

Л. Б. Бреслав

**ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ
СРЕДСТВ
ОСВОЕНИЯ
МИРОВОГО ОКЕАНА**



ЛЕНИНГРАД
«СУДОСТРОЕНИЕ»
1982

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
СЕРИИ:

И. Б. ИКОННИКОВ (ответственный редактор), В. И. БАРАНЦЕВ, В. М. ГАВРИЛЦОВ, А. Н. ДМИТРИЙЕВ, В. А. ЛЮБАНОВ, В. Г. МАСЛЕННИКОВ, И. В. МЕРЕНКОВ, В. А. МОЛЧАЛОВ, И. Г. РУСЕЙНИК (зам. редактора), Н. П. ШАМАЧОВ, А. И. ШАЛОШНИКОВ, И. П. ЧИКЕР, В. С. ЯСТРЕБОВ

Редакционны:

К. Г. СЪВОРОВ
В. О. КУРБАНОВ

Научный редактор
А. А. НАРУСБАЕВ



Бреслав Л. Б.

- Б87 Технико-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана.—Л.: Судостроение, 1982 (Техника освоения океана).—240 с., ил.
ИСПИ

В книге впервые обобщены попытки инженерно-технических специалистов обоснования выбора оптимальных вариантов, наиболее полно удовлетворяющих требованиям заказчика. Систематизированы и обобщены материалы и даны сведения по многим вопросам, относящимся к выбору на основе технико-экономического обоснования путей освоения океана. Приведены примеры оценки экономической эффективности средств освоения океана, даны варианты об обоснованиях и разработках технических средств освоения океана, даны варианты об обоснованиях и разработках технических средств освоения океана, даны варианты об обоснованиях и разработках технических средств освоения океана.

Книга посвящена на содержание, материалы и разработки технических средств освоения океана и инженерно-технических средств освоения океана.

65.9(2)37

1805830000—062
P 048(01)—82

© Издательство «Судостроение», 1982

Трудно переоценить роль, которую играет океан в жизни человечества. С древних времен он был источником пищевых ресурсов, по нему пролегала сеть транспортных магистралей, объединяющих отдаленные страны и позволяющая использовать самый дешовый вид транспорта — морской. В наши дни роль океана возрастает и принципиально меняется. Возникает и успешно решается проблема освоения глубин и дна океана, в первую очередь колоссальных минеральных и энергетических ресурсов.

Ученые и государственные деятели, оценивая значение проблемы освоения Мирового океана, ставят ее в один ряд с кардинальными научно-техническими проблемами современности, с развитием ядерной энергетики и освоением космоса.

Океан постепенно становится полем интенсивной производственной деятельности. Некоторые области ее, в частности, разведка и добыча полезных ископаемых, возникли в наше время и развиваются бурными темпами. Этот процесс, являющийся следствием как растущих научных потребностей, так и научно-технического прогресса, порождает множество новых весьма сложных технических, экономических, экологических и правовых проблем, и сам, в свою очередь, стимулирует развитие новых научных дисциплин.

Особое место в этом комплексе проблем занимает экономика освоения океана. Прикладная функция этой научной отрасли — разработка и реализация методов обоснования и выбора путей освоения Мирового океана, обеспечивающих достижение требуемых результатов при наименьших затратах. Естественно, что в решении этой задачи первостепенную роль играет обоснование океанотехники — технических средств освоения Мирового океана. При этом само направление разработки теоретических основ и практических методов технико-экономического обоснования средств освоения океана постепенно оформляется в самостоятельную экономическую дисциплину.

По характеру использования часть средств освоения Мирового океана традиционна — к ним относятся транспортные и

рыборачисловые суда. Другие средства — научно-исследовательские суда, буровые суда, самозолетные и полувоздушные буровые установки (платформы), суда обслуживания морских нефтеприсосов, подводные обитаемые и необитаемые аппараты — сформировались как типы в наше время. Методы обоснования традиционных средств сложились и достаточно полно изложены в литературе, в том числе в монографиях В. И. Краева, О. К. Ступина, Э. Л. Лымова [29] и А. И. Ракова [50]. В этих публикациях рассматриваются конкретные вопросы обоснования именно транспортных судов в именно рыбопромысловых судах, а вопросы технико-экономического обоснования нетрадиционных типов средств освоения Мирового океана не освещаются.

Технико-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана имеет свои особенности. Они определяются конкретной спецификой этих средств и комплексностью всей проблемы, полноценное решение которой возможно только в рамках предусмотренного документом XXV и XXVI съездов КПСС программно-целевого планирования.

Задача технико-экономического обоснования требует достаточно серьезной подготовки в различных областях знаний — проектирования, технологии и организации постройки объектов, особенностей их эксплуатации. Поэтому наряду с «профессиональными» экономистами вопросы технико-экономического обоснования занимается все большее число инженеров-кораблестроителей, механиков, специалистов другого профиля, не имеющих достаточной подготовки по экономике, в частности по проблеме экономической эффективности, и изучающих эти вопросы самостоятельно. С учетом этого в книге кратко рассмотрены основные понятия экономики в объеме, необходимом для работы в этой области.

Хотя автор стремился излагать материал на уровне современных представлений и методологии, математический аппарат в книге использован минимальный. При этом особое внимание обращено не столько на строгость формального аппарата, сколько на ясность и последовательность экономической трактовки.

Пункт 1.2 написан совместно с К. Г. Суворовым. Автор выражает глубокую признательность профессору В. В. Рыбаленкову, доктору М. В. Савельеву, канд. техн. наук А. И. Дмитриеву, канд. экон. наук И. С. Одесской, оказавшим помощь при подготовке рукописи.

Поскольку многие вопросы даны в новой трактовке (это определяется спецификой тематики), возможно, что некоторые положения книги окажутся не бесспорными. Все критические замечания, возражения или уточнения, направленные в адрес издательства: 191065, Ленинград, ул. Госполк, а. 8, надвое «Судостроение» — будут приняты с благодарностью.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ
МИРОВОГО ОКЕАНА
И РАЗВИТИЯ ОКЕАНОТЕХНИКИ**

1.1. Перспективы освоения Мирового океана

В наши дни проблема комплексного освоения Мирового океана вызывает огромный интерес. Одна из его причин — возрастающие потребности человечества. Определяются они частично высокими темпами роста народонаселения земного шара. По данным ООН, население нашей планеты каждый год возрастает примерно на два процента. Ожидается, что к двухтысячному году на земле будет шесть-семь миллиардов человек.

Потребности человечества увеличиваются не только в связи с ростом его численности, но и потому, что промышленность поглощает в расчете на душу населения все больше и больше сырья и энергии. Подсчитано, что мировой расход сырья ежегодно возрастает в среднем на 4,8 %, причем в большей степени ценных и, в особенности, редких металлов. Рост ожидаемого потребления некоторых металлов [57] представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Прогноз потребления металлов промышленностью капиталистических стран (млн. т)

Металл	1975		1985		2000	
	США	Остальные страны	США	Остальные страны	США	Остальные страны
Железо	100,0	300,00	120,00	600,0	130,0	800,0
Медь	2,0	4,00	2,50	8,0	4,0	12,0
Алюминий	4,8	5,00	12,00	10,0	35,0	30,0
Цинк	0,2	0,30	0,38	0,6	0,7	0,8
Хром	0,5	1,00	1,00	1,9	1,2	2,4
Кобальт	0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,3

Еще более остра энергетическая проблема, в первую очередь проблема нефти. В оценке запасов нефти данные расходятся. Из разведанных на суше 62 млрд. т изъято из недр земли около 20 млрд. т [81]. Доказанные (достоверные) запасы нефти на суше составляют около 80 млрд. т [81]. Если учесть, что

ежегодно добывается около 3 млрд. т, а потребность в нефти продолжает расти, то становится острой проблема энергетической проблемы. До последнего времени наблюдалась определенная закономерность: разведанные запасы возрастали пропорционально росту добычи. Но, очевидно, что так будет не всегда. Кроме того, эта закономерность была справедлива для мира в целом: для развитых капиталистических стран уже сейчас рост разведанных запасов отстает от добычи, а потребление нефти растет в два-три раза быстрее, чем рост промышленной продукции.

