов и различные грузы. Для рабочего аппарата полезным грузом являются: комплект инструментов, аккумуляторы, приборы, необходимые для выполнения подводных работ, операторы, выполняющие эту работу, различные снабжения. Для научно-исследовательских аппаратов в состав полезного груза включают специальные приборы, оборудование, а также наблюдателей и исследователей. Практика показывает, что ограниченное число научных сотрудников вынуждает экипаж участвовать в наблюдениях и экспериментах. Благодаря совместной профессии значительно повышается эффективность погружений. В связи с этим при распределении нагрузки экипаж следует приравнивать к подводным исследователям и операторам.

Основная часть полезного груза (экипаж, снабжение, регистраторы и пульта управления приборами) располагается внутри прочного корпуса. Датчики приборов и манипуляторные устройства (проботборники, механические руки, контейнеронакопители, рабочие органы, экспериментальные устройства) размещаются снаружи и составляют долю полезного объема.

Таблица 4.14

Нормы снабжения для проектирования подводного аппарата

№ п/п	Наименование коэффициента	Обозначение	Числовые значения
1	Удельная масса 1 человека, кг	A_p	100
2	Масса систем жизнеобеспечения на одного человека, кг/чел.	$A_{жк}$	80—150
3	Плотность снабжения экипажа, кг/м ³	ρ_s	1000
4	Норма автономного снабжения (регенерации, сжатого и др.), кг/чел.	B_r	320
5	Норма воды и питания в сутки на человека, кг/чел.	B_p	15
6	Масса оборудования помещаемой на 1 м ² поверхности, кг/м ²	$M_{об}$	6—12
7	Масса комплексов систем управления экипажем и связи, кг	$m_{ср}$	170—2800
8	Норма объема свободного воздуха в прочном корпусе при работе 4—6 ч, м ³ /чел. для сидящего человека в стоящем	A_a	1—3
	в среднем по статистике для аппаратов рассматриваемого типа		0,8 1,1 1,0—2,0
9	Диаметр прочного корпуса автономных аппаратов с повышенной скоростью, м	d	2,0—2,3 1,5—1,7
10	Плотность рабочего груза внутри прочного корпуса, кг/м ³	$\rho_{рз}$	700—800
11	Плотность рабочего груза, размещаемого на бортах, кг/м ³	$\rho_{рб}$	2000—3000
12	Состав экипажа, чел.	n_p	2—4
13	Масса балласта, % сыпучего сваряемого металла	A_b	3 2—4 3—5
14	Скорость свободного всплытия аппарата, м/с	v_0	0,25—0,31
15	Затес плавуучести в подводном положении, %	ΔV	10—15

Примечание. Преположить нормы в коэффициенты получателю из экипажа и обработки данных по относительным и абсолютным значениям затрат.

Состав и масса полезного груза определяются назначением аппарата и указываются в техническом задании на проектирование.

В состав полезного груза входят рабочий груз, включающий: средства визуального наблюдения; светлячки, иллюминаторы;

средства инструментального наблюдения: артельные трубы, оптические устройства, телевизионные установки, звуковизоры и т. п.;

кинофотоаппаратура;

гидрологические приборы, измеряющие и регистрирующие физические и химические параметры воды;

геофизические приборы, измеряющие и регистрирующие магнитное, гравитационное, электрическое и другие поля Земли, структуру дна и его недра;

гидроакустические средства наблюдения за биологическими и геологическими объектами (гидролокаторы и гидроакустическая аппаратура);

биоакустические приборы: записывающие биологические звуки и позволяющие изучать реакции морских животных;

манипуляторы с кюветнерами для сбора образцов, свободно лежащих на поверхности дна;

пробоборники: для взятия проб воды, мягкого и скалистого грунта, планктона, бентоса и др.;

экспериментальные устройства для бурения скважин, лова рыбы, сбора моллюсков и водорослей, добычи рассматриваемых полезных ископаемых и т. п.

Научно-исследовательские приборы и оборудование должны отвечать требованиям, указанным в § 4.5.

У рабочего аппарата полезным грузом являются: система манипуляторов; комплект инструментов; операторы; подолы с принадлежностями, доставляемые на глубину для выполнения работ в море.

Органы управления и контроля за работой научно-исследовательских приборов и экспериментальных устройств должны находиться на одном пульте в пределах видимости и доступности и или исследователя или оператора.

Массу полезного груза можно разделить на две составляющие:

$$m_r = m_{s_p} + m_p, \quad (4.65)$$

где m_{s_p} — масса экипажа и снабжения; m_p — масса рабочего оборудования.

Массу составляющих можно представить в виде

$$m_r = (A_p + B_r + B_p T_a) n_p + m_p, \quad (4.66)$$

где A_p — масса 1 чел.; B_r — масса снабжения и снаряжения на 1 чел.; B_p — норма воды и питания на 1 чел./сут; T_a — автономность по обитаемости, сут; n_p — число человек экипажа; m_p — масса рабочего оборудования.

В свою очередь массу рабочего оборудования разделим на две составляющие и зависимость от месторасположения:

$$m_p = \Sigma m_{рв} + \Sigma m_{рб}, \quad (4.67)$$

где $\Sigma m_{рв}$ — масса рабочего оборудования, устанавливаемого внутри прочного корпуса; $\Sigma m_{рб}$ — масса рабочего оборудования, размещаемого снаружи.

Объем груза внутри прочного корпуса

$$V_{гн} = \frac{(A_r + B_r + B_r' T_0) \sigma_p}{\rho_{гн}} + \frac{\sum \sigma_{гн}}{\rho_{гн}} \quad (4.68)$$

где $\rho_{гн}$ — плотность запяжка и связки; $\rho_{гн}$ — плотность рабочего оборудования.

В табл. 4.15 и 4.16 представлены данные по массогабаритным характеристикам рабочего оборудования и комплектации

Таблица 4.16

Масса, объем и потребляемая мощность рабочего оборудования (орентировочные)

Наименование рабочего оборудования	Внутри прочного корпуса		Снаружи прочного корпуса		Потребляемая мощность, Вт
	Масса, кг	Объем, м ³	Масса, кг	Объем, м ³	
Средства визуального наблюдения	10	0,02	30	0,03	2400
Средства инструментального наблюдения	120	0,15	40	0,02	50
Кинофотоаппаратура	30	0,04	45	0,02	300
Газоаналитические приборы	20	0,03	30	0,02	300
Газоаналитические приборы	80	0,1	40	0,02	100
Газоаналитическое средство наблюдения	60	0,11	60	0,02	500
Воздухоструйные приборы	100	0,14	40	0,01	500
Манипуляторы с коллекторами	20	0,02	120	0,04	2500
Прообооруживание	20	0,01	40	0,03	200
Всего	460	0,62	475	0,23	6626

приборами и манипуляторными устройствами некоторых аппаратов. На основании этих данных можно считать, что масса рабочего груза, располагаемого внутри прочного корпуса, примерно равна массе груза, размещаемого снаружи прочного корпуса. В связи с этим объем внутренних рабочих грузов (м³) для приближенного расчета можно представить в виде

$$V_{гн} = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\sigma_p}{0,74} \approx 0,7 \cdot 10^{-3} \sigma_p \quad (4.69)$$

где σ_p измеряется в кг.

Водоизмещающий объем наружного груза (м³)

$$V_{гн} = \frac{\sum \sigma_{гн}}{\rho_{гн}} \quad (4.70)$$

Таблица 4.15

Комплектация приборами и маневраторными устройствами некоторых подводных аппаратов

Наименование рабочего оборудования	Номер подводных аппаратов по табл. 2.1						
	47	48	29	30	3	27	33
Средства визуального наблюдения	+	+	+	+	+	+	+
Средства инструментального наблюдения	-	+	-	+	-	-	+
Кинофотоаппаратура	+	+	+	+	+	+	+
Газоаналитические приборы	+	+	-	+	-	-	+
Газоаналитические приборы	+	+	-	+	-	-	+
Газоаналитическое средство наблюдения	+	+	-	+	-	-	+
Воздухоструйные приборы	+	+	-	+	-	-	+
Манипуляторы с коллекторами	+	+	-	+	-	-	+
Прообооруживание	+	+	-	+	-	-	+

Для приближенного расчета $V_{гн}$ можно выразить в виде

$$V_{гн} = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\sigma_p}{2,6} \approx 0,18 \cdot 10^{-3} \sigma_p \quad (4.71)$$

Согласно данным, приведенным в табл. 4.14, для ориентировочных расчетов можно принимать:

$$\rho_{гн} = 1000 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{гн} = 740 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{гн} = 2000 \text{ кг/м}^3.$$

При определении внутреннего объема прочного корпуса следует также предусматривать свободные объемы, необходимые для обслуживания оборудования и обитания экипажа.

§ 22. Балласт и дополнительная плавучесть

Балласт и элементы дополнительной плавучести являются неотъемлемой частью каждого подводного аппарата. Эти два компонента обеспечивают плавучесть аппарата при данной плотности воды, удельную теплоотдачу, устойчивость, а также составляют запас автономности на случай модернизации. Кроме того, предусматривается аварийный балласт, сбрасываемый при аварийном всплытии, и маневровый для регулирования плавучести при погружении на большие глубины.

Количество балласта и плавучих элементов увеличивается с ростом глубины погружения, о чем наглядно свидетельствует конструкция батискафа, имеющего огромный поплавочный, заполненный бензином, и бункера с твердым балластом.

На данной стадии определения массы и объемов целесообразно предусматривать запас автономности на первом, соот-

ответственно увеличивая массу балласта, предназначенного для модернизации. По мере уточнения масс на последующих стадиях проектирования этот запас водоизмещения сокращают.

Полную массу балласта можно записать как сумму трех составляющих:

$$m_0 = m_{0a} + m_{0b} + m_{0c} \quad (4.72)$$

где m_{0a} — масса съемного балласта, зависящая от диапазона изменения плотности воды; m_{0b} — масса аварийного и маневрового балласта, зависящая от заданной скорости всплытия; m_{0c} — масса балласта для модернизации аппарата, уравновешивающая аппарат и запаса водоизмещения.

Учитывая функциональную зависимость составляющих, формулу (4.72) можно записать так:

$$m_0 = \Delta\rho V + A_2 C_p \rho_0^2 L V a + A_3 m_p, \quad (4.73)$$

где $\Delta\rho$ — изменение плотности воды; V — водоизмещающий объем аппарата; A_2 — постоянный коэффициент; C_p — коэффициент сопротивления всплытию; ρ_0 — скорость всплытия; a — коэффициент полноты ватерлинии; A_3 — коэффициент запаса водоизмещения для модернизации; m_p — коэффициент запаса водоизмещения, который можно принять в долях рабочего груза; m_p — масса рабочего груза.

При условии использования аппарата в пресной и соленой воде масса съемного балласта должна составлять не менее 3% водоизмещения, поскольку плотность воды изменяется от 1,0 до 1,03, а на больших глубинах до 1,077. Масса балласта для модернизации и в качестве запаса водоизмещения определяется во время проектирования, при этом учитываются дополнительные приборы и возможная погрешность при расчете масс аппарата.

Более сложным является определение массы аварийного балласта, что требует специальных исследований для установления величины C_p . Для упрощения этой задачи рассмотрим результаты испытаний моделей некоторых аппаратов на свободное всплытие в лабораторных и морских условиях (рис. 4.16).

Испытания показали, что при заданной положительной плавучести всплытие аппарата происходит с установившейся скоростью, которая определяется избыточной плавучестью и почти не зависит от аэри и дифферента, возникающих при сбросе балласта с различными плечами. Это можно объяснить большим количеством плохо обтекаемых выступающих частей, составляющих основную долю сопротивления воды вертикальному движению аппарата.

На некоторых аппаратах всплытие происходит с дифферентом на корму от 3 до 15°. Дифферент образуется либо вследствие неравномерности обтекания потоком и повышения гидродинамического момента, либо из-за сброса балласта из носовой или кормовой оконечности.

Масса маневрового балласта должна определяться с учетом факторов, указанных в главе 6, изменяющих плавучесть аппарата при погружении на большие и предельные глубины [см. формулу (6.1)].

Из рис. 4.16 следует, что для обеспечения свободного всплытия со скоростью 0,25–0,50 м/с масса аварийного балласта должна составлять 2–4% водоизмещения аппарата.

$$\Delta m_0 = m_0 / m_0$$

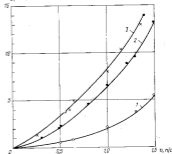


Рис. 4.16. Зависимость скорости всплытия аппарата от относительной остаточной плавучести.
1 — модель аппарата № 24; 2 — модель аппарата № 45; 3 — модель аппарата № 33 (табл. 7.1)

С целью упрощения дальнейшего исследования целесообразно выразить массу балласта как часть массы аппарата. Для этого дополнительно рассмотрен табл. 2.4, которая показывает, что масса балласта у ряда современных аппаратов составляет от 3 до 10% водоизмещения.

На основании изложенного вместо (4.72) можно записать

$$m_0 = 0,03m + 0,04m + 0,03m = 0,1m \quad (4.74)$$

Объем балласта составит

$$V_0 = \frac{m_0}{\rho_0} = \frac{0,1m}{\rho_0} \quad (4.75)$$

где ρ_0 — плотность материала балласта.

В качестве балласта на аппаратах обычно используется сталь, чугун, свинец.

Как указывалось выше, положительная плавучесть подводного аппарата уменьшается с глубиной погружения, поскольку плотность прочного корпуса увеличивается и его объем не в состоянии обеспечивать аппарату необходимую плавучесть.

Уравнение плавучести (2.3) можно записать так:

$$m = \rho(V_{\text{ак}} + \Sigma V_i), \quad (4.76)$$

где $V_{\text{ак}}$ — водоизмещающий объем прочного корпуса; ΣV_i — сумма водоизмещающих объемов элементов конструкции аппарата, размещенных за пределами прочного корпуса; ρ — плотность воды.

Средняя плотность стальных прочных корпусов с рабочей глубиной 300 м, в зависимости от формы, составляет от 0,12 до 0,3 (табл. 3.7). Согласно табл. 2.4 общая масса прочного корпуса для данных глубин достигает 37% общей массы аппарата.

Для большинства современных аппаратов с глубиной погружения до 1000 м плавучесть обеспечивается объемом прочного корпуса. С увеличением рабочей глубины растет плотность и масса прочного корпуса. На глубине 1000 м плотность прочного корпуса различной формы составляет от 0,30 до 0,53, что приводит к большому увеличению общей массы аппарата. Анализ современных аппаратов зарубежной постройки позволяет сделать вывод, что характеристики могут быть значительно улучшены при ограничении объема прочного корпуса до минимально необходимого и уравновешивании отрицательной плавучести легкими плавучими или аэрируемыми, плотность которых меньше плотности прочного корпуса.

Уравнение плавучести такого аппарата можно выразить равенством:

$$m = \rho(V_{\text{ак}} + \Sigma V_i + V_p), \quad (4.77)$$

где V_p — водоизмещающий объем поплавков (заполнителя). Подъемная сила поплавков должна уравновешивать остаточную отрицательную плавучесть аппарата, которая составляет

$$\Delta q = m_0 - \rho V_0, \quad (4.78)$$

где m_0 — масса аппарата (без поплавков); V_0 — водоизмещающий объем аппарата (без поплавков).

Подъемная сила поплавков (заполнителя) должна составлять

$$\Delta q + m_0 - \rho V_0, \quad (4.79)$$

где m_p — масса поплавков;

$$m_p = \rho_p V_p, \quad (4.80)$$

здесь ρ_p — плотность поплавков.

Подставив значение m_0 и равенство (4.79), получим

$$\Delta q = V_0(\rho - \rho_p), \quad (4.81)$$

откуда

$$V_p = \frac{\Delta q}{\rho - \rho_p} = \frac{m_0 - \rho V_0}{\rho - \rho_p}, \quad (4.82)$$

В табл. 4.17 приводятся характеристики сферических поплавков и некоторых твердых и жидких заполнителей, применяемых для аппаратов. Указанный в табл. 4.17 массовый коэффициент выражается формулой

$$K_p = \frac{\rho_p}{1 - \rho_p}, \quad (4.83)$$

где ρ_p — плотность заполнителя (поплавок). Коэффициент показывает отношение плотности заполнителя к его удельной плавучести в воде с плотностью, равной единице.

Числовое значение K_p эквивалентно массе заполнителя в тоннах, обеспечивающего положительную плавучесть в одну тонну.

Подробные характеристики и требования, предъявляемые к заполнителям, приведены в работе [12]. Жидкий заполнитель

Таблица 4.17

Характеристики жидких заполнителей и сферических поплавков

Заполнитель	Жидкие заполнители		Твердые заполнители		
	Плотность ρ_p , кг/м ³	Массовый коэффициент K_p	Заполнитель	Плотность ρ_p , кг/м ³	Массовый коэффициент K_p
Бензин	0,68—0,70	2,12—2,34	Листы в эпоксидной оболочке	0,65	1,87
Жидкий азот	0,61	1,87	Полиуретан	0,65—0,70	1,85—3,16
Крепкий органический растворитель	0,76	2,35	Сферы стальные	0,38—0,50	0,61—1,0
ДЭ-300	0,62	1,64	Сферы керамические	0,45—0,60	0,82—1,5
Изопентан	0,66	1,94	Микросферы стальные с эпоксидной оболочкой	0,62—0,70	1,64—2,34
Триэтилэтан	0,66	1,94	Сферы из стеклопластика	0,2—0,42	0,35—0,74
			Сферы металлические	0,1—0,6	1,25—1,5

размещают на аппаратах в специальных цистернах и контейнерах, разгруженных от внешнего давления.

Твердый наполнитель укладывают в легком корпусе, используя, как правило, объемные малоаргонные для размещения оборудования. Перед укладкой отдельным частям наполнителя придают наиболее удобную форму для укладки в узлы, между шпангоутами, флорами и т. п. и покрывают влагозащитной пленкой.

При размещении пустотелых стеклянных и керамических сфер между яами устанавливают амортизирующие прокладки. В случае потребности в большом объеме для размещения легковесных поплавков, твердого или жидкого наполнителя приходится расширять междубортное пространство, что увеличивает объем и массу легкого корпуса. Поэтому после решения уравнения плавучести и определения водоизмещающего объема необходимо пересчитать массу легкого корпуса.

После размещения наполнителя уточняются удельные веса аппарата, общее расположение оборудования в междубортном пространстве и главные размерения.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ МАСС И ПЛАВУЧЕСТИ АППАРАТА

§ 23. Уравнение масс аппарата

В предыдущих главах получены аналитические выражения для определения массы и объема всех элементов подводного аппарата (корпуса, энергетической установки, механизмов, систем, оборудования и т. п.).

Масса и водоизмещающий объем подводного аппарата могут быть найдены суммированием соответствующих элементов масс и объемов, выраженных через основные характеристики аппарата и постоянные коэффициенты, зависящие от выбранных материалов, конструкции аппарата и типа оборудования.

Как уже говорилось, масса и водоизмещающий объем аппарата должны удовлетворять уравнению плавучести, а объем прочного корпуса должен быть достаточным для размещения экипажа, систем и внутреннего оборудования. (Объем прочного корпуса беспоплавкового аппарата должен также обеспечивать необходимую плавучесть.)

Приведенные в главах 2—4 формулы позволяют произвести приближенный аналитический расчет масс аппарата при заданных значениях прочих (неосновных) характеристик. При этом значения основных характеристик могут быть уточнены

в процессе расчета с целью обеспечения плавучести подводного аппарата и приведенных выше ограничений объема прочного корпуса.

Поскольку число основных характеристик превышает число связывающих их уравнений, упомянутые выше условия могут быть удовлетворены путем различного сочетания числовых значений этих характеристик, т. е. в зависимости от задачи расчета те или иные характеристики аппарата можно изменить в некоторых пределах, добиваясь таким образом получения наилучших технико-исполнительских показателей.

Для направленного подбора оптимального сочетания характеристик необходимо руководствоваться реально существующими взаимосвязями между ними, которые могут быть выявлены на основе полученных в общем виде формул массы и объема элементов аппарата. Однако такой анализ сильно затрудняется громоздкостью этих формул, а также наличием большого числа постоянных коэффициентов, обусловленных назначением аппарата, его конструктивной схемой, выбором материалов, оборудования и т. п.

Чтобы проанализировать взаимосвязи и определить количественную зависимость масс подводного аппарата от его характеристик, необходимо получить более простые формулы массы и объема с конкретными числовыми значениями входящих в них коэффициентов.

Покажем решение этой задачи для конкретного типа аппарата. Примем в качестве материала прочного корпуса высокопрочную сталь с пределом текучести $\sigma_t = 1,07 \cdot 10^8$ Н/м² и в качестве материала легкого корпуса стеклопластик; в качестве двигателей — погружные гребные двигатели постоянного тока типа СТГ и в качестве источников энергии — свинцово-кислотные погружные аккумуляторы типа СП-200. Конструктивная схема аппарата соответствует типу, представленному на рис. 2.3. Используя результаты обработки данных по аппаратам, приведенные в предшествующих главах, примем числовые значения коэффициентов (табл. 5.1) и соответствии с выбранной конструктивной схемой.

Для вывода формулы массы подводного аппарата необходимо вновь обратиться к формулам масс его отдельных составляющих.