Надежда на новые источники полезных ископаемых на суше невелика. Основная масса легкодоступных месторождений открыта, подавляющую их часть разрабатывают, многие месторождения значительно истощены. Сейчас стоят задачи освоения месторождений в труднодоступных районах севера, районах вечной мерзлоты, пустынь, когда затраты на разработку этих месторождений и транспортировку добытого сырья или продуктов его переработки будут существенно выше, чем на месторождениях, разрабатываемых сегодня.

Можно полагать, что наступит время, когда важнейшим источником энергии станет ядерное топливо. Атомные электростанции уже сейчас успешно конкурируют с тепловыми. А вода человечество осмелит термоядерный синтез и научится использовать в качестве топлива дейтерий, содержащийся в воде, оно получит практически неиссякаемый источник энергии.

Однако наряду с потребителями транспортируемой атомной энергии, по-видимому, всегда в жизни человечества будут играть значительную роль автономные ее потребители, в первую очередь автомобильный и воздушный транспорт. Поскольку создание ядерной энергии для таких потребителей — дело весьма отдаленного будущего, потребности человечества в жидком топливе еще долго будут достаточно велики. Не менее важен и другой аспект — использование нефти и угля как сырья для химической промышленности. И здесь они также труднозаменимы.

Стала очень серьезной еще одна проблема — проблема пресной воды. На колоссальных ее запасах на земном шаре основные источники — реки и озера — содержат лишь 0,02 % общих водных запасов. При этом запасы пресной воды распределены крайне неравномерно: более чем в 50 странах мира испытывается острый ее недостаток.

Самая богатая страна по запасам пресной воды — Советский Союз, однако и у нас ее запасы распределены неравномерно. На районы Европейской части с высокой плотностью населения приходится лишь 30 % водных запасов.

Вместе с тем потребление пресной воды стремительно растет. Так, для мытья одной тонны шкуры требуется около 800 м³

воды, одной тонны алюминия 1200 м³ воды. Особенно водоёмко производство синтетических материалов. На производство одной тонны капрона требуется около 5000 м³ воды. Велики и бытовые потребности в воде. Каждый житель Москвы расходует в сутки в среднем более 0,6 м³ воды, т. е. москвичи в год расходуют около 1,8 км³ воды, что составляет около 2 % годового стока Волги в Каспий.

Именно с ограниченностью ресурсов связана, вероятно, главная причина пристального внимания к Мировому океану — жизненная необходимость освоения его ресурсов для удовлетворения потребностей человека.

Спрашивается, что же может дать океан, каков его экономический потенциал?

До последних лет океан рассматривался как глобальная транспортная сеть, связывающая самые отдаленные точки земного шара, и как поставщик продуктов питания. Хотя эти аспекты использования океана отнюдь не потеряли своего значения и сегодня, океан еще один — использование богатств, скрытых как в самой воде, так и в водной толще, и, возможно, этот аспект станет в перспективе самым важным. Поскольку 90 % стоимости всех полезных ископаемых, добываемых в океане, приходится на долю нефти и газа и потенциальные возможности их добычи в ближайшей перспективе наиболее высоки, важнее с них рассмотрение экономического потенциала Мирового океана.

На морские месторождения приходится более 30 % всей мировой добычи нефти и 12 % добычи газа. По прогнозам к концу XX в. доля морской нефтедобычи может достичь 45 % от общемировой. Если на суше большинство месторождений-гигантов открыто, то в морях открытие таких месторождений, как месторождения Персидского залива с запасами более 1 млрд. т, по-прежнему, еще предстоит.

Добыты морских скважин чаще всего на шельфе выше континентальных. Если в США на суше промышленный дебит нефти имеют только 12 % скважин, то в море 42 %; в Австралии на суше нефть дает только одна из 140 пробуренных скважин, на море — одна из трех.

По ориентировочной оценке запасы нефти и газа в океане и пределах до глубины около 300 м составляют: нефти — 280 млрд. т, а газа — 140 триллионов м³ [6]. Для Советского Союза освоение морских месторождений нефти и газа также имеет важное значение. В решении XXV съезда КПСС предусматривается «шире развернуть геологоразведочные работы в шельфовых зонах морей и океанов, в первую очередь на нефть и природный газ»*.

* Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 188.

Советский Союз был одной из первых стран, начавших морскую добычу нефти.

Помимо нефти и газа, дно Мирового океана содержит и другие полезные ископаемые. Их значение меньше, что связано с технологическими трудностями поисков, разведки и добычи, а отсюда во многих случаях и с относительно низкой рентабельностью. Однако несмотря на то, что водоненосные разработки твердых полезных ископаемых еще незначительны по сравнению с разработками на суше, для многих стран уже сегодня они имеют первостепенное значение.

Рудные полезные ископаемые в зависимости от места их залегания делят на залежные ископаемые морского дна, коренные месторождения и прибрежно-морские россыли.

Абсолютные цифры, характеризующие ресурс рудных полезных ископаемых морского дна, огромны. Так, запасы железа оцениваются в 232 млрд. т. Примерные запасы металлов океанского дна значительно превышают запасы на суше: марганца больше, чем на суше в 50 раз, кобальта — в 620 раз, никеля — в 90 раз, меди — в 8,6 раза, циркония, молибдена и цинка во многие сотни раз. Основная часть этих ресурсов содержится в так называемых железомарганцевых конкрециях, области распространения которых занимают огромные площади. Конкреции встречаются и на малых глубинах, и в прибрежных водах, однако основная их часть сосредоточена на больших глубинах вдали от берегов. Концентрация конкреций колеблется от 10 тыс. т до 50 тыс. т на 1 км².

Обычно в среднем конкреции содержат 24 % марганца, 14 % железа, 1 % никеля, 0,5 % меди, около 0,5 % кобальта. Марганцевые руды, добываемые на суше, обычно в 1,5—2 раза богаче, чем конкреции, поэтому последние особенно привлекательны экономически из-за меди, кобальта и никеля. Химический состав конкреций зависит от глубины: с ее ростом повышается содержание никеля и меди, а содержание кобальта и ванадия падает.

Вопрос экономической эффективности процесса добычи и переработки морских конкреций необычайно важен. В США в связи с дефицитом металлов, добываемых на суше, проводилось специальное исследование этой проблемы. Установлено, что при достаточно большом объеме производства (5 тыс. т/сут) добыча будет экономически оправданной, причем первоначальные затраты окупятся за четыре года. Только за счет переработки 30 % разведанных залежей конкреций при сохранении нынешнего темпа потребления мировой промышленность может быть обеспечена на 2000 лет медью, а ванадием и кобальтом еще на более длительное время.

Среди коренных месторождений наиболее важны разрабатываемые шхальным способом — подводным шхальми, традиционными с суши, или с естественных и искусственных, специально

построенных островов. Таким способом добывают каменный уголь, железную руду, руды меди, олова, никеля.

При современной технике разработка морских месторождений шхальным способом при достаточной большой запасе может быть рентабельной при удалении от берега до 25 км, экономически оправданной и эксплуатации месторождений на расстоянии до 50 км от берега.

Прибрежно-морские россыли содержат преимущественно рудные минералы, в первую очередь титановые (илменит и рутил), а также циркон и монацит. Кроме того, в некоторых акваториях россыли содержат хромит, магнетит, касситерит, алмазы, драгоценные металлы: золото, платину.

Илменит используют главным образом в лакокрасочном производстве и в металлургии. Рутил содержит до 60 % чистого титана. Цирконий песок применяют и металлургии и для получения чистого циркония, обладающего высокой антикоррозионными свойствами. Цирконий, слабо поглощающий тепловые нейтроны, находит применение в реакторостроении. Из монацита получают очень нужные редкоземельные элементы, главным образом торий и цезий.

Наиболее крупные месторождения этих минералов находятся у восточного побережья Австралии. Их протяженность вдоль берега превышает 1,5 тыс. км. На долю Австралии приходится более 65 % мировой добычи этих полезных ископаемых (90 % рутила, 60 % циркония и т. д.). Выручка от их экспорта в 1980 г. должна достигнуть 70 млрд. долл. Богатые месторождения этих минералов находятся у юго-западного и юго-восточного побережья Индии, в Бразилии, Шри-Ланка, Африке, США, имеются россыли и в СССР.

Магнетит содержит до 70 % железа, а хромит и касситерит (оловинный камис) — основные руды для извлечения хрома и олова соответственно. Богатые россыли магнетита сосредоточены в Новой Зеландии, в Тагманан (Австралии), Японии. В Японии около 60 % общей добычи железной руды (примерно 1,5 млн. т) покрывается за счет магнетитовых песков. В Новой Зеландии на базе магнетита в прилижных песках работает металлургический комбинат. Касситерит принадлежит к менее распространенным минералам. Его россыли сосредоточены в Юго-Восточной Азии — у побережий Малайзии, Таиланда и Индонезии — главных производителей мирового олова.

Помимо названных минералов, в морских россылях содержится и уже упоминаемые драгоценные металлы: платина — в заливе Гудинкс (США), золото — на Аляске и в других районах тихоокеанского шельфа, а также алмазы — у побережья Юго-Западной Африки (Намибия). Суммарные запасы алмазов на шельфе и береговой полосе в этом районе оцениваются в 40 млн. карат (8 т).

К минеральным ресурсам следует отнести и различные элементы, содержащиеся в 1,4 млрд. км³ вод Мирового океана. Вещества этих ресурсов в абсолютном измерении колоссальны: общее количество растворенных в океане минеральных веществ составляет 50 · 10¹⁵ т.

В одном кубическом метре морской воды содержится в среднем 1,3 кг магния; 0,3 г брома; 0,079 г меди; 0,011 г урана. Растворенные в морской воде элементы составляют 35% от общих их запасов. В частности, общие запасы золота в океане оцениваются в 8—10 млн. т.

Однако важны не столько абсолютные величины, сколько концентрации, которая и определяет возможности промышленной добычи. Из названных элементов извлекаются в промышленных масштабах лишь бром и магний. На океан приходится сейчас около 70% мирового производства брома, а добыча морского магния в США превысила 250 тыс. т. Извлечение других химических элементов из вод океана сегодня пока еще нерентабельно [72].

Изучение минеральных ресурсов Мирового океана привело к открытию нового типа источников полезных ископаемых — долин горных рассолов с температурой выше 40° и высокой концентрацией минеральных веществ. Основной компонент рассолов — поваренная соль, а содержащиеся в них металлов достаточно велики: марганца 160 мг/л, цинка 7 мг/л, меди до 1 мг/л.

Подстилающие эти рассолы осадочные слои обогащены железом, медью, свинцом, серебром и золотом. По данным [25], месторождения такого типа сосредоточены в глубоководной центральной части Красного моря. Перспективны в отношении таких источников Черное и Средиземное моря.

И, наконец, о пресной воде. Запасы воды в океане (1,4 млрд. км³) практически безграничны, и вопрос стоит лишь об экономически рентабельном способе получения из нее пресной воды.

В этом богатстве океана — вторая причина интереса к его освоению. Однако путь к промышленному освоению богатств океана непрост.

Создание научно-технического потенциала, обуславливающего реальные возможности для освоения богатств Мирового океана, базируется в основном на успехах в прикладных отраслях науки и техники. Ультразвуковая техника вооружила исследователей мощными средствами подводных извлечений, измерений и связи, а отработка телевизионных средств наблюдения обеспечила практически непосредственные зрительные наблюдения процессов, происходящих в недоступных человеку местах. Ядерная энергетика создала предпосылки построения подводных и, в особенности, подводных технических средств практики с неограниченной автономностью и высокой энергооборуженностью. Прогресс в химии и металлургии, обусловивший

возникновение легких, прочных и коррозионно-стойких материалов, позволил создавать корпуса подводных аппаратов, рассчитанных на освоение больших глубин. Полупроводниковые приборы и электронно-автоматизированная техника обеспечили высокую эффективность сбора и обработки информации.

Телеуправляемые системы обусловили построение подводных необитаемых аппаратов. Космическая техника сделала возможным глобальный обзор Мирового океана и существенно расширила навигационные возможности средств его освоения, в частности, при определении и смещении своего места.

И, наконец, нельзя не отметить тесную взаимосвязь между успехами в военном кораблестроении, в первую очередь при строительстве атомных подводных лодок, и прогрессом в океанотехнике. Решение важнейших проблем энергетики, навигации, связи, динамики движения, жизнеобеспечения позволило применять полученные результаты в мирной области изучения и освоения океана.

Кроме того, этот научно-технический прогресс в значительной степени обогатил неизмеримо выросшим знанием об океане. Наука об океане — океанология — достаточно древняя отрасль знания, если считать временем ее возникновения развитие первых представлений о земной поверхности. Впервые источником информации для ее сбора, анализа и обобщения служили судовые журналы. Регулярные научные исследования океана начались во второй половине XIX в.

Многие исследователи признают оформление океанологии в самостоятельную научную отрасль в кругосветной экспедиции на «Челленджер» (1872—1876), впервые выполнившей большой объем океанологических исследований.

Особое место в комплексе наук об океане заняла морская геология. Революционное значение в ее развитии имело открытие системы срединно-океанических хребтов. В успехах морской геологии большая роль принадлежит исследовательскому судну «Гламар Шелленджер», пребуравшему к концу 1972 г. более 300 скважин на дне Атлантического и Тихого океанов.

Геологические материалы большой ценности были получены при разведке нефти, газа и рудных ископаемых, осуществлявшейся рядом стран, в том числе и Советским Союзом. Проблема изучения размещения конкреций на дне Мирового океана была поставлена специальный рейс исследовательского судна «Витязь» — составлена карта размещения железомарганцевых конкреций на дне Мирового океана.

Научно-технический прогресс стирает границу между фундаментальными и прикладными науками, что в полной мере относится и к океанологии. Фундаментальные океанологические исследования приобретают принципиальную экономическую ценность. В развитых капиталистических странах и в СССР разрабатываются прикладные исследования, цель которых — разработка

технологии рентабельной добычи и извлечения минеральных ресурсов Мирового океана. Построены и эксплуатируются технические средства добычи нефти и природного газа, различающиеся по тату в зависимости от глубины моря в районе, где они будут эксплуатироваться.

В 1970 г. в США создан метод, с помощью которого удастся извлечь до 98 % всех металлов, содержащихся в концентратах. В США, Японии и ФРГ выпущены проекты драг, обеспечивающих добычу конкреций с глубин до 6000 м. Аналогичные по назначению проекты разрабатываются и в СССР. В Японии должна быть пущена опытная установка для извлечения урана из морской воды. А к 1990 г., по мнению специалистов, Япония будет покрывать до 15 % потребности в уране для атомных электростанций за счет урана, извлеченного из морской воды.