Масса аппарата без поплавков может быть представлена в виде

$$m_0 = \sum_{i=1}^n m_i = m_{0k} + m_{0a} + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_{0d} + m_7 + m_8 \quad (5.1)$$

Подставив в формулу масс прочного корпуса (3.50) числовые значения коэффициентов A_{0k} , A_{0a} из табл. 5.1, получим массу прочного корпуса (кг):

$$m_{0k} = a^3 (0,166H + 8,7 H_0^2).$$

Таблица 5.1
Числовые значения коэффициентов

Наименование	Условие обозначения	Данные		Источники данных, формулы, расчеты
		Наименование	Числовое значение	
Коэффициенты:				
масса цинк-цинковой части прочного корпуса	$A_{цк}$	кг/м ³	0,18	Табл. 3.6
масса серебряной части прочного корпуса	$A_{сч}$	кг/м ³	8,7	" 3.6
мощность хвостового двигателя	$A_{дх}$	кВт/м ²	0,102	Формула (4.2)
среднего рабочего оборота	C_0	—	0,25	Рис. 4.2
мощность вспомогательного оборудования	a	—	0,3	Табл. 4.4
мощность вспомогательных двигателей	a_0	—	0,6	" 4.4
удельной мощности электродвигателей типа СТТ	$A_{дэ}$	кг/кВт	20	Формула (4.19)
удельной мощности коммутационной аппаратуры	$A_{кв}$	кг/кВт	25	Табл. 4.8
удельной мощности кабельной сети	$A_{кб}$	кг/кВт	80	" 4.8
длина кабельной сети	K_0	—	0,85	Формула (4.36)
удельной энергии аккумуляторных батарей	K_0	кВт/кг	144	" (4.33)
КПД энергетической установки	η	—	0,75	" (4.13)
Масса комплекта средств управления, хранения и связи	$m_{тп}$	кг · 10 ³	0,6	Табл. 4.12
Средний объем	A_0	м ³ /мел.	1,5	" 4.14
Плотность	$A_{пл}$	кг/мел.	120	Табл. 4.14
систем жизнеобеспечения	$A_{жб}$	кг/мел.	120	Табл. 4.14
оборудования плавательной аппаратуры	$A_{об}$	кг/мел.	12	" 4.14
аккумуляторных батарей	$A_{аб}$	кг/мел.	2,8	Формула (4.14)
электродвигателей	$A_{дэ}$	кг/мел.	3,5	Формула (4.20)
коммутационной аппаратуры	$A_{кв}$	кг/мел.	1,8	" (4.20)
кабельной сети	$A_{кб}$	кг/мел.	1,6	" (4.20)
оборудования жизнеобеспечения	$A_{жб}$	кг/мел.	0,6	" (4.04)

Аналогичным путем получим формулу массы энергетической установки и электрооборудования, подставив в (4.44) соответствующие значения коэффициентов:

$$m_0 = \left[\frac{(1 + 0,3) T_0}{0,84 \cdot 0,75} + 20(1 + 0,6) + \frac{25(1 + 0,3)}{0,75} + \frac{1,5 \cdot 80(1 + 0,3)}{0,75} \right] 2 \cdot 0,07 \cdot 0,25 \rho^0$$

или

$$m_0 = 1,5(T_0 + 6,6) \rho^0. \quad (5.3)$$

Если применяются серебряно-цинковые аккумуляторные батареи, то выражение (5.3) принимает вид

$$m_0 = 0,7(T_0 + 1,4) \rho^0. \quad (5.4)$$

Для упрощения формул масс легкого корпуса и оборудования воспользуемся данными табл. 2.4, согласно которым среднеквадратичное значение массы легких корпусов будет $m_{лс} = 0,09 m_0$, а аналогичное значение массы оборудования составит $m_{об} = 0,07 m_0$. Затем принимаем усредненные значения коэффициентов: массы устройств $A_0 = 0,05$, массы обмурованных систем $A_0 = 0,08$ и массы балласта $A_0 = 0,1$. Тогда массу перечисленных составных можно выразить через массу аппарата (без плавков):

$$m_{лс} + m_7 + m_8 + m_{об} + m_9 = 0,09m_0 + 0,05m_0 + 0,08m_0 + 0,07m_0 + 0,1m_0 = 0,39m_0. \quad (5.5)$$

Для определения числовых значений коэффициентов в формуле массы груза (4.66)

$$m_1 = (A_0 + B_0 + B_0' T_0) m_0 + m_7$$

обратимся к данным табл. 4.14. Принимаем следующие значения коэффициентов: массы одного элемента $A_0 = 100$ кг, массы снаряжения на одного человека $B_0 = 220$ кг/чел., массу воды и провизии в сутки на одного человека $B_0' = 15$ кг/чел.; T_0 принимаем равным 6 сут (с учетом аварийного запаса).

Тогда масса груза (кг) будет

$$m_1 = (100 + 220 + 90) m_0 + m_7 = 410m_0 + m_7. \quad (5.6)$$

или

$$m_1 = 410m_0 + m_7. \quad (5.7)$$

где m_7 — масса рабочего груза.

Суммируя (5.2), (5.3), (5.5) и (5.7), получаем

$$m_0 = \rho^0 [0,185N_0 + 8,7N_0^{0,5}] + [3081 \cdot 10^{-3}(T_0 + 23514) \rho^0] + 0,39m_0 + 410m_0 + m_7. \quad (5.8)$$

После преобразования упрощенная формула масс аппарата (кг) принимает вид

$$m_a = 1,64 [d^3 (0,186H_p + 8,7H_p^2) + 1,5 (T_s + 6,6) d^2 v^3 + 410m_0 + m_{\text{эл}}] \quad (5.9)$$

Таким образом, для выбранной конструктивной схемы аппарата получена формула его массы, выраженная только через независимые переменные: H_p , v , T_s , λ , d , δ и m_p .

§ 24. Уравнение постоянного плавучего объема

Для вывода уравнения постоянного плавучего объема подводного аппарата используем соответствующие формулы для объема отдельных его составляющих, приведенные в предшествующих главах.

Постоянный плавучий объем аппарата без поплавков может быть представлен равенством

$$V_0 = \sum_{i=1}^{n+1} V_i - V_{\text{ин}} + K_V V_A + V_{\text{эл}} + V_p + V_s + K_V V_p + V_{\text{ср}} \quad (5.10)$$

Плавучий объем прочного корпуса, согласно (3.52),

$$V_{\text{ин}} = d^3 (0,52 + 0,79\lambda),$$

а плавучий объем электрооборудования, согласно (4.51),

$$K_V V_p + V_{\text{эл}} = \frac{m_{\text{эл}}}{\rho_{\text{эл}}} + \frac{m_A}{\rho_A} + 0,3 \frac{m_{\text{эл}}}{\rho_{\text{эл}}}$$

Здесь масса аккумуляторных батарей (4.13) будет

$$m_{\text{эл}} = \frac{(1 + \alpha) T_A A_R C_p B H d^2}{K_A \theta_{\text{эл}}}$$

где $BH = 2d^2$.

Подставив принятые значения коэффициентов из табл. 5.1, определим массу аккумуляторных батарей (кг):

$$m_{\text{эл}} = \frac{T_s \cdot 0,07 \cdot 0,25 \cdot 2d^2 (1 + 0,3)}{0,04 \cdot 0,75} = 1,72 T_s d^2 \theta_{\text{эл}} \quad (5.11)$$

Масса электродвигателей (кг), согласно (4.41), будет

$$m_A = A_s (1 + \alpha) A_R C_p 2d^2 \theta^2$$

или, с учетом коэффициентов из табл. 5.1,

$$m_A = (1 + 0,6) 20 \cdot 0,07 \cdot 0,25 \cdot 2d^2 \theta^2 = 1,28 d^2 \theta^2 \quad (5.12)$$

Масса кабельной сети [формула (4.43)] с учетом коэффициентов из табл. 5.1 равна (кг)

$$m_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 80 \frac{0,07 \cdot 0,25 \cdot 2d^2 \theta (1 + 0,3)}{0,75}$$

или

$$m_{\text{ср}} = 7,2 d^2 \theta^2 \quad (5.13)$$

Подставив в (4.51) значения масс, определенные по формулам (5.11), (5.12) и (5.13), а также соответствующие значения плотности из табл. 5.1, найдем

$$V_{\text{ин}} = \frac{1,72 T_s d^2 \theta_{\text{эл}}}{2,8} + \frac{1,28 d^2 \theta^2}{3,5} + \frac{0,3 \cdot 7,2 d^2 \theta^2}{1,6} = (0,62 T_s + 0,365 + 1,35) d^2 v^3$$

или

$$V_{\text{ин}} = 0,62 \cdot 10^{-3} (T_s + 2,8) d^2 v^3 \quad (5.14)$$

Для получения упрощенной формулы постоянного плавучего объема аппарата воспользуемся данными табл. 2.6. Тогда суммарный объем остальных составляющих плавучего объема можно представить как часть объема прочного корпуса:

$$V_{\text{ср}} + V_p + V_c + V_r + V_s + A_V V_{\text{эл}} \quad (5.15)$$

где $A_V = 0,18 + 0,2$.

Приняв $A_V = 0,2$, определим постоянный плавучий объем (m^3) подводного аппарата без поплавков:

$$V_0 = V_{\text{ин}} + V_{\text{эл}} + 0,2 V_{\text{эл}} = 1,2 V_{\text{эл}} + V_{\text{ин}}$$

или

$$V_0 = 1,2 d^2 (0,52 + 0,79\lambda) + 0,62 \cdot 10^{-3} (T_s + 2,8) d^2 v^3 \quad (5.16)$$

Внутренний объем прочного корпуса, необходимый для размещения экипажа и оборудования, выразим формулой

$$V_{\text{вн}} = V_{\text{эл}} + V_{\text{ср}} + V_{\text{р}} + A_{\text{эл}} m_{\text{эл}} \quad (5.17)$$

где $V_{\text{эл}}$ — объем внутреннего электрооборудования; $V_{\text{ср}}$ — объем оборудования помещений и внутренних систем; $V_{\text{р}}$ — объем внутреннего резинового груза; $A_{\text{эл}} m_{\text{эл}}$ — объем воздуха для дыхания экипажа и пространства между оборудованием.

Объем электрооборудования определим по формуле (4.49):

$$V_{\text{эл}} = \frac{m_{\text{эл}}}{\rho_{\text{эл}}} + \frac{0,7 m_{\text{эл}}}{\rho_{\text{эл}}}$$

Масса коммутирующей аппаратуры (кг), согласно (4.42), будет

$$m_{\text{ср}} = \frac{A_s}{\eta_{\text{ср}}} (1 + \alpha) A_R C_p 2d^2 \theta^2$$

Подставляя принятые в табл. 5.1 значения коэффициентов, найдем

$$m_{\text{ср}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,75} (1 + 0,3) 512 \cdot 0,25 \cdot 2d^2 \theta^2$$

или

$$m_{\text{ср}} = 1,52 d^2 \theta^2 \quad (5.18)$$

и

163

Подставив в (4.49) полученные по формулам (5.13) и (5.18) значения m_a и m_{os} , а также значения плотности из табл. 5.1, получим

$$V_{os} = \left(\frac{1,32}{1,8 \cdot 10^3} + \frac{0,7 \cdot 7,2}{1,6 \cdot 10^3} \right) d^2 v^3 = 0,0295 d^2 v^3$$

или

$$V_{os} = 0,03 d^2 v^3. \quad (5.19)$$

Объем (m^3), необходимый для размещения внутри прочного корпуса оборудования, систем и экипажа, согласно формуле (4.64), будет

$$V_{os} = \frac{L_n m_a + R_{os} d (d + l_1) + m_p}{\rho_{os}}$$

Подставив значения коэффициентов из табл. 5.1, получим

$$V_{os} = \frac{150 m_a + 12,8 \cdot 16 d (d + l_1) + 0,6 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^3}$$

или

$$V_{os} = 0,25 m_a + 0,06 d (d + l_1) + 1,0. \quad (5.20)$$

Объем рабочего груза внутри прочного корпуса, согласно (4.69),

$$V_{pg} = 0,7 \cdot 10^{-3} m_p.$$

Таким образом, подставив в (5.17) равенства (5.19), (5.20) и (4.69) и приняв значение коэффициента L_n равным 1,5, который учитывает также свободное пространство между оборудованием, получим внутренний объем прочного корпуса (m^3):

$$V_{in} = 0,03 d^2 v^3 + 1,75 m_a + 0,06 d (d + l_1) + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3} m_p. \quad (5.21)$$

Для размещения экипажа и оборудования внутри прочного корпуса необходимо, чтобы $V_{in} \geq V_{os}$.

или

$$d^3 (0,52 + 0,796) \geq 0,03 d^2 v^3 + 0,05 d (d + l_1) + 1,75 m_a + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3} m_p. \quad (5.22)$$

§ 25. Уравнение плавучести аппарата

Нулевая остаточная плавучесть аппарата в заданном положении будет обеспечена при условии его статического равновесия, удовлетворяющего уравнению плавучести

$$m = \rho V,$$

где m — масса аппарата; V — постоянный плавучий (вытесняющий) объем аппарата; ρ — плотность воды.

Рассмотрим уравнение плавучести двух типов аппаратов: у первого типа плавучесть удовлетворяется только объемом

прочного корпуса, у второго — дополнительная плавучесть обеспечивается поплавками.

1. Полагая $m = m_0 + V = V_0$, используем упрощенные формулы массы и объема аппарата без поплавков [(5.9) и (5.16)].

Приняв $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, уравнение плавучести можно записать в виде

$$m_0 = \rho V_0$$

или

$$1,64 [d^3 (0,185 H_p + 8,7 H_p^{0,5}) + 3,081 \cdot 10^{-3} (T_s + 23514) d^2 v^3 + 410 m_a + m_p] = 1,24 d^3 (0,52 + 0,796) + 1,133 \cdot 10^{-3} \times (T_s + 11,2 \cdot 10^3) d^2 v^3. \quad (5.23)$$

При сохранении принятых значений всех характеристик нулевая остаточная плавучесть аппарата может быть обеспечена за счет изменения длиной цилиндрической части прочного корпуса, которая определяется его относительным удлинением b .

Из формулы (5.23) найдем относительное удлинение прочного корпуса, обеспечивающего нулевую остаточную плавучесть аппарата:

$$b_1 = \frac{d^3 [645 - 14,3 H_p^{0,5}] - d^2 v^3 [3,917 \cdot 10^{-3} T_s + 128,3] - 682 m_a - 1,64 m_p}{d^2 (2,285 H_p - 980)}. \quad (5.24)$$

Из условия размещения экипажа и оборудования внутри прочного корпуса (5.22) найдем область допустимых значений относительного удлинения:

$$b_2 \geq \frac{0,03 d^2 v^3 + 0,66 d (d + l_1) + 1,75 m_a + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3} m_p - 0,52 d^3}{0,73 d^3}. \quad (5.25)$$

Определим относительное удлинение при значениях основных характеристик аппарата (независимых переменных), удовлетворяющих последнему неравенству, по приведенной формуле (5.9) можно вычислять массу аппарата без поплавков с нулевой остаточной плавучестью.

При расчете относительно легких аппаратов (при малых H_p , 0 , T_s и т. д.) может оказаться, что величина b_2 не удовлетворяет неравенству (5.25), т. е. объем прочного корпуса, полученный из условия плавучести, будет недостаточным для размещения экипажа и оборудования. В этом случае следует выбрать большие значения основных характеристик аппарата и тем самым улучшить его эксплуатационные качества. В частности, чрезмерно «легкий» аппарат более целесообразно утяжелить за счет увеличения емкости аккумуляторных батарей, глубины погружения или скорости движения, чем за счет принятия дополнительного балласта.

2. При компенсации остаточной отрицательной плавучести поправками массы аппарата в общем виде выражается равенством

$$m = m_0 + m_1, \quad (5.28)$$

где m_0 — масса поправок (или заводителя), уравновешивающая отрицательную остаточную плавучесть.

Полный плавучий объем аппарата можно записать в виде

$$V = V_0 + V_{10}, \quad (5.29)$$

где V_0 — объем поправок.

Тогда уравнение плавучести (2.3) принимает вид

$$m_0 + m_1 - \rho V_0 + \rho V_{10}, \quad (5.28)$$

где m_0 — масса аппарата без поправок; V_0 — водоизмещающий объем аппарата без поправок.

Значения m_0 и V_0 определяются по формулам (5.9) и (5.16). При этом относительное удлинение прочного корпуса выбирается из условия размещения экипажа и оборудования согласно формуле (5.25):

$$\delta_k = \frac{0,05d^2 + 0,06(d + t_k) + 1,75m_0 + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3}m_0 - 0,53d^2}{0,75d^2}, \quad (5.29)$$

Масса поправок при найденных m_0 и V_0 определяется равенством

$$m_1 = \frac{\rho_0 (m_0 - \rho V_0)}{\rho - \rho_0}, \quad (5.30)$$

Если в качестве поправок используются пустотелые сферы из алюминиевого сплава, то в соответствии с данными табл. 5.7

$$\rho_0 = 6,6 \cdot 10^{-3} H_0^2, \quad (5.31)$$

Таким образом, для двух рассмотренных конструктивных схем аппарата получены упрощенные формулы, позволяющие определить массу и постоянный плавучий объем статически уравновешенного аппарата с учетом условия размещения в прочном корпусе экипажа и оборудования.

Для оценки точности приближенных расчетов формул массы и водоизмещающего объема аппарата выполнены процентные расчеты характеристик ряда построенных аппаратов. Расчет аппаратов (№ 30, 34, 37, 39, 45, 47), близких по конструкции и материалам аппаратам, принятым в § 24, произведен по упрощенным формулам (5.9) и (5.16). При расчете других аппаратов использовались исходные формулы, приведенные в главах 3—4.

Действительные масса и плавучий объем существующих аппаратов, а также результаты расчета приведены в табл. 5.2 и на рис. 5.1.

Таблица 5.2

Результаты расчета массы и плавучего объема некоторых газовых аппаратов

№ п/п	Наименование аппарата	m_0 , кг	V_0 , м ³	ρ_0 , г/см ³	m , кг	V , м ³	δ_k , %	$\frac{m}{m_0}$	$\frac{V}{V_0}$	$\frac{m}{m_0} - \frac{V}{V_0}$	$\frac{m}{m_0} - \frac{V}{V_0} \cdot 10^3$	$\frac{m}{m_0} - \frac{V}{V_0} \cdot 10^6$
28	«Стр-2»	360	1,54	3	1,50	0	180	4,27	4,14	0,03	4,09	4,09
30	«Икс-4»-2»	400	2,05	3	1,65	2,6	290	10,3	10,0	0,42	9,5	9,1
34	«Сен стар-200»	600	1,54	9	1,54	1	180	5,85	5,66	0,19	6,1	5,9
37	«Стр-3»	610	2,05	3	1,67	0	480	8,3	8,06	0,26	7,82	7,52
38	«Икс-4»	610	2,31	4	1,13	1	900	14,5	14,05	4,61	17,2	16,6
39	«МС-200	600	2,05	4	1,66	0,6	80	6,14	5,65	0,56	6,3	6,3
43	«Икс-3»	1000	1,54	6,5	3	1,98	0	9,1	8,44	3,13	11,4	10,9
44	«Икс-1»	1000	1,8	2,5	1,90	0,67	80	6,5	6,32	0,23	7,2	6,8
45	«Сен стар-400»	1220	1,54	5	1,68	0	180	8,63	8,20	1,93	8,7	8,56
46	«ДСУВ	1320	2,05	5,5	2,29	1,8	1000	33,0	32,0	7,14	35,2	34,5
47	«Алекс»	1430	2,03	4,5	2,16	0	300	13,5	13,1	5,26	14,6	13,96
52	«Турко»	1980	2,06	4	2,07	0	1330	20,0	19,4	10,20	16,5	15,8
53	«Сен Алекс»	2440	2,37	10	2,14	0,64	4800	30,0	48,5	25,0	47,0	46,1

Погрешность расчетных формул вычислялась по формуле

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{m - m_{\text{расч}}}{m} \cdot 100\%,$$

где m — фактическая масса аппарата; $m_{\text{расч}}$ — масса аппарата, рассчитанная по формулам.

Как видно из данных табл. 5.2 и рис. 5.1, фактическая масса большинства аппаратов хорошо совпадает с расчетной, а максимальное отклонение не превышает $\pm 10\%$. Исключение составляют аппараты № 38, 43 и 52. Это объясняется отсутствием

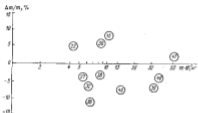


Рис. 5.1. Расчетные и действительные значения массы некоторых подводных аппаратов, приведенные в табл. 2.1

достоверных сведений о материалах и конструкции отдельных узлов, что не позволило достаточно точно определить коэффициенты, использованные при расчете. Сказанное особенно касается массы прочных корпусов аппаратов с чрезмерно завышенным запасом прочности.

Таким образом, приведенные формулы можно считать достаточно точными для приближенных расчетов.

§ 26. Зависимость массы аппарата от основных характеристик

Полученные выше формулы для расчета массы, объема и плавучести подводного аппарата могут быть использованы при исследовании взаимосвязи некоторых основных его характеристик.

В качестве моделей для исследования приняты два конкретных варианта аппарата (рис. 5.2).

Плавучесть модели № 1 обеспечивается возмещающими объемом прочного корпуса и забортного оборудования. У модели № 2 прочный корпус имеет минимальный объем, возмещающий лагу для размещения экипажа и оборудования, а остаточная отрицательная плавучесть компенсируется заглубляющими

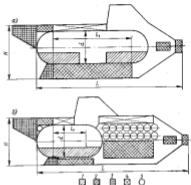


Рис. 5.2. Модели аппарата для расчета на ЭВМ: а — модель № 1; б — модель № 2.

1 — внутреннее оборудование; 2 — внешнее оборудование; 3 — внешние рабочие органы; 4 — цистерны балласта; 5 — топливные (заглубляющие); $T_{\text{в}}=61$ кг; $\rho_{\text{в}}=1$ тал; $d=1,3$ м; $m_{\text{в}}=550$ кг; $\nu=1,05$ м/с

повлаками. В остальном обе модели соответствуют конструктивной схеме, приведенной на рис. 2.3. Материалы и тип оборудования моделей аналогичны выбранным в § 23, а числовые значения коэффициентов соответствуют данным табл. 5.1.

Для расчета на ЭВМ использовались следующие зависимости:

масса аппарата (5.26):

$$m = m_{\text{в}} + m_{\text{с}},$$

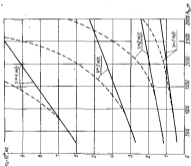


Рис. 5.3. Зависимость массы аппарата от рабочей глубины: — аппарат без поплавок; - - аппарат с поплавками

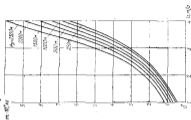


Рис. 5.4. Зависимость массы аппарата от его диаметра

где масса аппарата без поплавок, согласно зависимости (5.9), будет

$$m_a = 1,64 [d^3 (0,185H_p + 8,7H_p^{0,5}) + 3,081 \cdot 10^{-3} \times (T_p + 23514) d^2 v^3 + 410m_s + m_p];$$

массы поплавков (5.30)

$$m_p = \frac{\rho_s (m_s - \rho V_s)}{\rho - \rho_s},$$

где $\rho_s = 6,5 \cdot 10^{-3} H_p^{0,5} \rho_{\text{max}}$ и $\rho = 1,03$;

относительного удлинения прочного корпуса, обеспечивающего размещение экипажа и оборудования (5.29)

$$D_a = \frac{0,03d^3 v^3 + 0,064(z + l_0) + 1,7m_s + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3} m_p - 0,52d^3}{0,79d^3},$$

подъемления (5.16)

$$D_a = \rho V_s = 1240d^3 (0,52 + 0,708) + 1,133 \cdot 10^{-3} \times (T_p + 11,2 \cdot 10^3) d^2 v^3. \quad (5.32)$$

Расчет массы подводных аппаратов производится в следующем диапазоне изменения значения основных характеристик: H_p — от 250 до 3000 м (шаг 500 м); v — от 1,00 до 3,00 м/с (шаг 0,51 м/с); T_p — от 2 до 14 ч (шаг 2 ч); m_s — от 1 до 4 чел. (шаг 1 чел.); d — от 1,6 до 2,2 м (шаг 0,1 м); m_p — от 100 до 1000 кг (шаг 100 кг).