С начала XIX в. в различных странах пытались получить из морской воды золото. Немецкому химику Э. Бауэру удалось получить из 100 л морской воды 1,4 мг золота. Исследования аналогичного характера проводятся и в СССР. В 1959 г. во время одного из рейсов на научно-исследовательском судне «Михаил Ломоносов» была установлена фильтрующая колонка с ионообменными смолами (ионитами). В течение рейса через колонку прошло примерно 60 м³ морской воды. В результате каждый килограмм ионитов выловил 0,15 г урана, 0,125 г серебра, а также, правда в значительно меньших количествах, стронция, золото, медь и цинк. В другом эксперименте из 500 л морской воды был выделен 1 мг золота.

Учитывая высокие темпы научно-технического прогресса, в частности целенаправленных исследований в этой области, можно полагать, что в сравнительно недалеком будущем будут разработаны достаточно экономичные технологические процессы извлечения ценных металлов из морской воды. Это особенно важно в связи с тем, что в отличие от месторождений на суше, истощавшихся по мере их эксплуатации, морские месторождения возобновляются естественным путем.

Значительные успехи достигнуты и в решении проблемы опреснения морской воды. Ныне во всем мире действуют более 300 опреснительных установок. Самые крупные из них сооружены в СССР, США, Венесуэле, Кувейте, Израиле, Японии и других странах. В 1964 г. между СССР и США было заключено соглашение о сотрудничестве в области опреснения соленых вод, в том числе и с использованием атомной энергии. В этой области Советский Союз имеет весьма значительные достижения.

Атомный опреснитель на быстрых нейтронах в г. Шевченко, на берегу Каспийского моря, полностью обеспечивает город пресной водой, причем на каждого жителя приходится в сутки более 500 л пресной воды высокого качества.

Очевидно, что научно-технический и экономический потенциал человечества достаточен для освоения богатств Мирового океана. В этом заключается третья причина пристального внимания к проблеме Мирового океана и стремительной интенсификации деятельности по его освоению.

Проблеме исследования Мирового океана и освоения его ресурсов большое внимание уделяет Организация Объединенных Наций. Несколько сессий ООН приняла резолюцию по усилению исследований в этом направлении.

Активное участие в исследованиях Мирового океана принимает Советский Союз. На базе Института океанологии АН СССР создан международный координационный центр, согласовывающий деятельность многочисленных организаций и ведомств по исследованию Мирового океана.

К началу 1970 г. в мире насчитывалось 1170 центров океанологических исследований. В Советском Союзе океанологические исследования ведут 53 крупные научно-исследовательские организации (не считая вузов). Общее руководство и координацию исследований осуществляет «Совет по изучению океанов и морей и использованию их ресурсов».

Ведущее место в капиталистическом мире в проблеме исследования и освоения Мирового океана занимает США. В 1966 г. конгресс США принял закон, определявший политику в области исследования и освоения Мирового океана. Этот закон предусматривает восемь основных направлений исследований, в том числе интенсификацию освоения морских ресурсов, расширение океанографических исследований, улучшение подготовки специалистов в области океанографии.

Между Советским Союзом и США заключен договор о сотрудничестве в области исследований Мирового океана, в частности глубокого дна океанов, охране окружающей среды, стандартизации океанографической аппаратуры и методов исследовательских работ в океане.

Пуль решения проблемы освоения Мирового океана, извлечения его огромных богатств непрост и велик, а главное, длителен. Одновременно с ростом объема исследований, и даже опережая их, растут затраты, связанные с проведением этих исследований. Достаточно сказать, что в США общие затраты на освоение Мирового океана выросли с 335 млн. долл. в 1960 г. до 1044 млн. долл. в 1978 г., т. е. более чем в три раза (рис. 1.1 и 1.2*). [87—97]. Анализ приведенных графиков позволяет заметить, что рост затрат на освоение минеральных ресурсов заметно обгоняет рост общих затрат на освоение Мирового

* Стор. анализ и обобщение материалов, упомянутых в тексте, и построение приведенных зависимостей выполнено Г. П. Давыдовым, преподавателем из в раскрасочном авторе.

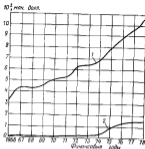


Рис. 1.1. Динамика федеральных расходов США на освоение Мирового океана.

1 — общие расходы; 2 — освоение минеральных ресурсов и решение проблемы чистой воды.

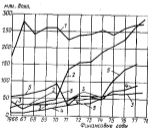


Рис. 1.2. Распределение федеральных расходов США между ведомствами.

1 — министерство обороны; 2 — министерство торговли; 3 — национальная научная организация; 4 — министерство транспорта; 5 — министерство энергетики и мин. дел.

океана. Затраты по этой статье выросли в 28 раз: с 5 млн. в 1966 г. до 140 млн. долл. в 1978 г.

Из ведомств США наибольшие затраты приходится на долю министерства обороны, причем уровень этих затрат довольно стабилен, и министерства торговли, которому подчинено национальное управление по освоению океана и атмосферы (НУОА), занимающееся разведкой, разработкой и охраной морских ресурсов на шельфе. Помимо федеральных ведомств и исследовательских организаций, в исследования океана принимают участие и частные промышленные корпорации, причем затраты частного капитала примерно равны затратам федеральных ведомств.

Реализация национальных проектов должна обеспечить решение одной из основных технико-экономических задач, определяющих политику США в этой области: полностью освоить к 1980 г. территориальные воды, шельф и шельф до глубины 600 м, а к 2000 г. начать использование участков для океана на глубинах до 6000 м. Эта программа рассматривается в США как одно из важных средств достижения экономического, социального, научных и военно-политических преимуществ для США [85].

Значительная часть расходов на освоение Мирового океана падает на создание специальных добывающих, транспортных и обеспечивающих средств, предназначенных для научных исследований. В связи с этим в мировом судостроении сложилось определенное специализированное направление по созданию таких средств. Ведущие положения в этой специализированной отрасли судостроения занимают США и Япония.

Для этой отрасли судостроения характерен довольно быстрый рост стоимости специальных судов и средств (рис. 1.3, построено по данным [47]). Этот процесс в известной мере объясняется одним из следствий научно-технического прогресса — ростом технической вооруженности и сложности этих средств, а также в значительной степени инфляционным фактором.

В Советском Союзе также широким фронтом ведутся работы по проектированию и строительству технических средств для исследования океана и добычи минеральных ресурсов.

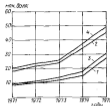


Рис. 1.3. Динамика цен на некоторые средства освоения Мирового океана.

1 — специализированные рыболовные суда; 2 — исследовательские суда; 3 — рыболовные суда с морской стабилизацией; 4 — рыболовные суда с динамической стабилизацией.

1.2. Средства освоения Мирового океана и тенденции их развития

Накопленный опыт показывает, что в решении задачи освоения Мирового океана существенную, если не определяющую роль играют научные исследования, преследующие различные цели: освоение минеральных и биологических ресурсов, обеспечение нормальной деятельности транспортного и военно-морского флотов, сбор научной информации о процессах, протекающих в гидросфере и атмосфере.

Осуществление этих исследований требует использования различной измерительной аппаратуры, различных методики проведения исследований и способы добычи полезных ископаемых. Поэтому эффективное выполнение исследовательских работ и работ по непосредственной освоению минеральных ресурсов требует использования комплекса различных технических средств. Этот комплекс включает следующие технические средства различных назначений: обеспечивающие проведение фундаментальных научно-исследовательских работ; осуществляющие поиск и разведку полезных ископаемых; вспомогательные средства, обеспечивающие функционирование первых трех групп. В него входят суда и плавучие технические средства различных типов; некоторые из них можно использовать только по одному назначению, другие — по нескольким.

Научные исследования осуществляют в основном научно-исследовательские суда с помощью буйковых систем, обеспечивающих регулярное поступление информации. Поиск и разведку полезных ископаемых ведут специальные суда, в том числе и суда разведочного бурения, а также плавучие буровые установки (платформы) для разведочного бурения. Эксплуатационное бурение, добыча нефти и газа производится со стационарных платформ.

Специальные суда созданы для добычи железомарганцевых конкреций и для их обогащения (плавучие горно-обогащительные комбинаты — плавокомы). Функционирование этих средств обеспечивают вспомогательные суда, в том числе универсальные и суда снабжения, буксиры, заливочные якорей, суда для подводно-технических работ. Монтаж буровых установок осуществляют крановые суда и плавкраны; прокладку подводных трубопроводов — суда трубоукладчика.

Необходимость в большом масштабе работ под водой потребовала создания специальных средств обеспечения длительного пребывания человека в условиях повышенного давления, которые образуют свой тип технических средств.

Особую группу средств составляют объекты и необитаемые подводные аппараты. Применение их универсально: при научных исследованиях, обслуживании устьевого оборудования скважин, подводных трубопроводов и в других областях прова-

ждственно-хозяйственной деятельности, в частности в рыбном хозяйстве, при поиске затонувших объектов.

Еще одна группа средств — суда для очистки акватории — связана с темпами глобального загрязнения Мирового океана.

Естественно, что кроме перечисленных типов судов и плавсредств в процессе выполнения работ используют и суда традиционных типов — танкеры, рудозовы и т. п.

Типы судов и плавсредств, входящих в этот комплекс, развиваются с различной интенсивностью. При постройке некоторых из них используют многолетние традиции (научно-исследовательские суда), другие типы находятся на начальной стадии развития, когда только прорабатываются технические идеи (суда для добычи железомарганцевых конкреций).

Основную часть комплекса технических средств освоения Мирового океана составляют научно-исследовательские суда. К концу 70-х гг. в отечественном флоте насчитывалось 82 единицы (суда специальной постройки водоизмещением свыше 500 т). Кроме того, в качестве научно-исследовательских использовалось около 300 переоборудованных рыболовных, пассажирских и буксирных судов. По количеству научно-исследовательских судов наша страна и полтора раза превосходит такие страны, как Великобритания, Франция и ФРГ вместе взятые, и имеет 19 % состава общемирового научно-исследовательского флота, занимающий третье место в мире (США — 25 %, Япония — 22 %).

Классификация научно-исследовательских судов (верная, насколько нам известно) предложена Н. Ф. Медведевым [33]. Хотя при классификации учитывалось и водоизмещение, в ее основу было положено назначение судна. Выделяются следующие основные классы научно-исследовательских судов: экспедиционные большого водоизмещения (5—7 тыс. т и выше), например «Академик Курчатов» и др.; универсальные научно-исследовательские водоизмещением до 4 тыс. т — «Дискавери», «Метеор»; океанографические, гидрографические, метеорологические и другие классы НИС, специализированные на сравнительно узких задачах. Близику к этой классификации предлагает Г. К. Крушин [47].

До 60-х гг. в качестве научно-исследовательских судов использовался главным образом переоборудованные суда: судно рассматривала в основном как транспорт для оборудования и обслуживающего его персонала. С начала 60-х гг. в большинстве плавучих в этой области стран постройки НИС ведется по специально разработанным проектам, а переоборудование с этой целью встречается только как исключение. Объясняется это тем, что научно-исследовательское судно должно удовлетворять специфическим требованиям кораблестроительского характера. Оно должно отличаться хорошей мореходностью, в том

числе и на малых водах, так как большую часть времени работает именно на них.

Моретовные качества должны обеспечивать возможность работы при сравнительно высокой балльности моря, в противном случае судно будет малоэффективным. Так, снижение допустимой балльности моря с пяти баллов до четырех увеличивает время простоя почти втрое.

Суда должны обладать хорошей маневренностью — это является как условием плавания вблизи подводных препятствий и в узкостях, так и необходимостью работы с океанской аппаратурой.

Научно-исследовательские суда должны быть приспособлены для выполнения различных исследований без существенного переоборудования. На судах применяют «съемные» лаборатории, оборудование которых монтируется на берегу в контейнерах, устанавливаемых при необходимости на судно. Навигационная система определения и счисления места на судне должна обладать высокой точностью и надежностью; в противном случае утрачиваются достоверность и ценность получаемой информации.

К научно-исследовательским судам предъявляются и другие, менее значительные требования. Их совокупность и обуславливает наличие НИС в особый тип судов. Наиболее крупными из отечественных научно-исследовательских судов для комплексных исследований океана являются «Академик Курчатов» и однотипные с ним «Дмитрий Менделеев» и др. (рис. 1.4). Эти



Рис. 1.4. Научно-исследовательское судно АН СССР «Дмитрий Менделеев».

суда имеют водоизмещение 6830 т. Двухвальная дизельная энергетическая установка общей мощностью 8000 л. с. (3900 кВт) обеспечивает скорость 18 уз. Суда этого типа имеют личную надлубое оборудование: 4 лебедок различного назначения, 7 стрел и 16 кран-балок. Предусмотрены усложнители катки в виде управляемых выдвижных носовых и кормовых рулей.

На судне оборудовано 27 лабораторий различного профиля, в том числе: гидрографическая, гравиметрическая, гидрологическая и др. Площадь лабораторий на судне «Академик Курчатов» 539 м², на судне «Дмитрий Менделеев» 637 м².

Наряду с судами большого водоизмещения, которые используются для комплексных исследований, важное значение приобретают и научно-исследовательские суда, предназначенные для специальных исследований, в том числе геолого-геофизических работ. С 1973 г. было начато строительство малых геолого-разведочных научно-исследовательских судов типа «Агат», предназначенных для работы в прибрежной зоне. На них установлены оборудование для проведения океанографических и геолого-разведочных работ, устройства для забора грунта, буровая пестиковая установка вибрационного типа и дочеритель. Водоизмещение судна 267 т, мощность главного двигателя (дизель) 300 л. с. (220 кВт). Скорость судна — 9 уз. При создании судна был использован проект рыболовного сейнера отечественной постройки. Это положительно сказалось и на стоимости судна, и на сроках его создания.

Однако постройка специальных малых научно-исследовательских судов бездумным сериальным по различным проектам экономическое нецелесообразно. Значительно рациональнее строить унифицированные суда, в которых хотя бы основные подсистемы, такие как корпус и энергетическая установка были бы в основном одинаковыми. Действительно, унификация может снизить среднесерийную стоимость унифицированных подсистем на 20—30 %, что, в свою очередь, на 8—12 % удешевит судно в целом.

Постройка первых научно-исследовательских судов по унифицированному проекту началась с 1974 г. Годовое судно «Валерия Урываев» спроектировано с учетом современных требований отечественной и мировой практики. Унифицированные научно-исследовательские суда имеют одинаковые главные размеры и конструкцию корпусов, энергетические установки, единые принципы общего расположения жилых и служебных помещений. Водоизмещение судна «Валерия Урываев» 1100 т, дальность плавания 10 тыс. миль, скорость 12 уз. Управление одновалной дизельной установкой, винтом регулируемого шага и подруливающим устройством осуществляется из рулевой рубки.