Ввиду невозможности графического представления функций шести переменных, которой является зависимость массы аппарата от характеристик, результаты расчета приводимы на отдельных графиках (рис. 5.3—5.8), соответствующих средним областям выбранных диапазонов изменения значений указанных выше характеристик¹.

Как следует из рис. 5.3, масса аппарата с увеличением глубины возрастает, причем тем значительно, чем выше скорость аппарата. Кроме того, при $H_p > 1000$ м масса аппарата без поплавок увеличивается с глубиной значительно быстрее, чем масса аппарата с поплавками. При глубине кордыка 1300 м масса аппарата без поплавок будет превышать массу аппарата с поплавками на 10% и более независимо от его скорости. Отсюда следует, что для аппаратов рассмотренной конструкции с рабочей глубиной погружения свыше 1000 м остаточную отрицательную плавучесть следует компенсировать с помощью поплавков или легкосплавных заполнителей.

В связи с явным преимуществом аппарата с поплавками на рис. 5.4—5.8 приведены результаты расчета на ЭВМ только для модели № 2.

¹ Следует отметить, что за пределы принятых диапазонов характер зависимости должен сохраняться.

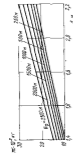


Рис. 5.5. Зависимость массы аппарата от диаметра прочного корпуса



Рис. 5.6. Зависимость массы аппарата от длины тела

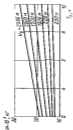


Рис. 5.7. Зависимость массы аппарата от длины рабочего груза

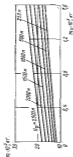


Рис. 5.8. Зависимость массы аппарата от диаметра рабочего груза

На графике рис. 5.4 показан быстрый рост массы аппарата от его скорости. Эта зависимость приближается к степенной с показателем степени 2,2—2,5. Отсюда следует, что основное увеличение массы с ростом скорости происходит за счет энергетического электрооборудования, масса которого пропорциональна v^3 .

Рис. 5.5 свидетельствует о линейном росте массы с увеличением диаметра прочного корпуса в диапазоне от 1,4 до 2,2 м, причем коэффициент пропорциональности практически не изменяется с глубиной.

Зависимость массы аппарата от численности экипажа, представленная на рис. 5.6, также имеет линейный характер, однако в этом случае коэффициент пропорциональности существенно увеличивается с ростом глубины.

Аналогичный характер имеет зависимость массы аппарата от автономности (рис. 5.7).

Увеличение рабочего груза также приводит к линейному росту массы аппарата (рис. 5.8), причем коэффициент пропорциональности практически не зависит от глубины. Такой характер зависимости m объясняется линейностью роста массы с увеличением H_p , T_p , m_p .

Приведенные графики дают наглядное представление о взаимосвязи основных характеристик аппарата, позволяют судить о количественном влиянии на массу аппарата изменения каждой из характеристик. На основе выполненного расчета и представленных графических зависимостей можно производить избирательное варьирование характеристик с целью их оптимального подбора. Например, при ориентировочном расчете характеристик окажется, что масса аппарата отличается от заданной. Это различие, не повторяя расчета, можно устранить соответствующим изменением характеристик. Аналогичным образом можно без изменения массы увеличивать значение какой-либо характеристики за счет уменьшения значения других характеристик (в соответствии с назначением аппарата или иными ограничениями).

Полученные соотношения позволяют определить и количественные взаимосвязи характеристик. В соответствии с выражением (5.9) запишем массу аппарата в общем виде как функцию шести переменных:

$$m = f(H_p, v, d, b, n_p, T_p, m_p). \quad (5.33)$$

Приращение массы аппарата выразим через приращение переменных и соответствующие частные производные:

$$\Delta m \approx \frac{\partial m}{\partial H_p} \Delta H_p + \frac{\partial m}{\partial v} \Delta v + \frac{\partial m}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial m}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial m}{\partial n_p} \Delta n_p + \frac{\partial m}{\partial T_p} \Delta T_p + \frac{\partial m}{\partial m_p} \Delta m_p. \quad (5.34)$$

Погрешность выражения (5.34) тем меньше, чем меньше приращение.

Полукая приведенные в главе расчетные соотношения, можно выразить аналитически частные производные через переменные. Однако из-за громоздкости выкладки ограничимся использованием числовых значений производных, полученных в результате расчета массы выбранного аппарата. Средние значения частных производных, вычисленные по графикам рис. 5.3—5.8, приведены в табл. 5.3. Эти значения частных производных массы по независимым переменным являются

Таблица 5.3

Средние значения частных производных, вычисленные по графикам (рис. 5.3—5.8)

Частная производная	Среднее значение частной производной
$\frac{\partial m}{\partial H_p}$	5 кг/м при $v = 2,06$ м/с
$\frac{\partial m}{\partial v}$	$9,73 \cdot 10^4$ кг·с/м при $v = 1,54$ м/с
$\frac{\partial m}{\partial \rho}$	$15,26 \cdot 10^4$ кг·с/м при $v = 2,31$ м/с $25,29 \cdot 10^4$ кг·с/м при $v = 3,06$ м/с
$\frac{\partial m}{\partial d}$	$16 \cdot 10^4$ кг/м
$\frac{\partial m}{\partial \rho_s}$	$1,2 \cdot 10^{11}$ кг·с
$\frac{\partial m}{\partial T_s}$	0,167 м/с
$\frac{\partial m}{\partial v_p}$	3,8

количественной мерой взаимосвязи основных характеристик аппарата и могут быть использованы в формуле янда (5.34) для выбора наилучшего сочетания характеристик аппарата при их приближенном расчете.

§ 27. Принципы оптимизации характеристик

Приведенные выше результаты исследования и практика строительства подводных аппаратов подтверждают возможность создания аппаратов одинакового назначения с различными основными характеристиками, значения которых могут

варьироваться в довольно широких пределах. Поэтому обоснованный выбор наилучшего варианта подводного аппарата или оптимизация его характеристик является весьма важной задачей при проектировании.

В общем случае критерием оптимальности аппарата должна служить некоторая величина, наиболее полно учитывающая его технико-экономические показатели. Роль тех или иных характеристик в оценке качества аппарата различна и зависит от его назначения. Например, для быстрогохода аппарата, предназначенного для слежения за подвижными объектами, важнейшие характеристики являются скорость и автономность; для транспортного аппарата — масса полезного груза, глубина погружения и дальность плавания; для рабочего — производительность рабочего оборудования, автономность в рабочем режиме и т. д.

Необходимо отметить, что теоретические основы оптимизации аппарата до настоящего времени не разработаны.

В практике проектирования находят применение различные частные показатели, позволяющие оценить качество отдельных элементов или совершенство некоторых характеристик аппарата. К таким показателям относятся:

плотность прочного корпуса (5.53)

$$\rho_{\text{кк}} = \frac{\sigma_{\text{кк}}}{V_{\text{кк}}},$$

позволяющая оценить его прочность. При сравнении корпусов с одинаковой глубиной погружения более предпочтительнее корпус меньшей плотности. У современных аппаратов $\rho_{\text{кк}} = 100 \div 300$ кг/м³ при $H_p \leq 300$ м и $\rho_{\text{кк}} = 500 \div 800$ кг/м³ при $H_p \leq 4000$ м;

коэффициент рациональности конструкции прочного корпуса

$$K_2 = \frac{P_p V_{\text{кк}}}{\sigma_{\text{кк}} D_{\text{кк}}} = \frac{P_p}{\rho_{\text{кк}}} \quad (5.55)$$

(где P_p — рабочее давление, Н/м²), характеризующий совершенство формы и конструкции прочного корпуса: чем больше его значение, тем лучше конструкция. У современных аппаратов со стальным прочным корпусом $K_2 = (0,15 \div 0,17) \cdot 10^4$ м³/с² при $H_p = 300 \div 600$ м и $K_2 = (0,25 \div 0,4) \cdot 10^4$ м³/с² при $H_p = 2000 \div 4000$ м;

коэффициент развития легкого корпуса (5.56)

$$K_{\text{лк}} = \frac{m}{D_{\text{лк}}},$$

где $D_{\text{лк}}$ — подводное водоизмещение с учетом воды в балластных цистернах и в прилегающих частях. Величина $K_{\text{лк}}$ показывает компактность размещения в легком корпусе оборудования

оборудовании: чем больше $K_{эл}$, тем менее развиты объемы легкого корпуса. У современных аппаратов $K_{эл}=0,7 \div 0,9$; аппаратный коэффициент

$$C = \frac{P^2 D^2}{N}, \quad (5.36)$$

характеризующей отношением буксировочной мощности к мощности ходовых двигателей и позволяющей оценить общий относительный КПД двигателей аппарата. Значение C зависит от формы аппарата и находится в пределах $10-35 \text{ у}^2 \cdot \text{г}^2/\text{кВг}$; энергооборуженность

$$K_3 = \frac{Q_3}{m}, \quad (5.35)$$

где Q_3 — запас энергии аккумуляторных батарей, Дж. У современных аппаратов K_3 составляет $7200-28800 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{кг}$; относительная грузоподъемность

$$K_4 = \frac{m_r}{m}, \quad (5.38)$$

где m_r — полезный груз, позволяющий оценить качество аппарата как транспортного средства. У аппарата с глубиной погружения до 200 м $K_4=0,1 \div 0,2$, у аппаратов с глубиной погружения от 200 до 4000 м $K_4=0,05 \div 0,1$; стоимость единицы массы аппарата

$$\Phi_r = \frac{\Phi}{m}. \quad (5.39)$$

где Φ — стоимость аппарата.

Величину Φ можно использовать при ориентировочном определении расходов на строительство аппарата. Стоимость некоторых зарубежных аппаратов приведена в табл. 5.4.

Очевидно, что относительная стоимость растет с увеличением степени сложности аппарата. Наибольшую стоимость имеют аппараты малых глубин вследствие относительно простой конструкции. К ним относятся американские аппараты типов «Кабаран», «Амерсаб» и «Стар» (удельная стоимость 6—10 тыс. дол. на тонну массы). Сравнительно высокая стоимость аппаратов для глубин 300 м и более объясняется увеличением расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а также единицами изготовления аппарата. Согласно американским данным, стоимость большинства таких аппаратов находится в пределах 30—50 тыс. дол. на тонну массы.

Стоимость обитаемых автономных аппаратов, строящихся малыми сериями, примерно на 30—50% меньше стоимости опытных. Высокая стоимость опытных американских аппаратов типа

Таблица 5.4

Стоимость некоторых подводных аппаратов

Номер аппарата по табл. 5.1	Наименование аппарата	Стоимость, тыс. дол.	Масса в 10% от	Относительная стоимость, тыс. дол./10% от
5	«Кабаран» ПК-33»	40	4,8	8,4
6	«Спарус»	20	1,1	18
7	«Субмарин»	25	1,5	16,8
10	«Кабаран» ПК-38»	30	2,8	10,8
15	«Кабаран» ПК-85»	210	5,5	38
16	«Амерсаб-300»	20	1,75	11,4
18	«Стар» 2»	250	11,5	22
20	«Меридиан» 2»	47	10,5	4,3
24	СУРВ	56	5,1	19
28	«Стар» 2»	31	4,3	7,2
29	«Кабаран» ПК-50»	225	8,3	27
31	УРВ	2 800	49	57
33	«Дип Дивинг»	1 110	4,1	27
35	«Сетай»	845	85	10
36	«Дип дайвер»	300	8,3	24
37	«Стар» 3»	44	8,3	5,3
38	«Винер» 2»	2 750	14,5	190
40	ДСРВ	4 100	35	125
47	«Альфон»	375	15,5	43
49	«Гайкс» 6»	1 630	11,0	140
52	«Тарт»	817	30	41
53	«Дип Квест»	4 250	30	184
54	«Альфонс»	3 000	41	37
—	«Бек Франклин»	2 500	230	19,2
—	НР-1	99 200	385	272

ДСРВ, «Движение», НР-1 объясняется, кроме того, уникальностью оборудования.

Несмотря на известную практическую ценность приведенных показателей, они непригодны для оценки качества аппарата в целом. Наиболее полным показателем качества любого технического средства следует считать его удельную производительность, т. е. количество продукции на 1 руб. затрат:

$$\Pi_r = \frac{Q_r}{\Phi_r}. \quad (5.40)$$

где Q_r — объем продукции в натуральных единицах; Φ_r — расходы на содержание технического средства. Величины Q_r и Φ_r должны соответствовать разным периодам времени.

Применяя величину Π_r в качестве критерия оптимальности подводного аппарата, следует в соответствии с основной функциональной задачей, определенной назначением аппарата, выразить Q_r и Φ_r через его характеристики. В этом случае оптимальным можно считать аппарат, характеристики которого будут соответствовать максимальной удельной производительности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА АППАРАТА

§ 28. Последовательность определения характеристик

Определение основных характеристик, выбор материалов и элементов конструкции, прорисовка общего расположения аппарата впервые производится при разработке технического задания.

Эти работы и многие другие задачи выполняются одновременно, причем их последовательность зависит от постановки общей задачи, полноты исходных данных, наличия аппаратов-прототипов, поставленных промышленностью материалов, оборудования и ряда иных обстоятельств.

С целью более ясного представления и понимания последовательности проектных работ вначале будет наложен порядок определения характеристик, а затем — выбор главных элементов и разработка схемы общего расположения аппарата.

Проектирование на стадиях технического задания и технического предложения заключается в определении характеристик аппарата, подборе составляющих элементов и организации объема (архитектуры) их размещения. Обычно главными составными элементами технического задания являются проектант и заказчик. В качестве заказчика может выступать институт, занимающийся исследованиями океана, или специальная фирма, выполняющая подводные работы, а проектантом — проектно-конструкторский институт, имеющий опыт проектирования и эксплуатации подводной техники.

До начала разработки технического задания у проеканта еще нет сведений о требованиях заказчика, а у последнего сложилось окончательное решение о необходимости выполнения в глубинах моря конкретных работ на исследованиях. Однако заказчик к этому времени может еще и не иметь ясного представления о наиболее эффективном техническом средстве для выполнения подводных работ: подводная техника так быстро изменяется и совершенствуется, что известное нам сегодня самое эффективное средство через два-три года может морально устареть.

В любом случае заказчик всегда сообщает проектанту следующие исходные данные: основное назначение проектируемого технического средства и дополнительные задачи, возлагаемые на него; рабочую глубину погружения; районы Мирового океана, в которых предполагается выполнять подводные работы. Эти сведения позволяют приступить к проектированию и в первую очередь — изучению существующих и возможных подводных

технических средств с целью определения наиболее выгодного из них для выполнения заданных работ.

Мы не будем излагать порядок проведения такого исследования, поскольку этот вопрос выходит за пределы книги. Предположим, что выполненными исследованиями и пророботками было доказано, что наиболее эффективным средством является подводный обитаемый автономный аппарат, транспортируемый к месту работ на судне-базе.

При разработке технического задания на проектирование такого аппарата из множества различных вариантов могут встретиться два крайних случая. В первом — заказчик просит разработать проект подводного аппарата, сходный с прототипом по назначению, глубине и другим основным характеристикам. В этом случае заказчик совместно с проектантом до начала разработки технического задания может ориентировочно установить тип, а также основные характеристики заказываемого аппарата: рабочую глубину погружения, массу полезного груза, скорость движения и принять за основу конструктивную схему аппарата-прототипа. Во втором крайнем случае заказчик может потребовать сконструировать аппарат, имеющий аналога. В этом случае разработка технического задания и дальнейшее проектирование становятся значительно сложнее.

В практике обычно существуют промежуточные случаи, когда проектант имеет апробированные прототипы, позволяющие достаточно точно определить характеристики и главные элементы заданного аппарата. При отсутствии прототипов приходится вести научный поиск и выполнять конструкторские разработки, свойственные любому проектированию.

Сложность и ответственность первых двух стадий проектирования состоит в том, что на этих этапах принимаются основные решения, в том числе и самое главное: создавать предлагаемый аппарат или отказаться от него. Принципиальные ошибки, допущенные на этих стадиях, порой нельзя обнаружить в последующем проектировании; они могут проявиться слишком поздно — во время испытаний или опытной эксплуатации аппарата, когда устранить ошибки трудно или даже невозможно.

Предположим, что для заказчика требуется универсальный глубоководный аппарат, способный выполнять в любом районе Мирового океана на глубинах до 5000 м следующие задачи: осуществлять геологические, биологические и общие океанографические исследования; наблюдать за подводными сооружениями и выполнять простейшие ремонтные операции; проводить работы, связанные с подъемом затонувших объектов, судов, аппаратов и т. п.

Получив от заказчика такие требования, проектант в первую очередь должен ответить на следующие вопросы: существуют ли в мире аналогичные аппараты; имеется ли научно-исследовательское и рабочее оборудование, обеспечивающее выполнение

перечисленных выше задач; можно ли построить такой аппарат, и если можно, то каковы будут срок готовности и стоимость заказываемого аппарата.

Чтобы ответить на эти вопросы и разработать техническое задание, проектировщику необходимо выполнить определенные исследовательские и поисковые работы, включающие: сбор и обработку информации о существующих аппаратах заданного типа; анализ тенденций развития аппаратов, аналогичных прототипу к проектированию; исследование опыта эксплуатации аппаратов, аналогичных по назначению; изучение возможности разработки и получения в заданные сроки материалов, оборудования и приборов, не поставляемых промышленностью; установление всех предприятий — участников создания аппарата — с их подтверждением возможности выполнения работ; определение степени достоверности наличия и сроков поставки всех изделий и материалов, необходимых для постройки аппарата к назначенному сроку; разработку методов использования и условий эксплуатации аппарата совместно с судном-носителем; предварительное определение стоимости постройки и эксплуатации аппарата; определение ожидаемой экономической эффективности проектируемого комплекса.

При выполнении перечисленных исследований и разработке технического задания проектировщик обязан продумывать все вопросы, касающиеся конструкции, строительства и эксплуатации подводного аппарата. В этот период возникают специфические задачи и проблемы, для решения которых привлекаются эксперты из специализированных институтов и предприятий. В решении вопросов эксплуатации и экономической эффективности принимают участие специалисты заказчика и других предприятий, компетентных в подводных работах.

На ранних стадиях проектирования подводный аппарат следует рассматривать как некую целостную систему, состоящую из собственных подсистем (главных элементов) и действующую совместно с судном-базой во флотилие конкретного министерства или ведомства. До сдачи в эксплуатацию аппарат проектируется и строится в системе конкретных организаций и предприятий, связанных договорами обязательствами с проектантом и заводом-строителем. Знание всех учреждений и предприятий, а также взаимоотношений между ними является необходимым условием для организации нормального хода проектирования, своевременного рассмотрения и утверждения конструкторской документации, ее согласования с предприятиями-изготовителями.

Подробное исследование всех обстоятельств и согласование технических вопросов на разных стадиях проектирования сокращают вероятность ошибочных решений или возникающих непредвиденных осложнений и ситуаций на более поздних этапах проектирования, при постройке, испытаниях или эксплуа-

тации подводного аппарата. На стадии разработки технического задания и технического предложения необходимо исследовать взаимосвязи и зависимости, существующие между характеристиками и элементами аппарата, его взаимодействия с судном-носителем, подводными объектами. И, наконец, следует помнить, что эффективное использование создаваемого аппарата будет возможным только при своевременной подготовке обслуживающего персонала и экипажа.

В связи с этим в процессе проектирования возникает множество задач и вопросов, требующих разрешения и согласования в определенной последовательности. Поскольку между всеми перечисленными факторами существуют устойчивые связи и отношения, сам процесс проектирования развивается по общепринятым законам логики, когда правильность принятого решения подтверждается ранее установленной и проверенной истиной, а выбор наилучшего решения определяется сравнением, анализом и обобщением нескольких возможных вариантов.

Так, например, желая начать проектирование и выбрать тип аппарата, не зная его назначения и глубины погружения. Знание работ, выполняемых с помощью аппарата, является необходимым условием для определения состава и массы рабочего оборудования, установления численности экипажа.

Не определив скорости аппарата, нельзя рассчитать массу аппарата, поскольку она в значительной мере зависит от энергетической установки.

В процессе определения характеристик и элементов всегда возникают противоречия, которые разрешаются путем сравнения нескольких вариантов и обоснованного решения в пользу наилучшего из них. Среди множества возможных решений конструктор должен находить наиболее рациональное, учитывающее общий замысел проекта, основные требования технического задания, стоимость и срок постройки аппарата. Конструкторы должны мысленно представлять создаваемый аппарат «в сборе» и все его элементы в отдельности, а также их взаимодействие. Руководители должны знать последовательность и организацию проектирования и строительства аппарата, предвидеть возможные трудности и противоречия, находить пути их преодоления.

Главный конструктор проекта несет ответственность за общую техническую политику и решает принципиальные вопросы. Второстепенные задачи, связанные с узкой специализацией со специализированными отделами и предприятиями-контрагентами, решают заместители главного конструктора и старшие инженеры.

Желание проектанта создать ультрасовременный аппарат, опережающий лучшие современные образцы, ограничивается сроком изготовления, стоимостью и существующим уровнем тех-

нии, в том числе поставляемыми промышленностью материалами, энергетическими установками, оборудованием, приборами и даже психофизиологически возможностям экипажа. Чем выше требования заказчика к характеристикам и свойствам аппарата, тем больше срок требуется для изготовления нового оборудования, тем выше стоимость аппарата.

После выполнения необходимых исследований и получения от заказчика исходных данных проектировщик приступает к определению основных характеристик.

Назначение аппарата позволяет установить его тип, комплектацию и массу рабочего груза, а также ориентировочно определить состав экипажа.

Рабочая нагрузка влияет на выбор типа аппарата и формы его эксплуатации, предопределяет тип судна-базы, его водоизмещение и автономность плавания.

С самого начала проектирования аппарат следует рассматривать как неотъемлемую часть судна-базы, необходимого для транспортировки и обслуживания аппарата. Отграничение массы и соответственно главных размеров подводного аппарата обычно обуславливается желанием заказчика применять уже созданные спуско-подъемное устройство и судно-базу минимально необходимого водоизмещения, что способствует сокращению эксплуатационных расходов. Малые масса и габариты аппарата облегчают также его транспортировку воздушным, железнодорожным и автомобильным транспортом.

Глубина погружения влияет на выбор типа и схемы общего распределения, а также на некоторые главные элементы конструкции подводного аппарата.

Определение состава и массы рабочего груза, а также получение взаимперечисленных данных дает возможность выбрать наиболее целесообразный аппарат в соответствии с принятой классификацией (см. § 2). При этом главным критерием выбора должна быть наибольшая экономическая эффективность выполняемых предусмотренных подводных работ.

Для предварительного определения основных характеристик следует обратиться к табл. 2.1, рекомендациям первой главы и проанализировать характеристики и тенденции развития новейших и перспективных аппаратов. Необходимо иметь в виду, что каждый конструктор построенного аппарата стремился создать его с наиболее высокими техническими, эксплуатационными и экономическими показателями, а практическое использование установило его хорошие качества и недостатки. Поэтому анализ исследований, характеристик и конструкции существующих аппаратов помогает проектировщику принимать более правильные технические решения.