На судне 10 лабораторий и вычислительный центр, их общая площадь около 100 м². На базе этого проекта строят суда

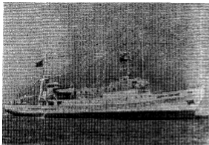


Рис. 15. Унифицированное научно-исследовательское судно «Пионер».

разных назначений для Главного управления гидрометеослужбы, Академии Наук СССР, Министерства геологии СССР.

Практически одинаковы с судами типа «Валерий Урицкий» унифицированные суда типа «Пионер» (рис. 15).

Особенности географического расположения Советского Союза обуславливают необходимость создания специальных судов для исследований в Арктике, поскольку обычные научно-исследовательские суда не приспособлены к решению этой задачи. В связи с этим, в 1967 г. был построен гидрографический ледокол «Владимир Каврайский», предназначенный для комплексных исследований в Арктических районах. Его водоизмещение 3,5 тыс. т, на нем размещено 8 лабораторий общей площадью помещений около 100 м² и вычислительный центр. Двухвальная дизель-электрическая установка обеспечивает ледоколу высокую маневренность, необходимую для проведения исследований в ледовых условиях.

В 1979 г. отечественный флот научно-исследовательских судов пополнился ледоколом «Ото Шмидт».

Благодаря сочетанию хороших ледокольных и мореходных свойств, судно может успешно вести исследования как в волеизлиях, так и в ледовых условиях приполярных районов, ведущих для других НИС. Водоизмещение ледокола 3700 т. Главная энергетическая установка дизель-электрическая общей мощностью 5100 л. с. (3750 кВт). Она состоит из трех дизель-генераторов и двух гребных двигателей. Скорость полного хода

15 уз. На судне оборудовано 14 лабораторий общей площадью 320 м². Для уменьшения амплитуд бортовой качки установлен автоматический усилитель качки. Для того чтобы в ледовых условиях не прекращались исследования, предусмотрена специальная шахта, проходящая от верхней палубы до дна. По этой шахте можно спускать аппаратуру.

Другой важной группой средств, обеспечивающих исследования в освоение Мирового океана, служат обитаемые подводные аппараты. По сравнению с надводными судами они обладают преимуществами, связанными с возможностью вести исследования по всей толще вод и на грунте. К этим преимуществам относятся: повышение достоверности информации, возможность взять большое число проб грунта, совместно с описанием и фотографией мест, где взяты пробы. Обитаемые подводные аппараты (ОПА) расширяют не только исследовательские, но и производственные возможности. Их успешно используют для поиска, осмотра и ремонта подводных объектов, в первую очередь трубопроводов и кабелей.

За рубежом с помощью подводных аппаратов выполняют различные работы: исследованием и интересах рыбного хозяйства, поиск затонувших объектов, спасательные работы, исследованием морского дна и отдельные работы по заказам военного флота. Распределение эксплуатационного времени ОПА имеет следующий характер: обслуживание морских нефтепромыслов 50 %, укладка в грунт труб и кабелей 20 %, подводные и аварийно-спасательные работы 12 %, биологические и геологические исследования, контроль за загрязнением и другие работы 18 % [47].

Первыми подводными аппаратами считают батисферы и гидростаты. В 1953 г. были созданы швейцарский батискаф «Триест» и французский ФНРС-3. В Советском Союзе в это время использовали гидростат ГКС-6 и подводную лодку «Северянка», на которой были установлены алюминаторы, светильники, устройства для взятия проб с грунта и другое оборудование.

Подводные аппараты классифицируют по нескольким признакам: по назначению (исследовательские, производственные, транспортные); по способу доставки к месту погружения (бухсируемые, транспортируемые на борту судна-носителя, автономные); по способу удержания на глубине и, наконец, по основным технико-эксплуатационным элементам: водоизмещению, глубине погружения, скорости.

Общее число эксплуатируемых ОПА к концу 70-х гг. было возможно более ста. За последние годы средний темп прироста их численности превышает 25 % в год. Судя по тенденциям роста объема подводных работ, можно полагать, что темп прироста числа обитаемых аппаратов сохранится.

Наиболее крупные поставщики подводных аппаратов на мировом рынке — американская фирма «Перри океанографик» (аппараты типа ПК) и канадские фирма «Интернейшнл хайдродайвменикс» (аппараты «Пайсис»), фирмы ФРГ «Брукер физик АГ» (аппараты «Мермайд») и «Машиненбау Габлер» (ОПА «Тоурс»).

Аппараты канадской постройки «Пайсис» водоизмещением от 7 до 11 т с глубиной погружения от 1000 до 2000 м обладают высокими технико-эксплуатационными характеристиками и используются для научных исследований, спасательных операций, подводных работ по укладке кабелей и трубопроводов на морском дне и обслуживанию морских нефтепромыслов. Всего к началу 1980 г. было построено 15 аппаратов «Пайсис», два из них приобретены Институтом океанологии АН СССР и были использованы при изучении океана, Красного моря и озера Байкал.

Подводные аппараты, построенные в ФРГ фирмой «Брукер физик АГ», имеют глубину погружения от 300 до 1000 м (проект «Мермайд-VIII»). Водоизмещение аппаратов в пределах от 10 до 18 т. Аппарат «Мермайд-VI» оборудован сферической камерой для выхода водолазов и для спасательных коек. Скорость хода (подводная) около 3 уз, экипаж — два человека, кроме этого на борту находятся два водолаза. Стоимость аппарата около 1,5 млн. марок ФРГ (850 тыс. долл.) (рис. 1.6).

Анголомские ОПА, проектируемые фирмой «Машиненбау Габлер», представляют собой малые подводные лодки с довольно высокими технико-эксплуатационными характеристиками. ОПА TOURC-200/500 имеет водоизмещение около 150 т, подводную скорость 11 уз, надводную 8 уз, предельную глубину погружения 500 м.

ОПА TOURC-430/500 предназначен для исследования морского дна, осмотра подводных кабелей, трубопроводов и бурения скважин глубиной до 200 м. Предельная глубина погружения этого аппарата 500 м. Экипаж аппарата — восемь человек и дополнительно три специалиста по бурению и два водолаза. Скорость подводного хода 10,5 уз (экономическая 8 уз), скорость надводного хода — 10,5 уз. Дальность плавания 2200 миль. На борту предусмотрена буровая установка для прохода скважин с морского дна. Водоизмещение довольно значительно 830 т, стоимость постройки 40,0 млн. марок (около 23 млн. долл.). Строят аппараты в Англии, Франции и Японии.

Французский центр подводных исследований СНЕКСО реализует проект аппарата с глубиной погружения до 3000 м. Однако анализ статистических данных за 70-е гг. показывает, что подводные аппараты с глубиной погружения более 2000 м практически не строят, основное внимание уделяют отработке конструктивных типов и совершенствованию технических решений для аппаратов, рассчитанных на умеренные глубины.

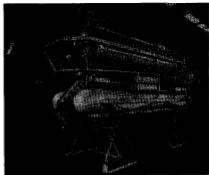


Рис. 1.6. Подводный аппарат «Мермайд» (ФРГ).

В Советском Союзе находится в эксплуатации ОПА отечественной постройки «Север-2» водоизмещением около 39 т, ТИПРО-2, водоизмещением 10,5 т и др. (рис. 1.7 и 1.8).

ОПА «Север-2» имеет стальной цилиндрический прочный корпус, обеспечивающий погружение на глубину до 2000 м. Легкий корпус и балластные цистерны изготовлены из стеклопластика. Значительная часть приводных механизмов и источников энергии сделаны в погружном исполнении и размещены вне прочного корпуса. Это обеспечивает большую безопасность эксплуатации аппарата и надежность, в том числе и на больших глубинах. Для вертикальных перемещений ОПА оборудованы поворотными винтами с насадками.

Подводный аппарат ТИПРО-2 хотя и предназначен для меньших глубин (до 400 м), имеет ряд сходных технических решений: цилиндрический прочный стальной корпус и легкий корпус на стеклопластике. Вертикальные перемещения обеспечивают гребные винты, расположенные в трубах легкого корпуса.

В 1976 г. создана многоместная подводная лаборатория «Бентос» с глубиной погружения 300 м, командой 12 чел. и автономностью до 12 сут [51]. В это же время институт океано-

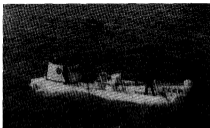


Рис. 17. Автономный плавучий обслуживаемый аппарат «Север-2».

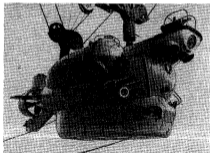


Рис. 18. Обслуживаемый подводный аппарат ТИИРО-2.

догов построил аппарат «Аргус» с глубиной погружения до 600 м [47].

В процессе эксплуатации в промежутках между погружениями подводные аппараты нуждаются в «сухом» осмотре и обслуживании. Этот вопрос решают путем создания системы «обслуживаемый подводный аппарат — судно-носитель», на борту которого поднимается подводный аппарат для обслуживания. Однако функция судна-носителя значительно шире: транспортировка ОПА к месту работ, хранение его на борту, размещение гидрозонтов и др.

На первых стадиях эксплуатации ОПА в районах с благоприятной гидрометеорологической обстановкой использовали простые носители — понтоны-катамараны. После успешного применения судна-носителя «Тритон» (Франция) создано специальное судно-носитель ОПА главным образом путем переоборудования.

Требования обеспечения высокого уровня надежности безопасной эксплуатации подводных аппаратов обуславливают установку на судах-носителях и самих аппаратах специальных спуско-подъемных устройств, средств связи с аппаратами и их обнаружения как в подводном положении, так и после всплытия на поверхность. Этим требованиям удовлетворяют отечественные суда-носители «Ихтиандр» и «Одиссей», предназначенные для базирования аппаратов «Север-2» и ТИИРО-2. Подводный аппарат на этих судах размещен в бортовом аппарате, снабженном раздвижным бортом и выдвижным спуско-подъемным устройством. Опыт десятков погружений аппарата «Север-2» в различных районах от Норвежского моря до Индийского океана показал высокую надежность такой конструкции.

Интересно отметить, что в связи с освоением районов с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями возможно создание подводных лодок-носителей подводных аппаратов, позволяющих базировать до двух подводных аппаратов водоизмещением до 50 т. Хотя аппараты при этом можно использовать практически нас зависимость от состояния моря, что, естественно, повышает их эффективность, во-первых, в ближайшей перспективе основным типом носителей подводных аппаратов останутся все же подводные суда.

Развертывание работ по добыче нефти в море потребовало постройки большого количества технических средств, принципиально отличающихся от традиционных: буровых платформ различных архитектурно-конструктивных типов и специальных судов. Количество этих средств в связи с тенденцией к расширению районов континентального шельфа, где ведется бурение, непрерывно растет, а сами средства качественно совершенствуются и совершенствуются. Темпы строительства буровых платформ и судов представлены на рис. 1.9.

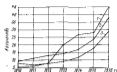


Рис. 19. Темпы строительства технических средств для проведения работ на континентальном шельфе: 1 — полупогружаемые платформы; 2 — самоподъемные платформы; 3 — буровые суда.

предъявляют к этим сооружениям требования высокой степени стабилизации над устьем скважины. Первоначально, когда бурение шло на небольшой глубине, строили буровые платформы погружного типа. У них стабилизация обеспечивается жестким сцеплением с грунтом. Плавучесть погружных платформ обеспечивают вертикальные цилиндрические колонны, в нижней части которых размещены балластные цистерны. После заполнения балластных цистерн платформы устанавливаются на грунт. Высота колонн позволяет размещать верхнюю площадку с оборудованием на высоте, предотвращающей удары волн. Остойчивость погружных буровых платформ во время погружения обеспечивается за счет площади поперечного сечения цилиндрических колонн. После окончания работ балластные цистерны осушают, платформа всплывает, и ее транспортируют к новому месту бурения.

К 1979 г. в эксплуатации находилась 22 погружные платформы. Самая большая из них «Жармак-54» построила американской компании «Трансуорд Дрилинг» обеспечивает работы на глубине до 55 м.

Стабилизация за счет жесткого сцепления с грунтом достигается и на самоподъемных буровых платформах. Основные элементы суднообразной платформы — обеспечивающий плавучесть понтоны и опорные колонны. После задалывания опор в грунт понтоны, размещающиеся вдоль колонн, поднимаются над поверхностью воды до высоты, на которой удары волн не достигают его дна. Остойчивость самоподъемной платформы в процессе погружения колонн и при транспортировке обеспечивается площадью ватерлинии понтона.

Самоподъемные платформы — наиболее многочисленная группа технических средств, предназначенных для разведочно-поисковой бурения. Объясняется это как возможностью выполнения работ практически при любом состоянии моря, так и невысокой по сравнению с другими видами платформ стоимостью.

Интенсивное строительство самоподъемных платформ началось с начала 70-х гг. Максимальный годовой выпуск составил 20 единиц. Всего в 1979 г. было построено 108 самоподъемных платформ, причем наибольшая их часть (63 %) для интервала глубин моря 75—90 м.

Самоподъемные платформы наиболее приспособлены для буровых работ на шельфе, на ограниченных глубинах (до 100—120 м). Жестко сцепляемые с грунтом, они мало зависят от погоды и не требуют специальных систем для удержания над точкой бурения.

Строят самоподъемные буровые платформы и в Советском Союзе. Серийные установки «Бакма», не уступающие лучшим мировым образцам, удостоены Знака качества (рис. 1.30).

Самоподъемные буровые платформы первоначально строили в прямоугольном и в плане понтоном и четырьмя опорами. Однако по мере совершенствования подъемных механизмов, повышения их надежности оказалось возможным перейти к трехопорным платформам (рис. 1.11), имеющим меньшую металлоемкость.

Вместе с тем самоподъемные буровые платформы имеют недостатки. Их транспортировка, установка на месте работ в сильную меру существенно зависят от погодных условий (вместо в это время произошло 30 % аварий этого типа платформ). Нередки случаи чрезмерного задалывания и защемления опор в грунт, что усложняет перестановку платформы на новую точку. Часть этих недостатков устраняется в известной мере новыми техническими решениями. Верхние секции опорных колонн делают съёмными или колонны вообще выполняют телескопическими. Это повышает остойчивость сооружений при тех же размерах понтона. Для предотвращения задалывания опор стали применять маты-площадки, соединяющие нижние концы опор.

Однако самоподъемные платформы применимы только на глубинах до 100—200 м, и переход к большим глубинам, где стабилизация за счет постановки на грунт невозможна, предполагает постройку полупогружных платформ. Интенсивное строительство сооружений этого типа началось в 70-х гг. К концу 70-х гг. было построено 99 полупогружных платформ, подавляющая часть которых (90 %) рассчитана на глубины до 450 м.

В рабочем состоянии основанием полупогружной платформы в различных состояниях служат понтоны, заглубленные на 15—20 м, где высота волны редко превышает 1,0—1,5 м. Колонны, установленные на понтонах и поддерживающие площадку, располагают так, чтобы обеспечить необходимую остойчивость (поперечную, продольную и во диагональ). Оборудование размещают на площадке, находящейся на достаточной высоте над поверхностью воды.