Полезно также иметь в виду зависимость массы аппарата от размеров отдельных его характеристик, приведенных на рис. 5.3—5.8. Как видно из графиков, масса аппарата, расту-

щая с увеличением любой из его основных характеристик, может быть снижена в процессе проектирования и/или за счет уменьшения значений некоторых характеристик или выбора высококачественных материалов, оборудования и более рациональных технических решений. Масса рабочего груза обуславливается назначением аппарата и составом научно-исследовательского оборудования или манипуляторных устройств и инструментов. Рабочее оборудование как самостоятельный раздел нагрузки практически не зависит от изменения других характеристик аппарата и определяется по формуле (4.67) в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 2.1.

При выборе состава команды, автономности аппарата по запасам энергии и диаметра прочного корпуса следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в главах 3—4.

Назначение аппарата определяет состав научно-исследовательского оборудования и число членов экипажа. Рабочий или исследовательский аппарат узкоцелевого назначения, например для монтажа или осмотра подводных сооружений, поиска и взлома затонувших предметов, наблюдения за работой орудий лова и тому подобного, обычно строит двухместным. На универсальных аппаратах многоцелевого назначения команда состоит из трех человек и более. К ним относятся рабочие аппараты, доставляющие к месту работы не только оператора, но и группу водолазов, находящихся в режиме насыщения под внешним давлением, а также исследовательские аппараты или лаборатории, предназначенные для комплексных одновременных подводных исследований.

Состав команды можно сократить, оснатив автономные самодельные аппараты автоматической системой управления и контроля, что позволит одному человеку управлять движением аппарата и поддерживать связь с судном-базой, в то время как другие члены экипажа будут иметь самостоятельную нагрузку, т. е. станут исследователями, операторами или любыми другими специалистами, выполняющими конкретную работу.

В предыдущей главе было установлено, что масса аппарата значительно растет с увеличением скорости и диаметра прочного корпуса (см. рис. 5.3—5.5), поэтому при определении этих характеристик (в зависимости от назначения и глубины погружения аппарата) следует проявлять осторожность и не забывать их числовые значения по сравнению с аналогичными характеристиками прототипов.

Большая скорость нужна для переходов из одного района в другой, для доставки грузов или людей на заданную глубину, для движения за подвижными объектами. Для исследовательских, рабочих и спасательных аппаратов, транспортируемых судном-базой, скорость и автономность ограничиваются.

Для исследований и наблюдений достаточна скорость 0,77 м/с, а для выполнения работных и спасательных операций —

не более 0,28 м/с. Желательно, чтобы аппараты, транспортируемые в районы погружения на борту судна-базы, имели возможность быстро погружаться и всплывать, что позволяет сократить непроизводительное подводное время, особенно при работах на больших глубинах.

На современных аппаратах в качестве источника энергии в основном применяются аккумуляторные батареи, малая энергоёмкость которых не позволяет обеспечить большую скорость и автономность подводного плавания. Поэтому большинство аппаратов рассматриваемого типа имеет максимальную скорость 1,54—2,05 м/с при автономности полного хода не более 10 ч.

При выборе диаметра прочного корпуса такелодных подводных аппаратов, движущихся со скоростью 1,05—1,54 м/с, к которым относится большинство научно-исследовательских и рабочих аппаратов, предпочтительнее следует отдавать удобство работы экипажа и размещения приборов. Поэтому у этих аппаратов диаметр прочного корпуса принимают разным 2 м и более. Для аппаратов, движущихся со скоростью 2,57—5,14 м/с, диаметр прочного корпуса выбирает минимально необходимым по условиям размещения экипажа и оборудования.

Автономность по объёму энергии принимается с учётом возможного использования аппарата в режиме длительных наблюдений, исследований или работ, не требующих больших затрат электроэнергии, а также на случай аварийной ситуации. Обычно эта автономность принимается равной 3—4 сут.

В результате рассмотрения существующих прототипов и анализа их эксплуатации мы можем получить заданные ($H_{\text{пр}}, \sigma_{\text{пр}}, \rho_{\text{пр}}$ и иногда μ) и выбравшие ($\rho_{\text{в}}, d, v, \gamma_{\text{в}}, \gamma_{\text{д}}$) характеристики и по приближённым формулам, приведенным в главах 3—5, рассчитать массу и плавучесть аппарата.

При определении основных характеристик и совместности их с требованиями технического задания можно придерживаться такой последовательности выполнения работ:

- получение от заказчика исходных данных: назначения подводного аппарата, района работ, глубины погружения;
- выбор типа аппарата по рекомендациям главы 1;
- предварительное определение массы полезного груза, состава экипажа, проектировочной скорости и автономности по запасам энергии и объёмности (в зависимости от назначения и типа аппарата);
- выбор диаметра прочного корпуса (в зависимости от размещения экипажа, оборудования, глубины погружения и скорости);
- определение, согласно табл. 4.14, числовых значений расчетных коэффициентов, соответствующих выбранным материалам и оборудованию;
- выполнение приближённого расчета массы, водоизмещаю-

щего объёма и плавучести аппарата по упрощённым формулам (5.9), (5.16) и (5.28) в соответствии с рекомендациями главы 5.

Уточнение масс и объёмов по формулам для отдельных элементов конструируемого аппарата, решение уравнения плавучести по формулам, приведенным в главах 2—5, и в соответствии с примером расчета (см. § 32);

выполнение графических работ и расчетов по требованию заказчика и по решению проектировщика, а также составление и оформление текстовых материалов и чертежей.

Приведённые в книге рекомендации и аналитические соотношения можно также использовать для сравнительной оценки оптимальности проектируемого или существующего аппарата, а также для решения следующих задач: определения неизвестных характеристик при заданной массе аппарата, рабочей глубине погружения, массе рабочего оборудования и составе экипажа; определения максимально возможной автономности по запасам энергии, в режиме хода с расчетной скоростью при заданных массе аппарата, его рабочей грузе и скорости; установления максимально возможной глубины погружения при лимитированных массе аппарата, его скорости и автономности по запасам энергии и объёмности; выполнения приближённых расчетов для определения совместности характеристик и возможности проектирования аппарата по конкретному техническому заданию; проверки возможности создания аппарата с предполагаемыми характеристиками; предварительного расчета массы отдельных конструктивных элементов при заданных характеристиках и решении других частных задач, возникающих при проектировании подводного аппарата.

Вообразившись к универсальному глубоководному аппарату, принятому в качестве примера для технического задания, и пользуясь вышеизложенными рекомендациями, устанавливаем следующее:

глубоководного аппарата, аналогичного заказанному, не существует;

объёмный автономный самоходный аппарат является наиболее эффективным средством для выполнения работ, указанных в техническом задании;

производительность составляет часть научно-исследовательского оборудования, необходимого для комплектации аппарата;

специфические особенности аппарата требуют разработки нового специнженерного оборудования, а именно: стереофотокамеры, манипулятора, комплекта подводных инструментов, геофизических приборов, гидроакустических средств наблюдения.

Пользуясь рекомендациями § 21, определяем ориентировочную массу рабочего оборудования.

Как уже было сказано, до определения других исходных характеристик должны быть установлены назначение аппарата и его рабочая глубина погружения. Пользуясь рекомендациями,

численность экипажа в исследовательском режиме установив 3 человека, а в рабочем — 2 человека. При заданной глубине погружения 5000 м, с учетом ограничений массы и рекомендаций, изложенных в главе 3, назначим для приближенных расчетов диаметр прочного корпуса равным 1,8 м.

Не принимая во внимание возможные подводные течения, которые должны измеряться с судна-базы перед каждым погружением, определим максимальную скорость около 2 м/с, автономность по запасам энергии при данной скорости 10 ч и автономность по обитаемости 3 сут.

Таким образом, мы получили первоначальные значения основных характеристик подводного аппарата для последующего их уточнения на стадиях разработки технического задания и технического предложения:

Рабочая глубина, м	5000
Масса аппарата, кг	Не более 30 000
Скорость плавания (расчетная), м/с	2,41
Автономность по запасам энергии при заданной скорости, ч	10
Автономность по обитаемости, сут	3
Масса рабочего груза для научно-исследовательского аппарата, кг	1500
То же для спасательного аппарата, кг	850
Число человек экипажа	3
Диаметр прочного корпуса, м	1,8

Все остальные основные и дополнительные характеристики аппарата определяются расчетами и графическими проработками на последующих стадиях проектирования.

Казалось бы, на этом можно закончить разработку технического задания и ограничиться составлением только текстовых материалов с подробным изложением требований и пожеланий заказчика. Однако составитель технического задания, который часто проектирует подводные аппараты, всегда хочет убедиться в правильности полученных характеристик и адекватности требований задания. Поэтому, используя приближенные методы расчета, эскизные прорисовки (общего расположения, теоретического чертежа, принципиальных схем и отдельных конструктивных узлов), а также выполняя другие проработки, иногда в объеме эскизного проекта, конструкторы проверяют совместимость всех требований технического задания и оформляют конструкторскую документацию.

Согласованное и утвержденное руководством техническое задание служит основой для дальнейшего проектирования: разработки технического предложения, эскизного и технического проектов и соответствия с рекомендациями, изложенными в § 4 и 5 (рис. 6.1).

По мере уточнения массогабаритных и энергетических характеристик, видов оборудования аппарата на стадиях эскизного

и технического проектов проводят более точные расчеты нагрузки масс, плавучести, устойчивости и мощности энергетической установки (с подробным определением энергоемкости каждого потребителя энергии на всех режимах работы подводного аппарата), а также уточняют дополнительные характеристики.

Одной из особенностей проектирования подводного аппарата является расчет востановимой плавучести объема, который определяется объемами прочного корпуса, заборного оборудования и поплавков, уравновешивающих отрицательную остаточную плавучесть. У подводных аппаратов положительную плавучесть обеспечивает поплавками или легковесным заполнителем.

Для регулирования плавучести предусматривается специальная система, сохраняющая заданную плавучесть при эксплуатации аппарата в любом районе Мирового океана с различной плотностью воды. Кроме системы регулирования плавучести перед погружением, аппарат за счет съёмного балласта должен иметь систему точного регулирования плавучести в диапазоне ее изменения в предполагаемых районах погружения.

Изменение давления, солёности и температуры воды приводит к изменению ее плотности и, следовательно, плавучести аппарата. Из формулы остаточной плавучести

$$\Delta q = \rho V - \pi \quad (6.1)$$

видно, что в случае постоянства массы аппарата его остаточная плавучесть является функцией двух величин

$$\Delta q = f(p, V).$$

Общее изменение остаточной плавучести складывается из следующих факторов: влияния давления, температуры и солёности воды на ее плотность; объёмной деформации заборного оборудования и заполнителей заборными давлениями; температурными деформациями корпуса; влиянием температуры на объём заполнителя.

Расчет остаточной плавучести позволяет установить количество балласта — съёмного для вывески аппарата на месте погружения и переменного, сбрасываемого по мере погружения глубоководного аппарата, а также диапазон регулирования плавучести уравнительной системой.

При определении массы и плавучего объема решают задачу первоначальной удифферентовки, которая сводится к такому распределению масс и плавучих объемов, при котором центр массы G оказывается в диаметральной плоскости на одной вертикали с центром величины S , а центр величины возмущается над центром массы на заданную метacentрическую высоту при подводном положении аппарата. Последняя у современных аппаратов составляет 0,05—0,2 м, причем при аварийном всплытии (без балласта) метacentрическая высота остается положительной.

СХЕМА РАЗРАБОТКИ
Техническое

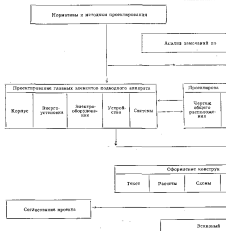


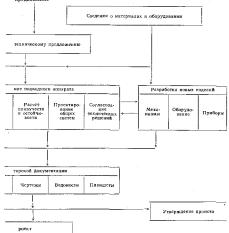
Рис. 6.1. Схема разработки

Удифференцированный аппарат должен отвечать равенству моментов масс и вращающих объемов.

Положение центра масс определяется уравнением вида

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{1}{m} \sum m_i x_{0i} \\ y_0 &= \frac{1}{m} \sum m_i y_{0i} \\ z_0 &= \frac{1}{m} \sum m_i z_{0i} \end{aligned} \quad (6.2)$$

ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА
предложения



бланк эскизного проекта

где x_0, y_0, z_0 — координаты центра масс аппарата; x_{0i}, y_{0i}, z_{0i} — координаты центров масс отдельных грузов.

Положение центра вращающих объемов определяется уравнением

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{1}{V} \sum V_i x_{ci} \\ y_c &= \frac{1}{V} \sum V_i y_{ci} \\ z_c &= \frac{1}{V} \sum V_i z_{ci} \end{aligned} \quad (6.3)$$

где x_0, y_0, z_0 — координаты центра величины аппарата; x_{01}, y_{01}, z_{01} — координаты центров величины отдельных плавучих объемов.

Координаты центра масс и центра величины отсчитываются в системе координат, приведенной на рис. 2.3.

Остойчивость, являющаяся одним из признаков морозодных качеств аппарата, характеризует способность аппарата, введенного внешними силами в положение равновесия, возвращаться снова в положение равновесия после прекращения действия этих сил. Установление зависимости устойчивости аппарата от его конструкции, а также обеспечения необходимой устойчивости в зависимости от назначения и типа аппарата входят в круг основных задач проектирования.

Остойчивость подводного аппарата в надводном и подводном положениях имеет различную физическую природу. В надводном положении устойчивость аппарата не отличается от устойчивости надводного судна. В этом случае восстанавливающие моменты при малых наклонах определяются метацентрическими формулами поперечной и продольной устойчивости:

$$m = D(\rho - \sigma) \sin \theta; \quad (6.4)$$

$$M = D(R - \sigma) \sin \varphi, \quad (6.5)$$

где ρ и R — соответственно поперечные и продольные метацентрические радиусы (с учетом поправки на свободные поверхности жидкостей в цистернах); $\rho - \sigma = h$ и $R - \sigma = H$ — поперечная и продольная метацентрические высоты; $\sigma = z_0 - z_c$ — возмущающая центра тяжести над центром величины.

Остойчивость на больших углах крена определяется диаграммой статической устойчивости.

В подводном положении из-за отсутствия действующей вертикальной метацентрической радиусы равны нулю и формулы начальной устойчивости запишутся в виде

$$m = Dh \sin \theta; \quad (6.6)$$

$$M = DH \sin \varphi, \quad (6.7)$$

где h и H — метацентрические высоты с учетом поправки на свободные поверхности жидкостей в цистернах.

Для аппарата в подводном положении поправки на свободные поверхности жидкостей в цистернах для h и H практически являются величинами одного порядка, поэтому можно считать, что $h = H$.

Метацентрическая высота в подводном положении вычисляется по формуле

$$H = h - z_c - z_0, \quad (6.8)$$

где z_c — ордината центра тяжести плавучего объема аппарата в подводном положении.

Центр величины аппарата находится практически вблизи его продольной оси, так как сечения пророчных корпусов аппаратов, как правило, имеют круговые формы, а выступающие части обычно симметричны. Поэтому увеличение устойчивости аппарата может быть достигнуто только за счет понижения его центра тяжести, расположением наиболее тяжелого оборудования возможно ближе к основной лане. Разность возмущающей и продольной метацентрических высот говорит о том, что аппарат одинаково чувствителен к действию кренящих и дифференцирующих моментов.

На больших углах крена в подводном положении величина статической устойчивости определяется только значением устойчивости массы: $i = k \sin \theta$ (при расчете в первом приближении илином поправках на свободные поверхности жидкостей в цистернах можно пренебречь). Отсюда очевидно, что диаграмма статической устойчивости в подводном положении будет иметь вид сигнотиды как для креновой, так и для продольной устойчивости. Максимальные значения восстанавливающего момента будут иметь место при угле крена или дифферента аппарата в 90° .

Особое внимание при проектировании аппарата следует уделять оценке устойчивости при погружении и всплытии. Как известно, центр массы, центр величины и метацентр с увеличением осадки изменяют свое положение, что приводит к изменению метацентрической высоты. В момент, когда метацентр и центр величины совпадают, резко уменьшается метацентрическая высота, которая может стать даже отрицательной, что для аппарата недопустимо, так как процесс погружения происходит достаточно медленно. Для оценки устойчивости при погружении и всплытии рекомендуется строить соответствующие диаграммы.

При проектировании необходимо также учитывать влияние на устойчивость специфических условий эксплуатации аппарата. Так, при опускании на грунт его устойчивость изменяется.

Необходимо также оценивать изменение устойчивости в случае сброса аварийного твердого балласта при аварийном всплытии. Масса сбрасываемого балласта должна быть такой, чтобы метацентрическая высота на всех этапах всплытия имела достаточное положительное значение.

При разработке технического задания на проектирование в качестве критерия устойчивости обычно задается минимальное значение метацентрической высоты в надводном и подводном положениях аппарата. В этом случае необходимо учитывать, что размер метацентрической высоты влияет на многие качества аппарата. Например, увеличение метацентрической высоты в подводном положении увеличивает устойчивость даже

ния аппарата, но затрудняет управление им на малых скоростях хода. Большая поперечная метacentрическая высота на поверхности приводит к резкой, порывистой качке, которая отрицательно влияет на самочувствие экипажа. Малая метacentрическая высота может вызвать недопустимый крен и дифферент при значительных возмущающих моментах (например, при изменении положения экипажа малотоннажного аппарата водоизмещением 3000—5000 кг).

Устанавливая минимальную метacentрическую высоту, необходимо учитывать также и тип проектируемого аппарата. Так, для полностью автономного аппарата (подводного судна), совершающего самостоятельные длительные подводные переходы в район подводных исследований при неограниченной балластиности моря, поперечная метacentрическая высота должна быть не менее 0,35 м. Для аппарата, доставляемого к месту исследований или работ на борту судна-базы, поперечная метacentрическая высота в надводном положении может быть уменьшена, поскольку такой аппарат может эксплуатироваться при волнении моря не более 4 баллов.

Окончательные расчеты прочности, статических и динамических качеств подводного аппарата, мощности нагрузки электростанции выполняются на стадии технического проекта, когда уже выбрано все оборудование и окончательно приняты все технические решения. На этой стадии оформляется вся конструкторская документация, необходимая для подготовки строительства аппарата и разработки рабочих чертежей.

Оформляется спецификация, которая после согласования и утверждения в установленном порядке превращается в основной договорной документ.

Как указывалось выше, при проектировании опытного аппарата приходится разрабатывать уникальные изделия и приборы, новые материалы или отдельные системы и узлы. Ввиду этого на стадии выполнения технического предложения или эскизного проекта разрабатывают технические задания на изготовление нового вида изделия и заключают договор с фирмой-поставщиком. Новое изделие, как правило, требует выполнения большого объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а создается в количестве одного или двух образцов, поэтому стоимость такого изделия значительно выше аналогичного серийного образца.

В техническое задание на разработку нового изделия устанавливают его принципиальную конструкцию, схему, массогабаритные характеристики, энергоёмкость, объем поставки. Предварительные характеристики обычно используют на стадии разработки технического предложения или эскизного проекта аппарата. При выполнении технического проекта требуются более точные характеристики, поэтому в качестве исходной документации на этой стадии служат только технические условия на по-

ставку изделий. Сроки поставки вновь разрабатываемых изделий не должны быть преждевременными или запаздывающими. Поставка изделия необходима ко времени его монтажа на аппарате.

§ 29. Выбор элементов и конструктивной схемы

Вместе с определением основных характеристик на ранних стадиях проектирования выбирают элементы и конструктивную схему — общее расположение оборудования подводного аппарата.

Как и каждое автономное транспортное средство, обитаемый аппарат обладает цельностью; все его отдельные элементы (части) служат достижению единой цели — погружению людей на определенную глубину и выполнению в ограниченном районе океана заданных работ. В начале проектирования мы еще не знаем всех внешних воздействий на аппарат, которые могут возникнуть при выполнении им функциональных задач, мы также не знаем, каким образом и какими техническими средствами могут выполняться эти задачи. Выяснение этих вопросов является одной из важнейших проблем ранней стадии проектирования.

Выбранные элементы и схема должны обеспечивать все заданные свойства аппарата. Свойствами аппарата называют то, что ему присуще, что отличает его от других подводных транспортных средств или делает его похожим на них. Подводный аппарат обладает множеством свойств, проявляющихся во время взаимодействия с окружающей средой.

Свойства делятся на основные, без которых аппарат не может существовать и действовать, и дополнительные. К основным свойствам, в частности, относятся: масса и объем аппарата, определяющие его главные размеры; способность за счет собственного источника энергии и при помощи движительных комплексов перемещаться в толще воды и с помощью специальных устройств выполнять заданные работы; поддерживать связь с судном-базой, взаимодействовать с окружающей средой и подводными объектами. К дополнительными свойствами относятся: способность погружаться вместе с экипажем на рабочую глубину и находиться там заданное время, двигаться на поверхности, транспортировать в заданную точку гидросферой рабочий груз и многое другое. Предельные значения некоторых существенных свойств, выраженных числовыми показателями, называют основными характеристиками, которые в совокупности выражают количественную и качественную определенность аппарата.

В техническом задании приводят описание свойств аппарата и указывают требования, предъявляемые к отдельным эле-

ментам конструкции, но не дают рекомендаций проектирову, каким образом обеспечить эти свойства и выполнять все требования технического задания, тем самым не связывая творческую инициативу и изобретательность конструкторов.

При выборе элементов и конструктивной схемы аппарата необходимо учитывать все свойства и возможные воздействия гидросферы Мариового океана, где предстоит работать проектируемому аппарату.

Общие сведения о свойствах Мариового океана приведены в главе первой. В процессе проектирования могут потребоваться и другие, более подробные сведения, которые можно почерпнуть в специальной литературе. И все же сведений, содержащихся в океанографической литературе, порой недостаточно для разрешения задач, возникающих при проектировании новейших видов подводной техники. Отсутствие достоверных сведений о подводных, в том числе вертикальных, течениях, глубоководных слоях скачка плотности, состоянии грунта, грязных бурях, затопляющих судах и тому подобное, явилось причиной аварий подводных аппаратов, сопровождавшихся человеческими жертвами.

Поэтому конструкторы аппарата должны знать новейшую информацию о свойствах глубин и структуре океанского дна, изучить опыт использования аппаратов, тщательно исследовать результаты испытаний и причины выявленных недостатков, анализировать отказы оборудования и аварий подводных аппаратов. Эти знания помогают конструкторам представлять взаимодействие всех устройств проектируемого аппарата с окружающей средой в различных, даже маловероятных, ситуациях, а также определять свойства аппарата, необходимые для выполнения под водой заданных исследований или рабочих операций.

Изучение опыта использования аппаратов помогает определять пути совершенствования их конструкции и улучшения технической эксплуатации, а также выявлять закономерности и тенденции развития подводных аппаратов. Результаты этих исследований служат основой для выработки рекомендаций по перспективному развитию новых аппаратов.

Для успешного проектирования необходимо также знать тенденции развития конструктивных материалов, энергетических установок, устройств, систем и других видов оборудования.

Все элементы конструкции аппарата должны рассчитываться на максимально возможные по силе и времени воздействия внешней среды и обладать надежностью, регламентированной действующими нормами. Все конструкции должны выполнять предназначенные им функции, противостоять опасным свойствам среды (давлению, проникновению и коррозионности морской воды), гарантировать безопасность погружений и выполнение подводных работ.

Выбор элементов и прогноз конструктивной схемы (общего расположения) аппарата составляют единый творческий процесс, но окончательное выполнение чертежа общего расположения возможно только после получения всех конструктивных, массогабаритных данных об элементах и установления количественных и качественных взаимосвязей между ними (рис. 6.2).

При выборе элементов, конструкции и материалов рекомендуется придерживаться порядка и очередности, изложенных в главах 2—4, а также пользоваться соответствующими справочниками и технической литературой.

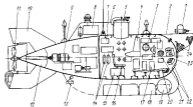


Рис. 6.2. Общее расположение элементов аппарата ТИПРО-2

1 — гидростатический якорь; 2 — носовой обтекатель; 3 — крыло датчиков ориентации; 4 — датчик глубины; 5 — ступень управления; 6 — корпусная ракета; 7 — обтекатель выхлопа; 8 — барометр; 9 — датчик давления; 10 — стабилизатор; 11 — якорь в опорной точке; 12 — корпусная дифференциальная система; 13 — интеркалляр; 14 — выхлоп ДВС; 15 — компрессор; 16 — корпусная дифференциальная система; 17 — клапан КВД; 18 — аккумуляторная батарея; 19 — клапан дифференциальной системы; 20 — якорь обтекания; 21 — датчик температуры; 22 — датчик скорости; 23 — датчик глубины

Тип и конструкция главных элементов зависит от основных характеристик аппарата. Как уже было сказано ранее, рабочая глубина погружения определяет форму и массу прочного корпуса, внешних контейнеров и цистерн, количество балласта, а также тип системы регулирования плавучести.

Прочный корпус аппарата с глубиной погружения до 300 м можно выполнить в виде удлиненного цилиндра с коническими концевыми обечайками, используя прозрачные полусферические колпаки для наблюдений за окружающей средой. Материалом для изготовления передней полусферы или всего корпуса может служить стекло.

Объем и габариты прочного корпуса должны обеспечивать удобное обслуживание оборудования. Через прочный корпус

аппарата с глубиной погружения до 600 м опускается проход труб и подвальных палов с соответствующими уплотнениями.

Для аппаратов с глубиной погружения свыше 600 м рекомендуется выбирать сферические и цилиндрические прочные корпуса, а для глубин более 2000 м — сферические и комбинированные прочные корпуса, состоящие из нескольких сварных вместе сфер.

С глубиной растет опасность прорыва воды внутрь прочного корпуса, поэтому стараются не допускать прохода труб и подвальных валов через обшивку прочного корпуса подводных аппаратов, предназначенных для выполнения исследований и работ на средних и больших глубинах.

С целью уменьшения массы глубоководного аппарата прочный корпус следует изготовлять из материала с высокой удельной прочностью и применять станочную обработку, обеспечивающую точность геометрической формы корпуса. Снижение массы аппарата достигается также сокращением объема прочного корпуса и высоким качеством оборудования, например энергетической установки, за бортом.

Для защитывнезапного обрушения и придания аппарату удобообтекаемой формы устанавливают легкий корпус, который выбирают согласно рекомендациям, изложенным в § 15. У аппаратов с глубиной погружения до 600 м функции легкого корпуса частично может выполнять прочный корпус цилиндрической формы с конической кормовой частью и полусферическими оконечностями. В этом случае элементы легкого корпуса служат для образования балластных цистерм, ограждения выступающих частей и придания аппарату в отдельных местах обтекаемой формы.

Глубоководные аппараты со сферическим и многосферным прочным корпусом имеют более развитый легкий корпус, закрывающий все забортное оборудование и обеспечивающий аппарату удобообтекаемую форму.

В качестве энергетической установки большинства аппаратов служат аккумуляторы, размещаемые за пределами прочного корпуса. Для быстротходных аппаратов в случае необходимости уменьшения их массы применяют источники энергии с высокой удельной энергоемкостью, а частности серебряно-цинковые аккумуляторные батареи, расположенные внутри прочного корпуса или в контейнерах.

На аппаратах (подводных судах) с большой автономностью устанавливают дизель-генераторы с аккумуляторами. Масса такой энергетической установки довольно большая, поэтому ее размещают внутри прочного корпуса или в отдельных контейнерах. При наличии дальной или мощной дизель-генераторной установки с аккумуляторами общее расположение аппарата становится аналогичным общему расположению подводной лодки.

Одновременно с энергетической установкой выбирают электрооборудование: преобразователи, аэскродвигатели, распределительные щиты и тому подобное в соответствии с указаниями § 17.

На конструктивную схему подводного аппарата оказывает большое влияние тип и место расположения двигателей. Основным типом ходового двигателя продолжает оставаться гребной винт в насадке, устанавливаемый в корме.

При малой скорости руле недостаточен эффективным, поэтому для вертикального перемещения и обеспечения высокой маневренности аппарата применяют маневренные движители и подруливающие устройства. Вместо гребных винтов на некоторых подводных аппаратах используют экспериментальные водозетные, реактивные и крылатые движители, а для передвижения аппарата во дку в некоторых случаях устанавливают колеса или гусеницы.

При проектировании аппаратов со скоростью движения свыше 2,57 м/с все технические решения подчиняют достижению заданной скорости. С этой целью исключают выступающие части, выдвигаемые устройства приют в линию, закрывая их, как на самолете, щитами, применяют наиболее эффективный скоростной движительный комплекс. Для увеличения общего пропульсивного коэффициента аппарату придают удлиненную торпедообразную форму.

При разработке чертежа общего расположения выбирают тип и место установки забортных устройств: рулевого, жорногидрового, гидравлических и электрических переключателей, буксирного, швартовного, аварийно-спасательного и др. Выбирают также механизмы и оборудование, предназначенные для работы в составе устройств и общесудовых систем (балластные, ВВД, дифферентной, плавучести), проектируют принципиальные схемы систем и конструктивно устройства, руководствуясь рекомендациями § 18 и 19, а также специальной технической литературой.

В соответствии с типом проектируемого аппарата и данными табл. 4.12 выбирают элементы средств управления движением, навигации и связи, разрабатывают принципиальные блок-схемы и определяют место установки элементов перечисленных систем внутри и снаружи прочного корпуса.

На подводных аппаратах с автономностью по запасам энергии 6—10 ч, как правило, предусматривают удобные кресла самолетного типа, обеспечивающие кратковременный отдых экипажа. Устанавливают упрощенный санузел, шкафы и емкости для хранения запаса провизии и вещества для регенерации воздуха на 3—4 сут. На аппаратах с многодневной подводной автономностью предусматривают двух- или трехместную ванну, спальные места, соответствующие вещества для регенерации воздуха и запасы провизии, пищевой блок, систему кондициониро-

вания воздуха, сагузель и другие системы длительного жизнеобеспечения.

Каждый аппарат является носителем полезного груза, а состав его рабочего оборудования, специальных систем и устройств определяется назначением аппарата.

В зависимости от типа и назначения аппарата к отдельным качествам его устройства, механизмов и систем могут предъявляться специальные требования. Так, например, рабочий аппарат с манипуляторами или транспортный аппарат, стьюющийся с подводной лабораторией, должен иметь автоматическое управление двигателями комплексов, осуществляющим стабилизацию аппарата при работе манипуляторами или при стыковке с комбингом люка лаборатории. В телетическом задании может содержаться требование об автоматическом сбросе манипулятора в случае заезда, установке приборов, обеспечивающих видимость в мутной воде, об уравнительной системе с большим диапазоном регулирования плавучести и т. п.

Для нормальных условий работы в односменной глубоководной аппарате каждому члену экипажа необходим объем свободного воздуха не менее 1—1,5 м³. При этой норме и с учетом массы систем жизнеобеспечения увеличение экипажа на одного человека приводит к росту массы аппарата более чем на 2500 кг. При ограниченном водоизмещении и заданном составе экипажа определяются минимально возможный свободный объем воздуха на каждого члена экипажа, запас регенеративного вещества, воды и продуктов, а также условия работы, отдыха, санитарии и гигиены. С целью повышения мобильности и эффективности использования подводного аппарата определяется время переподготовки к очередному погружению и время смены приборов и оборудования при изменении программы исследования или работ.

К универсальным аппаратам могут быть предъявлены требования о модульном изготовлении, что позволит собирать из отдельных стандартных модулей аппараты различного назначения: научно-исследовательские, рабочие, спасательные, транспортные, туристские, для доставки на глубину водолазов в режиме насыщения.

Прорабатываются также требования к экономическим показателям: стоимости постройки и эксплуатации подводного аппарата в комплексе с судном-базой, экологической эффективности в сравнении с другими аналогичными подводными средствами.

Дополнительные требования к аппарату и выбранные элементы конструкции оказывают большое влияние на конструктивную схему аппарата, которая в последующем становится основой для разработки чертежа общего расположения.

На этапе разработки технического задания по рекомендациям глав 3—5 определяют в первом приближении массу, во-

доимещающий объем и плавучесть подводного аппарата, пользуются примером схемы практического расчета, приведенным в § 32. Результаты расчета позволяют установить дополнительные характеристики, необходимые для уточнения чертежа общего расположения и теоретического, а также для предварительной оценки удифферентовки, остойчивости и гидродинамических качеств аппарата.

При выборе элементов конструкции и схемы общего расположения аппарата можно рекомендовать следующий порядок работ: исследование свойств аппарата в условиях его взаимодействия с морской средой и подводными объектами; определение основных требований к материалам и элементам конструкции; выбор элементов конструкции согласно рекомендациям глав 3—4, обеспечивающих заданные свойства и характеристики; разработку схемы общего расположения в зависимости от назначения, характеристик и выбранных элементов аппарата; разработку принципиальных схем систем, трубопроводов, коммуникаций и определение массогабаритных и энергетических характеристик приборов, оборудования и изделий, не поставляемых промышленностью; проверку совместности характеристик и выбранных элементов, расчет мощности электродвигателя, массы, объема и плавучести аппарата, оценку его удифферентовки и остойчивости. Заключительным этапом работы является составление и оформление конструкторской документации технического задания.

Установив расчетные коэффициенты по табл. 5.1, с помощью приближенных формул (5.9), (5.16), (5.21), (5.24), (5.25), (5.28), (5.30) можно определить совместность выбранных характеристик и в случае отклонения массы аппарата от значения, указанного в исходных данных, варьировать численные значения исходных характеристик в соответствии с рекомендациями, приведенными в главах 4 и 5.

Предлагаемую методику и последовательность выбора элементов поясним на примере разработки универсального подводного аппарата, предварительные характеристики которого установлены в § 28.

Начнем с выбора прочного корпуса. Совершено очевидно, что глубина погружения и лимит массы универсального аппарата требуют изготовления прочного корпуса с максимальным коэффициентом рациональности его конструкции [см. формулу (5.35)]. Поскольку в настоящее время изготовление прочных корпусов из стеклопластиковых и других материалов с высокой удельной прочностью еще не вышло из экспериментальной стадии, прием прочный корпус минимально необходимого объема, выполненный из титанового сплава ($\sigma_t = 950 \text{ МН/м}^2$), сферической формы со станочной обработкой.

Для легкого корпуса выберем каркас из титановых трубок со сменной стеклопластиковой обшивкой.

В качестве источника энергии используем погружные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, движение и маневрирование аппарата обеспечим с помощью гребных винтов в носовых, вращаемых электродвигателями постоянного тока. Для привода зорборных механизмов выберем гидравлическую систему, а в качестве рабочего тела для дифференциальной системы примем так называемую шарожищность. Система регулирования будет состоять из эластичных емкостей и арочных клапанов с перекаткой масла. Для погружения на большие глубины используем твердый маневровый и постоянный балласт, который также будет служить в качестве аварийного. Отрацательную плавучесть уравновесим титановыми сферами. Систему навигации и связи примем по табл. 4.12, 4-я группа сложности ($\alpha_0 = 0,74$).

Определим по табл. 3.2, 3.5, 3.6, 4.1, 4.4, 4.8, 4.12, 4.14, 4.15 соответствующие коэффициенты, с помощью формул и рекомендаций глав 2—5 рассчитаем массу и плавучий объем двух вариантов аппарата:

1) рабочего и спасательного [состав экипажа 2 человека, манипуляторов 4 шт., инструментов I комплекта, средства наблюдения и кинофотосъемки, масса рабочего оборудования 850 кг (по табл. 4.15)];

2) научно-исследовательского [состав экипажа 3 человека, приборы для выполнения биологических, гидрологических и геологических исследований; средства наблюдения и кинофотосъемки; масса рабочего оборудования 1150 кг (по табл. 4.15)].

Произведя расчеты, выясним, что для первого варианта можно принять сферический прочный корпус и остроносый аппарат массой около 20 000 кг, который будет удовлетворить всем остальным требованиям технического задания. Второй вариант будет иметь цилиндрический прочный корпус с массой около 40 000 кг.

Универсальный аппарат заказывается в модульном исполнении. В этом случае из нескольких однотипных модулей могут быть собраны аппараты следующего назначения: рабочей и спасательный, научно-исследовательский, водолазный автономный; пассажирский.

В качестве энергетической установки для этих вариантов аппаратов принимаем дизель-генераторный модуль с двигателями замкнутого цикла на водородно-кислородной топливной смеси.

Научно-исследовательское оборудование модульного аппарата должно быть съёмным, что позволит быстро переподготовить аппарат при изменении режима работы.

Выбранные на стадии разработки технического задания элементы и схема общего расположения обычно берутся за основу при выполнении технического предложения. На этой и последующих стадиях проектирования продолжается уточнение конструкторской документации.

Схема общего расположения еще не дает полного представления о проектируемом аппарате и не позволяет сделать подробный расчет загрузки масс, водоизмещаемого объема, удельной мощности и устойчивости аппарата. Поэтому для осуществления этих расчетов на основе выбранных элементов, схемы расположения и полученных характеристик выполняем чертеж общего расположения, который уточнит на всех последующих стадиях проектирования. На чертеже, выполненном в трех проекциях, показывают расположение рабочих мест экипажа и оборудования, устанавливаемого внутри и вне прочного корпуса. Чертеж должен подтверждать возможность размещения выбранного оборудования, удобства его обслуживания, возможность монтажа и ремонта.

Одновременно с чертежом общего расположения на разных стадиях готовят чертеж теоретический чертеж, который позволяет определить форму элементов легкого корпуса и аппарата в целом (рис. 6.3). Теоретический чертеж уточняется на всех последующих стадиях, что дает возможность более точно рассчитать сопротивление движению, наиболее рационально разместить оборудование в межбортом пространстве и непосредственно на легком корпусе. Кроме того, чертеж позволяет проработать внешний вид аппарата, рассчитать ходовые, маневренные, устойчивые, удельные, полные водоизмещаемые и другие качества аппарата.

К разработке эскизного проекта привлекаются специализированные отделы проектного института. В результате более тщательного и подробного расчета и графических проработок уточняются ранее принятые технические решения и повышается степень достоверности исходных данных. На стадии эскизного проектирования обычно заканчиваются научные исследования предприятий-контрагентов, создающих новые материалы, системы, приборы и изделия, о которых проектировщик получает достаточно подробные данные.

Уточняется баланс энергии в различных режимах работы подводного аппарата: полный ход, погружение и всплытие, наблюдение или исследование без хода, рабочий и другие режимы, определяемые назначением аппарата.

В комплексе аппарат—судно главная роль может принадлежать как судну, так и аппарату. В первом случае судно-база предназначено для выполнения широкой программы исследований и оборудовано соответствующим комплексом промышленных и исследовательских устройств для радиолокационных океанографических приборов и инструментов, опускаемых с борта в глубины океана. Здесь подводный аппарат является составной частью поискового или научного оборудования и используется для погружения в глубины океана исследователей и научных сотрудников. Примером такого комплекса может служить судно-база типа «Одисей» с аппаратом «Север-2» на работу «Одисей»

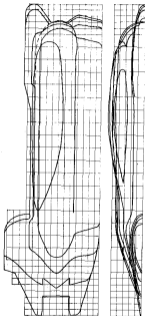


Рис. 4.3. Технический чертеж подводного аппарата

представляет собой научно-поисковое судно, основное назначение которого — поиск рыбных скоплений, а также выполнение общих океанографических и рыбохозяйственных исследований.

Экономическая эффективность комплекса первого и второго типов определяется их нагрузкой подводным исследованием и работами, т. е. находится в прямой зависимости от количества часов, проведенных под водой. К более эффективным следует отнести аппарат, состоящий из специально спроектированного судна-посадки и не менее чем двух подводных обитаемых аппаратов. При этом судно-посадка осваивается дистанционно управляемыми обитаемыми аппаратами и приборами, которые используются на переходах или в периоды переподготовки автономных аппаратов к очередному погружению.

Носителем аппарата массой до 5000 кг может служить любое судно, имеющее грузоподъемное устройство и необходимое оборудование для транспортировки и обслуживания аппарата.

На стадии эскизного проектирования обычно заканчивается разработка технического задания на проектирование или дооборудование судна-базы, а также определяется ориентировочная стоимость строительства и эксплуатации комплекса.

§ 36. Принципы расположения экипажа и оборудования

Рассмотренные в предыдущих главах конструкции аппарата свидетельствуют о большом разнообразии схем общего расположения. Большинство аппаратов ранее построенного экспериментального характера и предназначалось в основном для подводных наблюдений. Лишь в конце 60-х годов конструировались некоторые виды подводных работ и стали создаваться специализированные аппараты: спасательные, рабочие, водолазные и др.

Аппараты специального назначения отличаются от более распространенных типов (научно-исследовательских, туристских) дополнительными устройствами. Так, спасательный аппарат имеет стыковочный переходный конюс и высокие маневренные качества, пассажирские и грузовые аппараты — более емкие уравнительные и балластные цистерны, водолазные — специальный отсек и кислородную камеру и т. д. При разработке схем общего расположения специализированного аппарата все технические решения конструктор подчиняет наиболее рациональному выполнению главной задачи аппарата, мирясь с сопутствующими недостатками, например с минимальными диаметром и объемом прочного корпуса ради выигрыша в массе и скорости или, наоборот, с уменьшением скорости и увеличением массы аппарата ради удобного и просторного размещения экипажа.

Однако свойства среды и условия эксплуатации диктуют свои законы: любой аппарат должен иметь удобообитаемую форму, по возможности минимальное количество выступающих частей, наибольший аэродинамический коэффициент.

Искусство выбора элементов конструкции и разработки схемы общего расположения состоит в удовлетворении требований, обусловленных физическими законами морской среды, и в обеспечении удобства, безопасности и эффективности работы под водой.

С приобретением опыта эксплуатации и конкретизацией задач освоения Мирового океана многообразие типов аппаратов постепенно уменьшается. Унификация элементов конструкции и отбор лучших технических решений позволяют сформулировать общие принципы размещения экипажа и оборудования.

Главное назначение обитаемого аппарата — погружение человека в морские глубины для непосредственного изучения объектов или выполнения работ. В связи с этим оборудование должно быть размещено таким образом, чтобы можно было обеспечить наилучшие условия выполнения экипажем поставленных задач.

По ряду причин, о которых будет сказано ниже, рабочей зоной обитаемого аппарата является пространство вперед аппарата, поэтому кресло оператора или исследователя располагают в передней полусфере прочного корпуса. Рядом с ним желательно поместить кресло водителя, но тогда перед ним не удастся разместить кламминаторы, приборы и пульты управления, занимающие достаточно большие площади и объем. Для удовлетворения этих требований можно было бы увеличить диаметр прочного корпуса, однако это приведет к увеличению габаритов и массы аппарата, сопротивление воды его движению и другим нежелательным явлениям. Поэтому водителя, как правило, помещают позади оператора. Следует помнить, что водитель, он же командир, управляет аппаратом, участвует в исследованиях и работах, и ему необходимо обеспечить не только удобство управления и связи с судном-базой, но и свихронный с оператором обзор рабочей зоны.

На многоместных аппаратах полный состав экипажа и его размещение определяются назначением аппарата, а также объемом и формой обитаемого корпуса. В сферическом корпусе большинства аппаратов обычно размещают двух человек: водителя и оператора. Диаметр корпуса, равный 2 м и более, позволяет разместить трех человек. Для экипажа большей численности необходим цилиндрический или многосферный корпус. На спасательных и водолазных аппаратах транспортируемых людей размещают в отдельном корпусе, который соединяется с основным переходной камерой.

В сферическом корпусе все члены экипажа сидят рядом, через кламминаторы видят один и те же объекты и могут непосредственно согласовывать свои действия и обмениваться мнениями. Если члены экипажа находятся в отдельных отсеках или корпусах, то для координации их действий устанавливается переговорное устройство, теленормы и другие средства коммуникации.

Входной люк сферического корпуса располагают в верхней части, а в аппаратах с цилиндрическим прочным корпусом место установки люка зависит от общей компоновки оборудования внутри корпуса. Размещение входного люка в передней

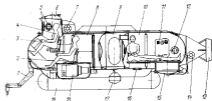


Рис. 6.4. Общее расположение обитаемого аппарата «Мерmaid-3».

1 — кламминаторы; 2 — кресло оператора; 3 — пульты управления; 4 — водители; 5 — кламминаторы; 6 — входной люк; 7 — кресло водителя; 8 — аккумуляторная батарея; 9 — приборная панель; 10 — приборная панель; 11 — приборная панель; 12 — приборная панель; 13 — приборная панель; 14 — приборная панель; 15 — приборная панель; 16 — приборная панель; 17 — приборная панель; 18 — приборная панель; 19 — приборная панель; 20 — приборная панель; 21 — приборная панель; 22 — приборная панель; 23 — приборная панель; 24 — приборная панель; 25 — приборная панель; 26 — приборная панель; 27 — приборная панель; 28 — приборная панель; 29 — приборная панель; 30 — приборная панель; 31 — приборная панель; 32 — приборная панель; 33 — приборная панель; 34 — приборная панель; 35 — приборная панель; 36 — приборная панель; 37 — приборная панель; 38 — приборная панель; 39 — приборная панель; 40 — приборная панель; 41 — приборная панель; 42 — приборная панель; 43 — приборная панель; 44 — приборная панель; 45 — приборная панель; 46 — приборная панель; 47 — приборная панель; 48 — приборная панель; 49 — приборная панель; 50 — приборная панель; 51 — приборная панель; 52 — приборная панель; 53 — приборная панель; 54 — приборная панель; 55 — приборная панель; 56 — приборная панель; 57 — приборная панель; 58 — приборная панель; 59 — приборная панель; 60 — приборная панель; 61 — приборная панель; 62 — приборная панель; 63 — приборная панель; 64 — приборная панель; 65 — приборная панель; 66 — приборная панель; 67 — приборная панель; 68 — приборная панель; 69 — приборная панель; 70 — приборная панель; 71 — приборная панель; 72 — приборная панель; 73 — приборная панель; 74 — приборная панель; 75 — приборная панель; 76 — приборная панель; 77 — приборная панель; 78 — приборная панель; 79 — приборная панель; 80 — приборная панель; 81 — приборная панель; 82 — приборная панель; 83 — приборная панель; 84 — приборная панель; 85 — приборная панель; 86 — приборная панель; 87 — приборная панель; 88 — приборная панель; 89 — приборная панель; 90 — приборная панель; 91 — приборная панель; 92 — приборная панель; 93 — приборная панель; 94 — приборная панель; 95 — приборная панель; 96 — приборная панель; 97 — приборная панель; 98 — приборная панель; 99 — приборная панель; 100 — приборная панель.

части прочного корпуса и наличие под люком развитого комингеса с кламминаторами позволяют водителю под водой наблюдать за окружающей обстановкой, а в надводном положении — за поверхностью моря. Удобство такого расположения подтверждено эксплуатацией аппаратов ТИПРО-2, «Мерmaid-3» (рис. 6.4) и др. На некоторых аппаратах («Север-3», «Альфа», батискафы) над входным люком установлены отражатели (пронцаемые рубки), а которые водители переходят после испытания для управления движением аппарата в швартовке его к судну-базе. У аппаратов, не имеющих рубки, вход и выход экипажа производится только на судне-базе. Открывать люк на поверхности или под водой (при затоплении прочного корпуса) разрешается лишь в случае аварии, когда экипаж вынужден покинуть аппарат. Для аварийного выхода после испытания на поверхность во время шторма предусматриваются

различного вида эластичные мешки, в которых экипаж попеременно поочередно работает аппарат.

Несмотря на ограниченный внутренний объем, каждому члену экипажа должно быть обеспечено удобное рабочее место, а также возможность передвижения и контроля за работой оборудования.

В обитаемом отсеке кроме приборов управления размещается оборудование жизнеобеспечения: устройство регенерации воздуха, вентиляторы, кондиционеры, приборы контроля состава воздуха. Здесь же располагаются запасы воды и пищи, медикаменты и другие средства, обеспечивающие жизнедеятельность экипажа. В кормовой части цилиндрического корпуса обычно устанавливают оборудование и приборы, не требующие непрерывного контроля и регулирования, а также приборы и механизмы с повышенной шумностью и теплонадежностью. Кормовая часть прочного корпуса иногда отделяется от жилой легкой переборкой. На некоторых аппаратах часть оборудования и приборов с дистанционным управлением и контролем устанавливается в отдельных прочных герметичных контейнерах вне обитаемого корпуса.

Экипаж находится в помещении, отгороженном от подводного мира прочной непроницаемой оболочкой. Для безопасности плавания и выполнения работ экипажу необходима информация об окружающей среде, которую он получает с помощью средств визуального и инструментального наблюдения за подводными объектами. Это прежде всего смотровые иллюминаторы, расположенные таким образом, чтобы каждый член экипажа имел возможность наблюдать забортное пространство со своего рабочего места. Углы обзора через иллюминаторы должны плавно перекрываться, не оставляя затененных участков.

Для расширения зоны наблюдения увеличивают количество и диаметр иллюминаторов. Так, у некоторых современных аппаратов размер передней иллюминаторы (служашего одновременно носовой переборкой) достигает диаметра прочного корпуса. Очевидно, что наилучший обзор забортного пространства обеспечивает корпус, целиком выполненный из прозрачного материала.

Расположение иллюминаторов и рабочих мест оператора и водителя должно обеспечивать наилучшую обзорность рабочей зоны, где во время движения аппарата или его стояния на дне проводятся основные работы. В период их выполнения водитель удерживает аппарат в наиболее удобном положении; синхронность действий водителя и оператора достигается в том случае, когда они одновременно видят подводный объект, работу манипуляторных устройств и положение аппарата. Это требование выполнено на аппаратах типа «Плаонер», «Дни вкост», «Вивер-4», имеющие достаточно большой диаметр

прочного корпуса и малогабаритные кудьты управления. На аппаратах, где водитель и оператор сидят раздельно, устанавливают выносной пульт, позволяющий оператору управлять аппаратом при движении вблизи дна или в периоды удержания его на месте в толще воды.

Расположение иллюминаторов, в свою очередь, определяет расстановку наружных светильников, освещающих забортное пространство. Для увеличения дальности видения и расширения обзорности кроме иллюминаторов и светильников в наиболее удобном для экипажа положении размещают средства инструментального наблюдения: оптические трубы, усилители видимого спектра, гидролокаторы, стереонавигационные установки. С целью обеспечения кругового обзора телевизионные трубки и дополнительные светильники устанавливают в местах, где невозможно разместить иллюминаторы, в том числе в кормовой и носовой оконечностях. Если манипуляторные устройства размещены вне рабочей зоны, например под килем или в корме, то применяют зрительные дистанционного управления, а для контроля и наблюдения используют телескопы и оптические средства (иллюминаторы, зрительные трубы).

Кроме средств, обеспечивающих зрительное восприятие забортных объектов, при плавании под водой необходимы приборы для получения дополнительной информации и решения навигационных задач, поддержания связи с судном-базой, контроля за работой систем, устройств и механизмов аппарата, а также для выполнения научных исследований.

Пульты управления, приборы контроля в научно-исследовательские комплексы грузуют по принципу заводнения и устанавливают в комплексе перед креслом соответствующего члена экипажа. На штахт в пределах видимости располагают необходимые приборы контроля, а на доступном расстоянии — рукоятки, рычаги, тумблеры и другие органы управления приборами, системами и устройствами. Пульт управления движением аппарата и работой всех судовых механизмов, систем и устройств помещают перед водителем; здесь же находятся приборы навигации и связи. Аналогичным образом перед креслом оператора или исследователя устанавливают пульта управления (и контроля) оборудования, приборами и манипуляторными устройствами, предназначенными для подводных работ и исследований.

На многоместных аппаратах работа распределяется между большим числом членов экипажа. Так, при наличии бортичника на него возлагают поддержание связи, регулировку и контроль за работой систем и механизмов. При наличии нескольких исследователей наблюдения и другие научные работы распределяются между ними по специализации. Очевидно, что наибольшую нагрузку несет экипаж двухместного аппарата, в котором на водителя и оператора (исследователя)

выполнены все работы, связанные с управлением аппаратом и приборами, а также связь с судном-базой и выполнение работ для исследований, предусмотренных программой.

С целью облегчения работы водителя и исследователей на современных аппаратах устанавливаются системы автоматического управления движением аппарата и работой отдельных устройств и приборных комплексов. За бортом на передней части корпуса, где отсутствуют помехи от работы двигателей, ставят световые, обеспечивающие наблюдение в фотоконтроль объектов в рабочей зоне, гидроакустические антенны, лаг, датчики различных эрбиров, измерители параметров морской воды, маневраторы и другие рабочие устройства. На многих аппаратах переоборудованное оборудование частично располагают над передними смотровыми иллюминаторами и закрывают общим обтекателем. Нижняя часть легкого корпуса также используется для размещения судовых систем: дифферента, уранотельной, балластной, гидравлической, а также гидрогабаритной лебедки и других механизмов и устройств. По бортам в верхней части обычно размещают балластные цистерны, антенны, вспомогательные двигатели.

Все устройства, общесудовые системы, арматуру и приводы, выходящие за пределы прочного корпуса, снабжают средствами дистанционного управления и контроля. Для дистанционного управления внешним оборудованием необходимы многочисленные кабели, проходящие через стенку прочного корпуса. От рационального размещения кабельных проходов и размеров зависит надежность работы и простота обслуживания кабельной сети. При расположении внешнего оборудования требуется учитывать удобство его монтажа и демонтажа, ремонта и обслуживания. Для этих целей в легком корпусе предусматривают специальные люки и съемные люкты.

Применение погружных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей и их использование в качестве аварийного балласта оказывают определенное влияние на компоновку всего бортового оборудования и архитектуру аппарата. Аккумуляторные батареи располагают в средней нижней части легкого корпуса, так как в этом случае при аварийном сбросе аккумуляторов не возникает опасного дифферента. Объемные аккумуляторные батареи, в том числе серебряно-цинковые, размещают в отдельных запечатанных жидких диэлектриком контейнерах. В некоторых случаях их размещают внутри прочного корпуса. Вспомогательные (аварийные) батареи размещают внутри прочного корпуса в специальных герметичных шкафах. Применение вместо аккумуляторов иных источников энергии, например тепловых двигателей, атомных установок и т. д., позволяющих увеличить подводную автономность, приводит к изменению общего расположения внешнего оборудования и формы аппарата.

Конструкция и расположение движительно-рулевого комплекса (ДРК) зависит от назначения и степени маневренности аппарата. Требования к управляемости и маневренности аппаратов общего назначения (научно-исследовательские, транспортные, туристские) удовлетворяются установкой в корме главного ходового двигателя в поворотной насадке и двух вспомогательных двигателей — по бортам в средней части. Такой состав и расположение двигателей вместе с дифферентной системой обеспечивают поступательное движение аппарата в горизонтальном, наклонном и вертикальном направлениях, поворот и удержание на курсе, создание крена и дифферента. В случае необходимости перемещения лагом на аппарате устанавливают подруливающие двигатели. На некоторых аппаратах расположение ДРК отклоняется от обычной схемы. Так, аппарат ДСРВ оснащен специальными водометными двигателями, обеспечивающими маневрирование; аппарат «Джонсон си Линкс» имеет 16 двигателей для хода и маневров, а аппарат «Два зыка» — пять гребных винтов.

Двигатели любого типа создают возмущение водной среды, а обтекание дни поднимает мутьевые потоки. Во время хода этому способствуют и выступающие части, которые кроме того уменьшают сопротивление. Возмущение окружающей среды уменьшает видимость и нарушает работу многих приборов. С целью снижения возмущения в передней рабочей зоне движительно-рулевого комплекса располагают в кормовой части, подальше от носовой переборки.

Успешная переоборудованная, следует принимать меры по снижению шума, вибрации, уменьшению возмущения воды и других вредных воздействий на среду, что имеет особое значение для аппаратов, изучающих биологию моря и промысловых животных. В этом отношении более рационально применить замкнутые системы маневрирования, например дифферентную систему с перекачкой рабочей жидкости из кормовой в носовую цистерну и обратно, или вместо двигателей вертикального переключения использовать уранотельную систему, изменяющую плавание аппарата путем перекачки масла из прочной цистерны в эластичную.

При разработке чертежа общего расположения в каждом техническом решении имеются положительные и отрицательные стороны. Так, при более компактном размещении оборудования затрудняется его монтаж и обслуживание, уменьшение шума и вибрация требует дополнительных устройств, что приводит к увеличению массы и объема конструкции. С целью обеспечения объективной формы и защиты от зацепов и повреждений все оборудование, выступающее за пределы легкого корпуса (световые, антенны, датчики приборов), закрывают ограждениями, обтекателями и штками, а иногда убирают вовнутрь легкого корпуса. Однако все эти мероприятия приводят к росту массо-

габаритных показателей, усложняют конструкцию аппарата и увеличивают его стоимость.

При размещении обесцудовых систем и устройств в междубортном пространстве необходимо руководствоваться следующим. Системы и устройства должны наилучшим образом выполнять заданные им функции, а их размещение — должно способствовать формированию удобообъемлемой формы аппарата, обеспечению заданной остойчивости и удифференциации при различных случаях нагрузки. Установленные внутри легкого корпуса оборудование должно занимать минимально необходимый объем и быть доступным для обслуживания и ремонта. Цистерны дифферентной системы следует размещать в оконечностях аппарата для создания наибольшего момента; при этом работа уравнительной системы не должна вызывать дополнительного дифферента или крена. С целью контроля и обслуживания элементов системы гидравлики и проботворкам необходимо обеспечить хороший доступ. Сброс аварийного баласта не должен вызывать опасного дифферента или потери остойчивости. Гидравлическое устройство следует устанавливать в нижней кормовой части легкого корпуса.

Необходимая остойчивость подводного аппарата, как любого морского транспортного средства, достигается рациональным расположением нагрузок масс. Поэтому внизу размещают тяжелые грузы: аккумуляторы, балласт, мешками, баллоны ВВД и т. п., а в верхней части — балластные цистерны, легкие несущие плавучести, контейнеры с приборами и др. Так, на аппаратах «Мермай-3» и «Кабриан ПК-8Б», ВОЛ—Л1 аккумуляторные батареи находятся в расположенных под килем цилиндрических контейнерах, которые выполняют также роль килей. В корме аппарата на дно и установке его на палубу судна. Такие же образцы стремятся размещать грузы в прочном корпусе. Удифференцировка аппарата достигается удобным расположением его тяжелых и плавучих элементов, причем необходимо при кормальной нагрузке обеспечить отсутствие крена и дифферента. Если не удается удифференцировать аппарат размещением грузов, то прибегают к дополнительной установке легких несущих плавучестей и балласта.

Выбор наилучшего решения является главной задачей группы конструкторов, разрабатывающих чертеж общего расположения. Исцелью к ним стекаются все сведения об элементах аппарата, и они должны согласовать все противоречия, возникающие при размещении оборудования в объеме прочного корпуса, а междубортного пространства и снаружи легкого корпуса.

Чертеж объединяет в единое целое разрозненные элементы аппарата, он позволяет уточнить рациональность выбранных элементов, найти наиболее удобную компоновку отдельных узлов и оборудования, проверить совместимость выбранных и установить характер дополнительных характеристик, определить

объемы, нагрузку масс, архитектуру, а также оценить техниче-ские и эксплуатационные показатели аппарата. При разработке чертежа выявляются наиболее оптимальные конструктивные решения, удовлетворяющие требованиям технического задания, обеспечивающие удобство монтажа и ремонта оборудования.

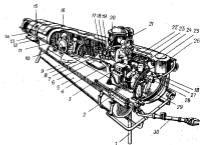


Рис. 65. Общее расположение аппарата ВМЛ—Л1.

1 — опра с гидравлическим усилителем; 2 — пульт управления; 3 — аккумулятор водородной лампы; 4 — гидравлический узел; 5 — цилиндрический контейнер с аккумуляторами; 6 — ручная масса гидравлической системы; аккумуляторы кислородные; 7 — газовый анализатор; 8 — выходящий люк воздушного отсека; 9 — воздушная камера воздушного отсека; 10 — входной люк воздушного отсека; 11 — воздушный баллонный отсек; 12 — образованная часть с жилой системой; 13 — стабилизатор; 14 — опра электроподогревателей; 15 — кормовые парализованные гидравлические устройства; 16 — кормовые вертикальные гидравлические устройства; 17 — клапанов водовыводяющего отсека; 18 — латунный; 19 — ручная образованная гидравлическая система; 20 — опра с плавучими элементами; 21 — цилиндрическая рубка с воздушной линией; 22 — пульт управления аппаратом; 23 — клапан управления дифферентной системой; 24 — выходящий люк воздушной гидравлической системы; 25 — корпус горизонтальной парализованной системы; 26 — выходящий гидравлический отсек; 27 — ручная гидравлическая; 28 — стабилизатор с остойчивости масс; 29 — аварийный аккумулятор; 30 — выходящий люк.

Чертеж служит основой для разработки конструкции прочного и легкого корпуса, схемы алюминаторов, кабельных проходов и люков, коммуникаций трубопровода, электросетей, схемы теплового — системы управления и многих других чертежей, касающихся расположения бортовых устройств, двигательных комплексов, размещения внешних датчиков и внутреннего оборудования, схемы изоляции, покрытия и т. п. (рис. 65).

Кроме рабочих органов (манипуляторов, пробоотборников), укрепляемых непосредственно на корпусе, обитаемым аппаратом могут быть приданы самоходные дистанционно управляемые модули. В зависимости от назначения такие модули оснащаются светлячками, телевизионными камерами, манипуляторами, контейнерами-наполнителями и т. п. С помощью модулей, управляемых по кабелю, можно на неподвижном аппарате на расстоянии в десятки метров осуществлять обзор дна, брать пробы, собирать неподвижных животных и выполнять работы в местах, недоступных для подводного аппарата. Дистанционно управляемыми модулями могут быть оснащены аппараты типа «Север-2» и лаборатории типа «Bentos-300».

На подводных океанографических лодках типа «Аржаронет» вместо модулей могут применяться глубоководные обитаемые аппараты, значительно расширяющие возможности подводного судна.

В связи с появлением новых задач по освоению морских глубин, разработкой новых материалов и оборудовании меняется схема общего расположения подводного аппарата. Так, с появлением прозрачных корпусов изменяются схемы размещения экипажа, приборной и общей компоновки всего аппарата, примером чему служат аппараты «Ханкино», «Макаан» и «Джонсон сн Линк». Оснащение подводных аппаратов самоходными модулями, автономными энергетическими установками, использование в будущем световодов, новых типов двигателей и приборов также будут вносить коррективы в схему общего расположения. Однако специфические свойства гидросферы и жесткие требования к удобству размещения экипажа, оборудованию, надежности работы и эффективности использования подводного аппарата приводят к тому, что основные принципы расположения экипажа и оборудования остаются неизменными.

§ 31. Выбор оптимального варианта аппарата

Подводные аппараты, будучи принципиально новым направлением в методах исследования Мирового океана, предназначены для изучения и освоения сырьевых ресурсов, скрытых в глубинах Мирового океана и в недрах его дна. Принципиальное отличие обитаемых подводных аппаратов и лабораторий от традиционной техники океанографических исследований (подводных судов, дистанционно управляемых праборов, спутников и др.) заключается в том, что они позволяют человеку проникать на любую глубину Мирового океана для выполнения длительных исследований и работ. Непосредственный контакт с изучаемым объектом дает возможность исследователю на месте осмысливать и варьировать методы его изучения, выборочно производить замеры, вести пробы, фиксацию наблюдаемых объектов в процессе, а также выполнять другие операции.

Получаемая с помощью подводных аппаратов информация, расширяя наши фундаментальные знания об океане и его глубинах, используется для развития прикладных наук и решения хозяйственных задач, связанных с эффективным освоением сырьевых ресурсов. Эксперименты и работы, выполняемые в морских глубинах, дают исходные данные для разработки новых технологических процессов и видов подводной техники, обеспечивающих увеличение в народное хозяйство новых природных ресурсов шельфа и океана.

В настоящее время, на этапе становления подводной промышленности и хозяйствования, не представляется возможным определить абсолютную экономическую эффективность подводных аппаратов, хотя их экономическое значение, например при освоении нефтегазовых месторождений, и развитии морехозяйства или при подъеме затонувших объектов, трудно переоценить.

На первых стадиях проектирования можно во укрупненных показателях определить сравнительную экономическую эффективность, показывающую, насколько один вариант аппарата эффективнее другого.

Как было сказано выше, основные характеристики аппарата можно оценивать числовыми показателями, однако некоторые эксплуатационные качества аппарата трудно или даже невозможно выразить одним числом. Эксплуатационными качествами обычно называют совокупность свойств, определяющих условия технической эксплуатации аппарата. К ним относятся: обитаемость, удобство обслуживания и ремонта, надежность работы механизмов и оборудования, безопасность погружений, периодичность профилактических, текущих и других ремонтов, время подготовки для очередного погружения и т. д. Большое значение при эксплуатации имеют также мореходные качества, под которыми принято понимать совокупность свойств, определяющих движение аппарата в надводном и подводном положениях, например его скорость в горизонтальном и вертикальном направлениях, поведение на волне, возвратность, маневренность, остойчивость, стабилизацию курса и глубины, зависание в толще воды и др.

При объективных ограничениях для транспортируемого аппарата по массе и габаритам, материалам и оборудованию конструкторы стремятся достигнуть наилучших технико-экономических показателей с последующим уточнением в процессе технического проектирования, макетирования, испытаний и опытной эксплуатации. В паталыных же стадиях проектирования наилучший вариант можно определить лишь по числовым показателям, при этом эксплуатационные качества следует принимать одинаковыми для всех сравниваемых аппаратов.

Как указывалось выше, многовариантная проработка проектируемого аппарата выполняется на стадиях технического предложения или эскизного проекта, когда уже установлен тип и

заказчике аппарата, его функциональные задачи, глубина погружения и ориентировочное оснащение научно-исследовательским оборудованием. Оптимальный вариант выбирается из нескольких однотипных аппаратов, отличающихся один от другого конструктивной схемой, типами корпуса и энергетической установкой, конструкцией отдельных узлов, а также некоторыми основными характеристиками.

Если один из сравниваемых вариантов по материалам, оборудованию и водоизмещению значительно отличается от остальных, то стоимость его строительства и эксплуатации надо определять более тщательно по индивидуальным расценкам. Наиболее обобщенным и объективным критерием оптимальности системы является его удельная производительность, выражаемая формулой (5.40), которую можно представить в виде

$$P_r = \frac{Q_a}{\Phi_{e.c.} + \Phi_{ex.}}, \quad (5.9)$$

где Q_a — «продукция» системы (аппарат — судно-носитель); $\Phi_{e.c.}$ — эксплуатационные расходы судна-носителя; $\Phi_{ex.}$ — эксплуатационные расходы аппарата.

«Продукцией» научно-исследовательского подводного аппарата является информация, получаемая за одно погружение или за конкретный период времени; она может быть выражена в условных единицах информации. В зависимости от оснащения аппарата исследовательскими приборами и оборудованием информация может быть чрезвычайно разнообразной по форме и содержанию.

Для определения объема научной информации, получаемой с помощью приборов и оборудования, установленных на подводном аппарате, введем понятие количества операций, в которые включены наблюдения, фотокиносъемка, измерения, взятие различных проб, выход водолазов для выполнения работ и др. Зная состав оборудования, можно определить количество операций и, следовательно, информации, получаемой с единицы обследованной площади дна или объема водного пространства за одно погружение.

За условные единицы информации примем отдельные фотографии, замер параметра поля, пробу грунта или воды, взятие подводного предмета, продолжительность киносъемки, запись шумов и т. п.

Объем получаемой информации зависит от следующих основных характеристик: массы рабочего оборудования m_p ; автономности по запасам энергии T_p ; скорости v ; рабочей глубины H_p ; состава экипажа n . Объем «продукции» можно представить как функцию некоторых характеристик аппарата:

$$Q_a = f(m_p, T_p, v, H_p, n, \dots). \quad (5.10)$$

Каждая из характеристик оказывает различное влияние на объем получаемой информации. Так, масса рабочего груза определяет состав приборного комплекса и научного оборудования, а следовательно, и объем получаемой информации. Производительность аппарата растет с увеличением скорости его движения, которая имеет особое значение при поисковых работах, крупномасштабных съемках, изучении большой поверхности дна или объема водного пространства. В свою очередь, дальность подводного плавания зависит от автономности по запасам энергии. Автономность по обитаемости практически одинакова для однокорпусных аппаратов и поэтому не учитывается. Время работы под водой регламентируется границами охраны труда.

Производительность аппарата зависит также от количества исследователей. Однако ввиду ограниченной зоны проработанного пространства и наличия автоматически действующих информационных систем для работы с приборами и визуальными наблюдениями на аппаратах рассматриваемого типа достаточно двух исследователей.

С увеличением глубины расширяется область применения аппарата, что повышает его качество. При сравнении однотипных аппаратов следует принимать одинаковую рабочую глубину.

Стоимость постройки и эксплуатации возрастает с увеличением массогабаритных характеристик однотипных аппаратов, потому что при всех других равных характеристиках тяжелые аппараты менее эффективны.

Объем информации, получаемой с обследованного водного пространства за одно погружение, можно представить в виде зависимости (в условных единицах информации)

$$Q = vT_p n^2 K_a, \quad (5.11)$$

где v — радиус действия измерительных приборов для визуальных (инструментальных) наблюдений в плоскости, перпендикулярной движению аппарата; K_a — коэффициент плотности информации, под которым будем понимать количество информации, получаемое с единицы площади дна или объема водного пространства.

Обычно условную единицу информации получают с объема от 1000 до 30 000 м³, при этом значение коэффициента плотности лежит в пределах $K_a = (10 \div 0,4) \cdot 10^{-4}$ ед. инф./м³ или $K_a = (10 \div 0,4) \cdot 10^4$ ед. инф./км².

Стоимость всей информации, полученной за определенный период времени, всегда равна сумме затрат на эксплуатацию аппарата и обеспечивающего судна за этот период.

Зная количество полученной информации и эксплуатационные расходы, можно рассчитать стоимость отдельного вида информации: замеров среды, длину киполов, катков проб и т. п. по затратам, учитывающим стоимость приборов (и их ремонт), материалов и других расходов, отнесенных на каждый отдельный вид информации.

Значительно проще определить производительность аппарата, выполняющего простые операции, например, обследующего поверхность дна в режиме поиска затонувшего объекта, разведки промышленных объектов, полезных ископаемых и т. п.

В этом случае производительность аппарата будет определяться исследуемой площадью дна, которую можно выразить формулой

$$S_{\Sigma} = vT_{\Sigma} \cdot 2r', \quad (5.12)$$

где r' — ширина полосы с одного борта, определяемая дальностью визуального или инструментального обзора или действия измерительных приборов.

Для упрощения задачи выбора из нескольких вариантов наиболее эффективного научно-исследовательского аппарата в качестве оценочного критерия можно принять условный объем информации (продукция), получаемый за одно погружение:

$$Q_4 = vT_{\Sigma} n^2 K_4, \quad (5.13)$$

где $K_4 = m_4/m$ — относительная грузоподъемность, характеризующая степень оснащения аппарата приборами, манипуляторными устройствами и другим научным оборудованием, а следовательно, и полноту обследования пройденного пространства.

Каждый проектируемый аппарат в соответствии с назначением оснащается приборами и оборудованием, поставленным промышленностью или разработанным по специальным техническим заданиям. Поэтому при проектировании аппарата качество однотипного оборудования можно считать равновесным для всех сравниваемых вариантов. При этом условия величины n и r , одинаковые для всех сравниваемых вариантов, можно исключить из (5.13), а условную производительность считать зависящей только от v , T_{Σ} и относительной грузоподъемности. Тогда выражение (5.13) примет вид

$$Q_4 = vT_{\Sigma} K_4 \quad (5.14)$$

и будет выражать длину обследованного пути за одно погружение.

Производительность рабочих аппаратов определяется объемом выполненных работ, например: длиной уложенного или обследованного подводного трубопровода или кабеля, объемом монтажных работ при сборке подводных сооружений, продолжительностью пребывания под водой и объемом выполненных аварийно-спасательных, поисковых, монтажных и других работ; тонно-милями перевезенного груза и т. п.

Стоимость отдельных видов подводных работ устанавливается специальными нормативами, учитывающими стоимость подводного часа данного аппарата.

При определении удельной производительности необходимо также рассчитать эксплуатационные расходы, которые для тран-

спортируемого аппарата складываются из собственных расходов и расходов на содержание судна-носителя. Отсутствие достаточного опыта эксплуатации подводных аппаратов не позволяет в настоящее время выполнять точные расчеты стоимости эксплуатации. Для этого требуется знать фактический цикл эксплуатации, обеспечиваемый основным оборудованием, число погружений за расчетный период времени, стоимость серийных аппаратов и судов-носителей, расходы на содержание команд, приобретение материалов, ремонт и т. д. Поэтому технико-экономические расчеты сейчас базируются на предварительных данных, еще не проверенных длительной практикой. При определении эксплуатационных расходов судов-носителей используют нормы для морских судов. Несмотря на некоторую условность, результаты расчетов позволяют оценить примерную стоимость и эффективность использования аппаратов различных типов.

В настоящем параграфе ставится задача сравнить эффективность однотипных аппаратов, поэтому для расчета приняты усредненные нормативы, заимствованные из иностранного опыта и эксплуатации некоторых экспериментальных аппаратов. Каждый подводный аппарат или лаборатория работают совместно с надводным обеспечивающим судном. Судно, транспортирующее аппарат на борту, обычно называют судном-носителем, хотя оно не только «носит» аппарат, но и обеспечивает его ремонт, обслуживание, а в необходимых случаях и буксировку на короткие расстояния. Судно, постоянно буксирующее или сопровождающее аппарат в рейсе, называют судном-базилом. К ним можно отнести суда, обеспечивающие работу необходимых подводных лабораторий типа «Бен Фриксидан», «Слава» или «Бентос-300».

В зарубежной практике имеются суда, спроектированные и построенные специально для транспортировки и обслуживания конкретного аппарата. К таким судам-носителям (признающий аппарат с норм) относится американское судно «Транс Коста» — носитель «Дип квеста», «Лулу» — носитель «Алиана», «Си дайвер» — носитель «Дип дайвер», «Мидальф» — носитель «Дип стар», «Виккерс венчурер» — носитель «Лейбиса-2» и др. Это суда сравнительно небольшого водоизмещения, не обладающие хорошей скоростью и мореходностью, свойственными океанским судам. Коэффициент загрузки таких судов подводными работами следует принимать равным единице.

В качестве судов-носителей используются также дооборудованные океанографические, промышленные или научно-поисковые суда, которые кроме обслуживания аппарата выполняют океанографические, гидрографические, актиологические исследования, занимаются поиском и добычей рыбы. Так, траулеры типа «Панвер» — носители гидростата «Север-1» и буксируемого аппарата «Атлант-1» — одновременно являются рыбопромысловыми

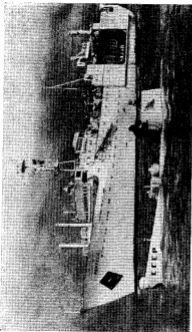


Рис. 6.4. Судно-носитель «Одиссей»

и рыболовными судами. На судне типа СРТМ размещен аппарат ТИПРО-2, который является вспомогательным средством для рыбохозяйственных исследований. Судно «Одиссей» типа БМРТ — носитель аппарата «Север-2» — одновременно используется для поиска рыбы (рис. 6.6). Научно-поисковым судам предан буксирный аппарат «Атлант-2» — вспомогательное техническое средство для поиска рыбы, обследования дна, наблюдения за работой трала.

При частичном использовании судна на подводных работах на аппарат следует отнести соответствующую часть эксплуатационных расходов судна-носителя.

Для ориентировочных расчетов соотношение между водоизмещением порожнего судна-носителя и массой аппарата (рис. 6.7 и табл. 6.1) можно представить в виде зависимости

$$D_0 = 55m + 600 \cdot 10^3, \quad (6.15)$$

где D_0 — водоизмещение порожнего судна-носителя; m — масса аппарата.

Приведенные соотношения касаются только судов-носителей, переоборудованных из промышленных, грузовых и научно-поисковых судов. Для судов-носителей, специально спроектированных для конкретного аппарата («Транс квест», «Маддайф», «Ваккерс венчурер»), это соотношение выражается зависимостью

$$D_0^* = (15 - 20)m. \quad (6.16)$$

Анализ технико-экономических показателей некоторых типов промышленных и научно-исследовательских судов позволил

Таблица 6.1

Соотношения между водоизмещением судна-носителя и массой подводного аппарата

Тип подводного аппарата	Масса аппарата, т-100, кг	Водоизмещение судна D_0 , 100, кг	Соотношение D_0/m
«Кабрилла ПК-65»	6,5	590	170
«Дюр стар-20 000»	38,5	2800	70
«Шольф-2»	10,5	960	90
«Атлант-2»	3,0	780	230
«Свер-1»	2,0	780	350

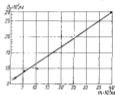


Рис. 6.7. Зависимость водоизмещения судна-носителя от массы подводного аппарата

установить зависимость суточных эксплуатационных расходов (в тыс. руб.) судна-носителя от его водоизмещения порожнем (рис. 6.8), которую можно выразить аппроксимирующей функцией вида

$$\Phi_{\text{с.э.}} = 1,9 \cdot 10^{-6} D_{\text{в}} + \sin \frac{D_{\text{в}}}{1,3 \cdot 10^{-2}}, \quad (6.17)$$

где $1,9 \cdot 10^{-6}$ — переходный коэффициент.

На основе вышесказанных зависимостей в первом приближении определяем водоизмещение судна-носителя и затраты на его эксплуатацию.

Сначала на основе требований технического задания выберем тип и водоизмещение судна. Допустим, что судно должно

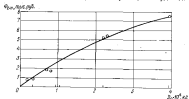


Рис. 6.8. Зависимость суточных эксплуатационных расходов порожнего судна-носителя от его водоизмещения

выполнять общие океанографические исследования и вести на борту автономный самоходный аппарат. Зная массу аппарата, по рис. 6.7 или формуле (6.15) определяем водоизмещение судна-носителя. С целью уменьшения затрат на проектирование и строительство судна следует выбирать наиболее подходящий прототип из существующих судов. Приняв его водоизмещение за основу, по рис. 6.8 или формуле (6.17) вычисляем ожидаемые эксплуатационные суточные расходы судна-носителя.

Для определения эксплуатационных расходов подводного аппарата установим круг исходных данных. Допустим, что судно-носитель совместно с аппаратом выполняет три рейса в год при длительности одного рейса 3,5 мес. Для обеспечения бесперебойной работы на судне установлены две сменные аккумуляторные батареи. Количество погружений, определенное схемой использования комплекса, зависит от периодичности рейсов, дальности работы подводных работ, метеорологических условий, надежности работы оборудования, типа аппарата и может со-

ставлять от 80 до 200 в год. Практика показала, что при благоприятных условиях за месяц пребывания в районе работ можно осуществить 10—20 погружений. При этом следует учитывать время, затрачиваемое на переходы, межрейсовые стоянки в порту, ремонт, подготовку к очередному рейсу и т. п.

Поскольку аппарат является неотъемлемой частью судна и при капитальных ремонтах срок службы аппарата может восстанавливаться, прием, что амортизационные отчисления в год составляют 14% стоимости аппарата, в том числе на ремонт — 8% стоимости аппарата, на renovación — 6% его стоимости. На судне размещены основной и резервный экипажи аппарата. Необходимо определить стоимость содержания одного человека в год.

Кроме того, в статье затрат на эксплуатацию должны быть включены следующие расходы: содержание экипажа (основная и дополнительная зарплата, отчисления на социальное страхование, стоимость спецодежды и питания), причем в статье затрат должен учитываться двойной экипаж; материально-техническое обеспечение (расходные материалы, запасные части, электротопливо, гидравлическое масло, регенеративное вещество, балласт и др.); сменные и запасные аккумуляторные батареи, а также принадлежности для их ремонта и эксплуатации; амортизационные отчисления на ремонт на специальных заводах с заменой оборудования в соответствии с нормативами, установленными ремонтными ведомостями.

Прочие затраты (вкладные расходы, стоимость техосмотров, испытаний, транспортировки и другие затраты, не относящиеся к вышеперечисленным статьям расхода) можно принять равными 35% от всех статей затрат, кроме амортизационных отчислений.

Предварительные и текущие ремонты аппарата и относительно к его эксплуатационной оборудованию выполняются судовой командой, поэтому их стоимость следует отнести к затратам судна-носителя.

При определении сравнительной эффективности вариантов долю капитальных вложений в затратах комплекса не учитываем.

На основании принятых данных и условных технико-экономических показателей некоторых аппаратов можно определить эксплуатационные расходы аппарата. Ориентировочные расчеты позволили установить зависимость суточных расходов аппарата от его массы (рис. 6.9). Приведенная на рисунке зависимость получена на основании анализа характеристик и опыта эксплуатации некоторых отечественных и зарубежных аппаратов, а также теоретических расчетов затрат по ним, поэтому эти данные могут служить лишь для укрупненных расчетов относительной экономической эффективности однотипных подводных аппаратов при выборе оптимального варианта.

При определении затрат базового комплекса, выбранного для сравнения с основным вариантом, необходимо принимать стоимость серийных подводных аппаратов и судна, а также пользоваться фактическими расходами на их эксплуатацию.

Эксплуатационные затраты научно-исследовательского комплекса (тыс. руб.), отнесенные на одно погружение аппарата, можно представить в виде

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{365}{\alpha} (A_{\Sigma} \Phi_{\Sigma \Sigma} + \Phi_{\Sigma \Sigma}), \quad (5.18)$$

где α — количество погружений в год; $A_{\Sigma} = 0,2 + 1,0$ — коэффициент загрузки судна-носителя подводными работами; $\Phi_{\Sigma \Sigma}$ —

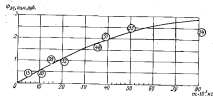


Рис. 6.9. Зависимость суточных эксплуатационных расходов базового аппарата от его массы

суточные эксплуатационные расходы судна-носителя; $\Phi_{\Sigma \Sigma}$ — суточные эксплуатационные расходы подводного аппарата.

Используя выражения (5.9), (6.11), (6.18), удельную производительность научно-исследовательского комплекса (в условных единицах информации на тыс. руб.) можно представить в виде

$$P_y = \frac{\sigma T_p \alpha^2 K_p}{\frac{365}{\alpha} (A_{\Sigma} \Phi_{\Sigma \Sigma} + \Phi_{\Sigma \Sigma})} \quad (6.19)$$

Замена (6.11) из (6.14), получим формулу условной удельной производительности комплекса

$$P_y = \frac{\sigma T_p \alpha K_p}{\frac{365}{\alpha} (A_{\Sigma} \Phi_{\Sigma \Sigma} + \Phi_{\Sigma \Sigma})} \quad (6.20)$$

Затраты комплекса на одно погружение выражаем через массу аппарата и его удельную стоимость

$$\Phi_{\Sigma} = K_p \Phi_y m, \quad (6.21)$$

где K_p — отношение стоимости одного погружения к стоимости аппарата; Φ_y — удельная стоимость аппарата; m — его масса.

Тогда формулу (6.20) можно преобразовать к виду

$$P_y = A_p \frac{\sigma T_p \alpha K_p}{m}, \quad (6.22)$$

где

$$A_p = \frac{1}{K_p \Phi_y}. \quad (6.23)$$

Области максимальных значений условной удельной производительности (6.22), соответствующие оптимальным сочетаниям основных характеристик, можно исследовать на ЭВМ, используя выражения (5.9), (5.16), (5.25), (5.26), (5.30) и изменить при этом характеристики σ , T_p , α , m_p в пределах допустимых технических значений.

В качестве исходных данных следует принять заданные и частично выбранные характеристики подводного аппарата и предварительно рассчитать коэффициент A_p по формуле (6.23).

Полученные результаты необходимо сравнить с базовым вариантом комплекса.

Пример практического расчета удельной производительности подводного аппарата. Исходные данные: масса аппарата $m = 25000$ кг; рабочая глубина погружения $H_p = 2000$ м; скорость расчистки $\sigma = 1,54$ м/с; автономность по запасам энергии $T_p = 8$ ч = 28800 с; масса полезного груза $m_p = 2100$ кг; относительная грузоподъемность $K_p = m_p/m = 0,085$; количество погружений в год $\alpha = 90$; удельная стоимость аппарата $\Phi_y = 0,1$ тыс. руб./кг.

Удельную производительность подводного аппарата (в единицах информации на тыс. руб.) определим по формуле (6.19) при $\sigma = 1,54$ м/с; $T_p = 8$ ч:

$$P_y = \frac{\sigma T_p \alpha^2 K_p}{\frac{365}{\alpha} (A_{\Sigma} \Phi_{\Sigma \Sigma} + \Phi_{\Sigma \Sigma})}$$

По рис. 6.7 определим водонизшающее судно-носителя $D_k = 2 \cdot 10^6$ кг, а по рис. 6.8 — суточный эксплуатационный расход судна-носителя $\Phi_{\Sigma \Sigma} = 4,8$ тыс. руб.

Принимаем коэффициент загрузки судна подводными работами $A_{\Sigma} = 0,5$. Суточные эксплуатационные расходы подводного аппарата определим по рис. 6.9: $\Phi_{\Sigma \Sigma} = 1,24$ тыс. руб. Дальность наблюдения и действие прибора принимаем $r = 15$ м, коэффициент плотности информации — $K_p = 5 \cdot 10^{-4}$ ед. инф./м³.

Подставляя принятые значения исходных величин в формулу (6.19), определяем количество единиц информации, получаемых на одну тыс. руб.:

$$\Pi_2 = \frac{1,54 \cdot 28800 \cdot 3,14 \cdot 225 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{\frac{863}{90} (8,5 \cdot 4,8 + 1,24)} = 1063.$$

Для исследования на ЭВМ максимального значения условной удельной производительности определяем для данного конкретного случая коэффициент A_4 :

$$K_4 = \frac{\Phi_4}{\Phi_{4,н}} = \frac{365}{\pi (\Phi_{4,с} \Phi_{4,г} + \Phi_{4,д})} = \frac{34,8}{0,1 \cdot 25000} = 0,006,$$

откуда, согласно формуле (6.23),

$$A_4 = \frac{1}{0,006 \cdot 0,1} = 1,67 \cdot 10^6.$$

Формула условной удельной производительности для данного случая (в условных единицах информации на тыс. руб.) будет иметь вид

$$\Pi_2 = \frac{1,67 \cdot 10^6 \cdot T_4 \cdot K_4}{\pi}$$

§ 32. Практический пример определения характеристик аппарата

Приведенные в книге математические зависимости, числовые коэффициенты и рекомендации можно использовать для приближенного определения различных характеристик на ранних стадиях проектирования подводного аппарата, в том числе для определения массы, водоизмещающего объема и плотности аппарата по заданным или выбранным характеристикам: H_0 , T_0 , σ_0 , n_0 , d .

Ниже приводится пример расчета характеристик и выбора конструктивной схемы подводного аппарата.

Исходные данные — согласно техническому заданию; название — общегеографическое исследование; район исследований — Мировой океан; глубина погружения — до 2000 м.

Выбираем состав научно-исследовательского оборудования: внешние осветительные устройства и фотокиноаппаратура; средства визуального и инструментального наблюдения; гидроакустический прибор; гидроакустические средства наблюдения; биологические приборы; два манипулятора с контейнером; пробоборудование.

Массу выбранного оборудования определяем по формуле (4.67) и табл. 4.15:

$$m_0 = \sum m_{0н} + \sum m_{0к} = 380 + 650 = 1030 \text{ кг.}$$

Объем оборудования согласно (4.68) и (4.70) будет

$$V_0 = \frac{\sum m_{0н}}{\rho_{0н}} + \frac{\sum m_{0к}}{\rho_{0к}} = \frac{380}{730} + \frac{650}{2000} \text{ м}^3, \\ V_{0к} = 0,51 \text{ м}^3; \quad V_{0н} = 0,53 \text{ м}^3.$$

На основе анализа построенных аппаратов и их эксплуатации принимаем: экипаж в составе трех человек (командир-инженер и два исследователя); диаметр прочного корпуса 2 м; скорость вращения 2 м/с; автономность по запасам энергии (при ходе с расчетной скоростью) 5 ч (18000 с); материал прочного корпуса сталь ($\sigma_0 = 1,2 \text{ ГН/м}^2$); материал легкого корпуса стеклопластик, гребные двигатели постоянного тока погружные типа СТГ; источник энергии — щавелево-кислотные погружные аккумуляторные батареи; ползавка в виде пустотелых сфер из алюминевого сплава. Массу вспомогательных преобразователей тока включаем в состав соответствующих систем и приборов.

Принятые исходные данные достаточны для выбора числовых значений коэффициентов (см. табл. 4.14 и 5.1).

Проводим предварительный расчет массы, водоизмещающего объема и плотности, приняв конструктивную схему аппарата, приведенную на рис. 2.3, и выбрав следующие характеристики: $H_0 = 2000 \text{ м}$, $v = 2,0 \text{ м/с}$; $T_0 = 1,8 \cdot 10^4 \text{ с}$; $n_0 = 3 \text{ чел.}$; $\sigma_0 = 1030 \text{ кг}$; $d = 2 \text{ м}$. По формулам (3.46) и (5.24) находим $b_1 = 3$, $t_1 = 6$ и определяем относительное удлинение прочного корпуса по формуле (5.29):

$$b_2 = \frac{0,05d^2v^3 + 0,062(d+t_1) + 1,75\sigma_0 + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3}m_0 - 0,53d^3}{0,79d^3};$$

подставляя числовые значения величин, получаем

$$b_2 = \frac{0,05 \cdot 4 \cdot 8 + 0,06 \cdot 8 \cdot 2 + 1,75 \cdot 3 + 1,0 + 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1030 - 0,52 \cdot 8}{0,79 \cdot 8} = 0,85.$$

Принимаем $b_2 = 0,8$.

Определим массу и объемы отдельных конструктивных элементов.

Массу прочного корпуса рассчитываем по формуле (3.50):

$$m_{0к} = d^2 (A_{0к} b H_0 + A_{0к} H_0^2),$$

где для выбранной стали, согласно табл. 3.5, $A_{0к} = 0,160$ и $A_{0к} = 8,7$. Тогда масса прочного корпуса будет

$$m_{0к} = 8 (0,16 \cdot 0,8 \cdot 2000 + 8,7 \cdot 45) = 5188 \text{ кг} \approx 5,2 \text{ т.}$$

Объем прочного корпуса, согласно (3.52),

$$V_{0к} = d^3 (0,52 + 0,756) = 8 (0,52 + 0,79 \cdot 0,8) = 8,82 \approx 8,9 \text{ м}^3.$$

Плотность прочного корпуса

$$\rho_{\text{ПК}} = \frac{m_{\text{ПК}}}{V_{\text{ПК}}} = \frac{5200}{9,216} \approx 564 \text{ кг/м}^3.$$

Массу легкого корпуса определяем по формуле (3.55):

$$m_{\text{ЛК}} = m_{\text{ПК}} \frac{0,55}{10^{-3}N_p + 0,02} = m_{\text{ПК}} = 5200 \frac{0,55}{10^{-3} \cdot 2000 + 0,02} = 1092 \text{ кг}.$$

Объем конструкции легкого корпуса

$$V_{\text{ЛК}} = \frac{m_{\text{ЛК}}}{\rho_{\text{ЛК}}} = \frac{1092}{1900} = 0,61 \text{ м}^3.$$

где, согласно табл. 3.5, $\rho_{\text{ЛК}} = 1900 \text{ кг/м}^3$.

Мощность ходовых двигателей находим по формуле (4.7):

$$N_{\text{ХД}} = A_M C_p B H v^2.$$

Приняв в соответствии с формулами (3.66) и (4.12) $A_M = 512 \text{ кг/м}^2$, $BH = 2d^2$ и определив по рис. 4.2 и 3.13 соответственно, что $C_p = 0,3$ и $\lambda = \frac{L}{\sqrt{BH}} = \frac{9}{2,8} = 3,2$, где $L = 9 \text{ м}$, получим

$$N_{\text{ХД}} = 512 \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 8 = 9830 \text{ Вт}.$$

Принимаем $N_{\text{ХД}} = 10 \text{ кВт}$.

Мощность, потребляемую энергетической установкой в ходовом режиме при полной скорости, определяем по формуле (4.11)

$$N_{\text{УЭ}} = \frac{(1 + \alpha) A_M C_p B H v^2}{\eta_{\text{УЭ}}},$$

или

$$N_{\text{УЭ}} = \frac{(1 + \alpha) N_{\text{ХД}}}{\eta_{\text{УЭ}}},$$

принимая $\eta_{\text{УЭ}} = 0,70$, $\alpha = 0,25$ (по табл. 4.4).

Тогда

$$N_{\text{УЭ}} = \frac{1,25 \cdot 10}{0,7} \approx 18 \text{ кВт}.$$

Масса аккумуляторной батареи (кг), согласно (4.12), будет

$$m_{\text{АБ}} = \frac{T_{\text{УЭ}} N_{\text{УЭ}}}{K_{\text{А}}},$$

где для свинцово-кислотной батареи [формула (4.13)] $K_{\text{А}} = 1,44 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$. Тогда

$$m_{\text{АБ}} = \frac{3600 \cdot 18000}{1,44 \cdot 10^5} = 2250 \text{ кг}.$$

Принимаем

$$m_{\text{АБ}} = 2400 \text{ кг}.$$

Плавающий объем аккумуляторных батарей определяем по формуле (4.14):

$$V_{\text{АБ}} = \frac{m_{\text{АБ}}}{\rho_{\text{АБ}}},$$

где $\rho_{\text{АБ}} = 2800 \text{ кг/м}^3$, т. е.

$$V_{\text{АБ}} = \frac{2400}{2800} = 0,82 \text{ м}^3.$$

Масса электродвигателей, согласно формуле (4.18), будет

$$m_{\text{ЭД}} = A_{\text{Э}} [(1 + \alpha) N_{\text{ЭД}}]^2.$$

Приняв $\alpha_1 = 0,66$ (по рис. 4.4), $A_{\text{Э}} = 20$ [для электродвигателей серии СТГ см. формулу (4.19)] и $\kappa = 0,75$, получим

$$m_{\text{ЭД}} = 20 (1,66 \cdot 10)^{0,75} \approx 165 \text{ кг}.$$

Плавающий объем электродвигателей определяем по формуле (4.20):

$$V_{\text{ЭД}} = \frac{m_{\text{ЭД}}}{\rho_{\text{ЭД}}} = \frac{165}{3500} \approx 0,05 \text{ м}^3.$$

массу коммутационной аппаратуры по формуле (4.31):

$$m_{\text{КА}} = A_{\text{КА}} N_{\text{УЭ}}^{1,4}.$$

Приняв по табл. 4.8 $A_{\text{КА}} = 6$, получим $m_{\text{КА}} = 6 \cdot 18^{1,4} = 343 \text{ кг}$.
Объем коммутационной аппаратуры (распологаемой внутри прочного корпуса)

$$V_{\text{КА}} = \frac{m_{\text{КА}}}{\rho_{\text{КА}}} = \frac{343}{1900} = 0,1905 \approx 0,2 \text{ м}^3,$$

где согласно (4.33) $\rho_{\text{КА}} = 1900 \text{ кг/м}^3$.

Массу кабеля определяем по (4.36):

$$m_{\text{КБ}} = A_{\text{КБ}} (1 + K_L L) N_{\text{УЭ}}^2,$$

где $A_{\text{КБ}} = 80$ (см. табл. 4.8), $K_L = 0,05$; $k_1 = 0,5$; $L = 9 \text{ м}$. Тогда

$$m_{\text{КБ}} = 80 (1 + 0,45) \cdot 18^{0,5} = 492 \text{ кг}.$$

Принимаем $m_{\text{КБ}} = 500 \text{ кг}$.

Объем кабеля, согласно (4.39),

$$V_{каб} = \frac{m_{каб}}{\rho_{каб}} = \frac{500}{1600} = 0,313 \text{ м}^3.$$

плавающей объем заборного кабеля, определяемой по формуле (4.40),

$$V_{каб} \approx 0,3 \cdot 0,32 = 0,094 \text{ м}^3.$$

Масса энергетической установки и электрооборудования

$$m_1 = m_{каб} + m_2 + m_3 + m_{каб} = 2250 + 165 + 343 + 500 = 3258 \text{ кг},$$

их плавающий объем

$$V_1 = V_{каб} + V_2 + 0,3V_{каб} = 0,82 + 0,05 + 0,3 \cdot 0,313 \approx 0,96 \approx 1 \text{ м}^3.$$

Массу систем и балласта определяем как часть массы аппарата по формулам (4.55), (4.59), (4.74):

$$m_2 = A_2 m = 0,06 m;$$

$$m_3 = A_3 m = 0,08 m;$$

$$m_4 = A_4 m = 0,12 m.$$

С учетом запаса водопомещения

$$m_2 + m_3 + m_4 = 0,26 m.$$

Плавающие объемы устройства, систем и балласта (м^3), согласно (4.56), (4.60), (4.75), будут

$$V_2 = \frac{0,06 m_1}{3200}; \quad V_3 = \frac{0,08 m_1}{3200}; \quad V_4 = \frac{0,12 m_1}{3200}.$$

Массу оборудования, расположенного внутри прочного корпуса, определяем по формуле (4.63):

$$m_{каб} = A_{каб} m_1 + B_{каб} \pi d (d + l_1) + m_{каб}.$$

Приним по табл. 4.12 и 4.14 $A_{каб} = 150 \text{ кг/чел.}$, $B_{каб} = 10 \text{ кг/м}^2$ и $m_{каб} = 1150 \text{ кг}$, получим

$$m_{каб} = 150 \cdot 3 + 10 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 2,6 + 1150 = 2100 \text{ кг}.$$

Объем оборудования

$$V_{об} = \frac{m_{об}}{\rho_{об}} = \frac{2100}{600} = 3,5 \text{ м}^3,$$

где $\rho_{об} = 600 \text{ кг/м}^3$ (см. табл. 4.13).

Масса рабочего оборудования, согласно (4.65),

$$m_r = [A_r + B_r + B'_r T_0] m_1 + m_2.$$

Приним по табл. 4.14 $A_r = 100 \text{ кг/чел.}$; $B_r = 220 \text{ кг/чел.}$; $B'_r = 15 \text{ кг/чел./сут.}$; $T_0 = 6 \text{ сут}$ с учетом аварийного запаса, получим

$$m_r = (100 + 220 + 15 \cdot 6) 3 + 1030 = 2250 \text{ кг}.$$

Масса подводного аппарата без поплавков будет равна:

$$\begin{aligned} m_0 &= m_{каб} + m_1 + m_2 + m_{каб} + m_3 + (m_2 + m_3 + m_4) = \\ &= 4700 + 980 + 3500 + 1760 + 2250 + 260 m_1 = \\ &= 13\,000 + 260 m_1. \end{aligned}$$

По формуле (5.9) определяем массу аппарата (без поплавков) при $A_{об} = 0,16$:

$$\begin{aligned} m_0 &= 1,64 [d^3 (0,165 H_0 + 8,7 H_0^{0,5}) + 3081 \cdot 10^{-3} (T_0 + 23,514) d^2 v^3 + \\ &+ 410 m_1 + m_2] = 1,64 [8 (0,16 \cdot 0,8 \cdot 2000 + 8,7 \cdot 45) + \\ &+ 3,681 (5 \cdot 3,6 + 23,514) 4 \cdot 8 + 410 \cdot 3 + 1030] = 18\,960 \approx 19\,000 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Тогда

$$m_0 = 13\,200 + 0,26 \cdot 19\,000 = 18\,840 \text{ кг}.$$

Плавающий объем аппарата (без поплавков), согласно формулам (5.10), (5.14), (4.71),

$$V_0 = V_{каб} + V_{об} + V_{каб} + V_2 + V_3 + V_4 + V_{об},$$

где

$$V_2 = \frac{0,06 \cdot 18\,840}{3200} = 0,35 \text{ м}^3;$$

$$V_3 = \frac{0,08 \cdot 18\,840}{3200} = 0,502 \text{ м}^3;$$

$$V_4 = \frac{0,12 \cdot 18\,840}{3200} = 0,29 \text{ м}^3.$$

Таким образом,

$$V_0 = 9,216 + 0,61 + 1,0 + 0,35 + 0,502 + 0,29 + 0,325 = 12,3 \text{ м}^3.$$

Остаточная отрицательная плавучесть подводного аппарата, согласно (4.78),

$$\Delta q = m_0 - \rho V_0 = 18,1 - 1,03 \cdot 11 = 6800 \text{ кг}.$$

Для уравновешивания отрицательной плавучести в качестве поплавков применим пустотелые сферы из алюминия средней плотности. Определим по табл. 3.6 плотность таких поплавков

$$\rho_0 = 6,6 H_{пол}^{0,5} = 6,6 \cdot 59 = 390 \text{ кг/м}^3,$$

где $H_{пол} = 1,75 H_0$ (м). Принимаем $\rho_0 = 400$.

Тогда, согласно формуле (4.82), объем повлазков будет

$$V_2 = \frac{\Delta y}{\rho - \rho_0} = \frac{6170}{1030 - 420} = 9,8 \text{ м}^3.$$

Масса повлазков

$$m_2 = \rho_0 V_2 = 400 \cdot 9,8 = 4000 \text{ кг.}$$

Общая масса аппарата

$$m = m_0 + m_2 = 18840 + 4000 = 22840 \text{ кг.}$$

Полный водоизмещающий объем аппарата

$$V = V_1 + V_2 = 12,3 + 9,8 = 22,1 \text{ м}^3.$$

Полученные методики, габаритные и дополнительные характеристики можно использовать в качестве исходных данных для разработки технического предложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в книге сведения о подводных обитаемых аппаратах и рекомендации по выбору их элементов и определению основных характеристик базируются на основе анализа особенностей конструкции аппаратов, опыта эксплуатации и тенденций их развития. При этом подчеркивается, что аппараты не являются подводными лодками или судами и их нельзя проектировать по методикам и нормативам, принятым в судостроении и подводном кораблестроении. Безусловно, основы теории проектирования судов и подводных лодок распространяются и на подводные аппараты, однако при более глубоком рассмотрении становится очевидным, что аппарат значительно отличается от подводной лодки по назначению и конструктивной схеме. Он должен не только транспортировать людей, рабочее оборудование или грузы, но и выполнять в толще воды и на дне моря многооперационные работы на глубинах, не доступных водолазам. Поэтому он должен быть оснащен дополнительными системами и устройствами, обеспечивающими высокую маневренность, способные стабилизироваться в толще воды во время работы манипуляторов и т. п. Все это требует специальных методов и нормативов проектирования, учитывающих особенности подводных аппаратов.

Предлагаемая классификация подводных аппаратов по назначению и существенным техническим признакам дает читателю общее представление о многообразии типов аппаратов, которые могут служить примерами для выбора прототипа при проектировании. Принятое распределение подводных аппаратов по глубине погружения, способу поддержания в толще воды, автономности и связи с судном-базой также позволяет более четко и последовательно описывать различные типы аппаратов, их главные элементы и сам процесс проектирования.

В книге рассмотрены методы проектирования подводных аппаратов: по прототипу, методом последовательных приближений и вариаций. Показано, что при разработке конструкторской документации обычно используются все указанные методы, од-

пако в последнее время все большее распространение приобретает системный метод с применением точных математических зависимостей заданных и исконых величин, машинного счета и автоматизации графических проработок.

При описании различных стадий проектирования приведены перечень конструкторской документации каждой стадии, предъявляемые к ней требования, методика и последовательность проектов, расчетных и графических работ.

Показаны тактико-технические особенности современного обитаемого самоходного подводного аппарата, определены его главные элементы (прочный и легкий корпус, энергетическая установка, оборудование и т. д.) и основные характеристики (рабочая глубина погружения, водоизмещение, скорость и т. д.), дан анализ нагрузки масс и водоизмещающих объемов главных элементов и аппарата в целом. Кроме того, приведены рекомендации по выбору элементов конструкции аппарата и общего расположения экипажа и оборудования на аппаратах различного назначения.

Распределение нагрузки масс подводного аппарата и зависимости от основных характеристик и расположении оборудования внутри и снаружи прочного корпуса позволило выявить аналитические связи массы элементов аппарата с соответствующими характеристиками и разработать упрощенные формулы массы, объемов главных элементов и аппарата в целом.

В результате рассмотрения основных форм прочного и легкого корпусов даны рекомендации по их выбору, проектированию и расчету прочности в зависимости от назначения и глубины погружения аппарата. Показано, что наилучшими характеристиками обладает сферический прочный корпус, применяемый для аппаратов с большой глубиной погружения.

На основе анализа пропульсивных качеств аппаратов разработана методика расчета мощности, массы и объема энергетической установки и электрооборудования, даны рекомендации по выбору источников энергии и двигателяльно-рулевого комплекса.

Отмечена специфика конструкции и размещения устройств, систем и оборудования подводного аппарата, приведены приближенные формулы их массы и объема. Показана необходимость дальнейшего анализа и разработки более точных аналитических зависимостей массы перечисленных элементов от характеристик подводного аппарата.

Результаты исследования плавучести подтвердили эффективность применения легковесных поплавков для компенсации отрицательной плавучести аппаратов с глубиной погружения свыше 1000 м.

Приближенные формулы масс, водоизмещающих объемов и уравнение плавучести могут быть использованы для расчета водоизмещения, плавучести, главных размеров, определения совместности требований технического задания, а также для

исследования взаимосвязей основных характеристик проектируемого аппарата с помощью целенаправленного изменения его параметров, что является необходимым условием при выборе оптимального варианта аппарата.

Установлена необходимость дальнейшего развития предлагаемого метода оптимизации проектирования. Для определения оптимальности характеристик аппарата предлагается ряд критериев: плотность прочного корпуса, коэффициент его рациональности, энергоэффективность, относительная грузоподъемность и стоимость аппарата. Показано, что наиболее полным критерием качества аппарата является его экономическая эффективность.

Приведенные методика определения оптимального варианта по экономической эффективности и схема определения количества выполненных подводных работ или собранной научной информации, а также способ расчета эксплуатационных затрат требуют дальнейшей разработки на основе сбора и обработки статистических данных по эксплуатация подводных аппаратов совместно с обслуживающими судном. При этом следует иметь в виду, что в связи с непрерывным совершенствованием материалов, оборудования и технических решений предлагаемые числовые коэффициенты могут со временем изменяться, и это всегда необходимо учитывать при их использовании.

1. Алексеев Г. Н., Муратов В. С. Морские подводные двигатели. М., Транспорт, 1964.
2. Алексеев В. В. Проектирование судов. Л., Судостроение, 1975.
3. Букалов В. М., Нарусова А. А. Проектирование яхтенных подводных лодок. Л., Судостроение, 1968.
4. Биманский И. А. Атомные подводные лодки. Л., Судостроение, 1963.
5. Ван-Лангерен, Трейст Л., Кларк Д. Сопротивление, продольная жесткость и управляемость судов. Пер. с англ. Л., Судостроение, 1967.
6. Векслерман В. В., Герасимов Ф. А., Сергеев П. С. Проектирование атомных подводных лодок. М., Госиздат, 1966.
7. Волынский Я. И. Сопротивление воды движению судов. Л., Судостроение, 1964.
8. Гур Ж., Вальд П. На глубину 4000 метров. Пер. с англ. Л., Судостроение, 1965.
9. Гур Ж. 20 лет в батискафе. Л., Гидротехника, 1976.
10. Демин С. И. Аэродинамический расчет атомобатискафных судовых конструкций. Л., Судостроение, 1967.
11. Дюмонс М. И., Дмитриев А. И. Плавание глубин. Изд. 4-е, перераб. и доп. Л., Судостроение, 1974.
12. Дюмонс М. И., Дмитриев А. И. Подводные аппараты. Л., Судостроение, 1966.
13. Дмитриев А. И. Подводная лаборатория «Белая-300». — «Судостроение», 1967, № 2, с. 15.
14. Ефимов В. И. Основы теории подводных лодок. М., Воениздат, 1965.
15. Карачин М. Теория подводки. М., АН СССР, 1953.
16. Малева Р. Справочник по систематике. Пер. с англ. М., Советское радио, 1970.
17. Малин Д. Ч. Теория и техника проектирования кораблей. Пер. с англ. М., Воениздат, 1960.
18. Марусов А. А. Выделение и теория обшивки простыми ремнями. Л., Судостроение, 1976.
19. Палакина Г. Е. Сопротивление воды движению судов. М., Воениздат, 1953.
20. Павлов Е. И., Малев В. И., Шароватов Б. Е. Основы движения подводных аппаратов. Л., Судостроение, 1972.
21. Пикар Ж., Дана Р. Габриэла — семь миль. Пер. с англ. М., Наука, 1963.
22. Пикар Ж. На глубину корабль в батискафе. Пер. с франц. Л., Судостроение, 1961.
23. Похороненко М. Ю., Салетина М. А. Справочник по судовой кабелепроводке и проволкам. Л., Судостроение, 1966.
24. Прасолов С. В., Аметан М. В. Устройство подводных лодок. М., Воениздат, 1973.
25. Пресс М. Д. Матричные графика и автоматизация проектирования. М., Советское радио, 1975.
26. Сандаруп Х. Во льду на подводной лодке. Пер. с норв. Л., Молодая гвардия, 1925.
27. Сетков В. Ф. Строительная механика подводной лодки. Л., Судостроение, 1940.
28. Симановский А. В. Конструкционные задачи. Л., Судостроение, 1962.
29. Справочник судовой электротехники/Г. И. Киселёва и др. Т. 1—2. Л., Судостроение, 1975.
30. Тоомала А. А. Подводные транспортные суда. Л., Судостроение, 1965.
31. Трусов Г. М. Подводные лодки в русском и советском флоте. Л., Судостроение, 1963.
32. Царевский С. А., Рабин М. А. Обшивка судов. Л., Судостроение, 1953.
33. Шенский Ю. А. Справочник по строительной механике корабля. Т. 1—3. Л., Судостроение, 1958.
34. Шенский Ю. А. Строительная механика подводных лодок. Л., Судостроение, 1948.
35. An oceanographic research submarine for operation to 15,000 ft.—Transaction of the Royal Inst. Naval Arch/Work E. Jr., Dekart R., Mandel P., Kinsinger R. Jr., London, 1960.
36. Brarda J. F. Ocean engineering. New York, 1970.
37. Dethlefsen A. Deep water research of soviet fishermen.—Hawley Sibley Review, 1967, vol. 3, N 3, p. 15.
38. Dugan J. Man under the sea. Collier books, New York, 1960.
39. Ferry R. The case for the deep submersibles. North American Aviation, Aeronautic Division, New York, 1964.
40. Ferry R. The deep submersibles. Western Periodicals Co, New York, 1960.
41. Work E. Jr. Possibility of pressure hulls for ultradeep diving submersibles.—Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry, P. NO 61-WA-187, London, 1962.
42. Work E. Jr. Pressure vessel analysis of submersible hulls.—Welding Journal, 1964, vol. 6, N 2, p. 23.
43. Work E. Jr. The politics of the ocean. Washington, University of Washington press, 1972.

Введение	5
Глава первая. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕМЕ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	7
§ 1. Сведения о Мировом океане	—
§ 2. Классификация подводных аппаратов	10
§ 3. Составные и конструктивные элементы подводных аппаратов	21
§ 4. Методы проектирования	31
§ 5. Стадии проектирования	36
Глава вторая. ЭЛЕМЕНТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА. АНАЛИЗ НАГРУЗКИ И ПЛАВУЧЕГО ОБЪЕМА	49
§ 6. Тестиро-пробные особенности обитаемого самозадного аппарата	—
§ 7. Элементы конструкции аппарата	53
§ 8. Характеристики аппарата	56
§ 9. Аэлла массы и гидродинамического объема	59
§ 10. Распределение масс и объема по функциональному признаку	62
Глава третья. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА ПОДВОДНОГО АППАРАТА	69
§ 11. Форма внешнего корпуса	—
§ 12. Материалы для изготовления корпусов	72
§ 13. Особенности расчета прочного корпуса	77
§ 14. Определение массы корпуса	85
§ 15. Выбор листового корпуса	87
Глава четвертая. ВЫБОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, ОБЩЕСУДОВЫХ УСТРОЙСТВ, СИСТЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ	105
§ 16. Определение мощности и выбор энергетической установки	—
§ 17. Определение массы энергетической установки и электробоорудования	117
§ 18. Заборные устройства	129
§ 19. Общесудовые системы	136
§ 20. Оборудование помещений и средства управления	140
§ 21. Рабочий груз	149
§ 22. Балласт и дополнительные плавающие	153

Глава пятая. СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ МАСС И ПЛАВУЧЕСТИ АППАРАТА	158
§ 23. Уравнение масс аппарата	—
§ 24. Уравнение плавучести плавучего объема	162
§ 25. Уравнение плавучести аппарата	164
§ 26. Зависимость массы аппарата от основных характеристик	168
§ 27. Процедура оптимизации характеристик	174
Глава шестая. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА АППАРАТА	178
§ 28. Последовательность определения характеристик	—
§ 29. Выбор элементов и конструктивной схемы	183
§ 30. Процедура расположения корпуса и оборудования	203
§ 31. Выбор оптимального варианта аппарата	212
§ 32. Практический пример определения характеристик аппарата	224
Заключение	231
Указатель литературы	234