Рис. 1.10. Самоподъемная буровая установка «Белен».

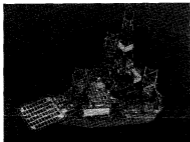


Рис. 1.11. Самоподъемная буровая установка «Хакурау IV».

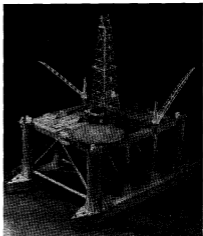


Рис. 1.12. Полуогружаемая буровая установка «Алар-НЗ».

Полуогруженные платформы строятся трех типов: с двумя продольными заглубленными понтонами и шестью—восемью стабилизирующими колоннами [«Алар-НЗ» (рис. 1.12), Норвегия; «Седко-700», США]; с четырьмя продольными цилиндрическими плавучестями и большим числом стабилизирующих колонн («Оуэнс прорисейтэр», Ямайка); с пятью вертикальными колоннами, несущими разделенные цилиндрические понтоны («Пентатон», Франция).

Удержание полуогруженных платформ в точке осуществляется якорными системами, включающими до восьми якорей весом 13—18 т. В 1976 г. в США была построена первая полуогруж-

ная буровая платформа «Селко-709» для работ на глубине 1830 м с динамической системой удержания. Суммарная мощность двигателей, обеспечивающих стабилизацию, 2500 л. с. (1840 кВт). Бурение производилось при высоте волны 12,2 м; шпоровой отстой — при высоте волны 30,5 м.

Размеры платформы во многом зависят от ограничений по высоте; увеличение размеров платформы улучшает остойчивость, но высота при этом становится очень большой. Это, в свою очередь, увеличивает время простоев и ухудшает экономические характеристики сооружения.

В 1977 г. в Японии была построена самая большая полуогруженная платформа «Хакуро-V» длиной 104,5 м, шириной 67 м и габаритной высотой 104 м. Эта платформа выдерживает высоту волны до 27 м, ветер скоростью до 60 м в часе со скоростью до 3 уз.

В последние годы полуогруженные платформы проектируют самоходными, что позволяет обойтись без буксиров и упростить переход к месту работы. С другой стороны, это не требует увеличения состава энергетической установки, мощность которой выбирают из условий обеспечения работы буровых и вихревых лебедок, насосов и другого технологического оборудования. Так, например, платформа «Хакуро-V» — самоходная, мощность ее главных электродвигателей 2х1900 кВт.

Полуогруженным буровым платформам, несмотря на их широкую распространённость, свойственны органические недостатки: сложность эксплуатации из-за необходимости укладки большого числа тяжелых вковок, постройки и докования, что неизбежно сказывается на их экономических показателях.

Другой класс средств этого назначения — буровые суда, хотя и в большей степени подвержены волнению, лишены ряда недостатков, свойственных полуогруженным платформам. Поэтому для помехового и разведочного бурения, особенно в удаленных от баз районах, а также в местах, где встречаются ледяные льды, используют, как правило, буровые суда. Они обладают хорошей мореходностью и большой автономностью. Важным отличием буровых судов от полуогруженных платформ является то, что их постройка не требует специальных судостроительных предприятий: их можно строить практически на любой судостроительной верфи (рис. 1.13).

Создание специальных буровых судов было начато в середине 60-х гг. компанией «Глобал Мэри». В 1968 г. она построила усовершенствованное буровое судно «Гломар Челленджер», предназначенное для работ на глубинах моря до 6000 м с повторным вводом бурового инструмента и скважину с системой динамического удержания в точке работ. В 1977 г. системой динамического удержания были оборудованы 30 буровых судов.

Наиболее совершенными из буровых судов могут считаться буровые суда типа «Пеллекан» голландской постройки (рис. 1.14).



Рис. 1.13. Общий вид судостроительной верфи для постройки полуогруженных платформ и сборки формовых опор самоходных платформ.

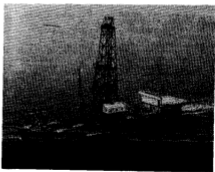


Рис. 1.14. Буровое судно «Пеллекан» (Голландия).

Строит их с 1972 г., к 1979 г. было построено 7 судов. Первые суда этого типа предназначались для бурения на глубине до 600 м, последние — на глубине до 1500 м. Суда оборудованы системой разнотных гидравлических устройств, обеспечивающих удержание в точке работ с точностью до 4—6 % от глубины моря, а также специальными компенсаторами качки, уменьшающими влияние вертикальных перемещений на колонну буровых труб. Цена судна около 18 млн. долл.

Опыт работы судна в 1973—1974 гг. у побережья о. Лабрадор показал, что в результате непогоды простои были около 6,5 %.

Запасы топлива и технологические запасы «Пелликан» составляют водоизмещение (7500 т), что обеспечивает прокладку двух скважин глубиной до 3000 м без пополнения запасов.

Буровые суда есть и в СССР. В начале 1980 г. к бурению на нефтяном месторождении приступило специализированное судно, способное вести прокладку скважин на глубинах 500—600 м при помощи шлангокабеля.*

Для обеспечения буровых работ, проводимых в море самодвижными и полупогружными платформами, необходимы специализированные суда, решающие все вспомогательные задачи, в том числе доставку личного состава, различных грузов, технологических запасов и буксировку. Эти задачи решают универсальные суда — суда снабжения, число которых в мире превысило к началу 80-х гг. 2000 единиц.

Специфика эксплуатации определяла их архитектурно-конструктивный тип (рис. 1.15). Двух-трехъярусная надстройка размещена в носовой части судна. На большой свободной портовой палубе размещен палубный груз, составляющий до 70 % дедвейта судна. Машинное отделение смонтировано в нос, а в корме расположен бункер для сыпучих грузов, необходимых для обустройства скважин. Обязательной принадлежностью универсальных судов является мощная лебедка с тяговым усилием до 150 т, обеспечивающая буксировку платформы, заводку и подъем их якорей. Для удержания около платформы при перемещении грузов суда снабжения оборудуют воздушным устройством, обычно типа «винт в трубе», для обеспечения лучшей маневренности — двухваловой установкой, чаще всего дизельной, с использованием ВРЦ в носовых.

В 1977 г. в США построены два судна снабжения с дизель-электрической установкой. Мощность энергетической установки судна снабжения универсального — до 8000 л. с. (5900 кВт); судов, используемых только для доставки грузов — до 3000 л. с. (2200 кВт).

* «Правда», 10 марта, 1982, № 70.



Рис. 1.15. Судно снабжения.

Универсальные суда обеспечивают и работы по установке подводных конструкций, осмотру и ремонту этих конструкций и трубопроводов. Объем таких работ достаточно велик. Поэтому на судах снабжения устанавливают комплекс декомпрессионных камер для обеспечения длительного пребывания водолазов под повышенным давлением. Для спуска водолазов в транспортно-ремонтной камере судно оборудуют коровой накатной рамой.

Для судов, работающих со сжатым водородом оборудованием, важное значение приобретают ограничения по условиям качки. Появились вспомогательные суда для обслуживания морских нефтепромыслов с полупогружной конструкцией, складкой с конструкцией буровых полупогружных платформ. В 1977 г. в Норвегии построено вспомогательное судно «Анка Джон» с двумя погружными понтонами и шестью стабилизирующими колонами.

После разведочных работ, позволяющих определить экономические характеристики месторождения, осуществляется прокладка эксплуатационных скважин и добыча нефти и газа. В процессе освоения месторождения используется комплекс средств, в который, помимо упомянутых судов снабжения, входят платформы для добычи нефти и газа и их предварительной переработки, суда для прокладки подводных трубопроводов, танкеры-хранители нефти.

Платформы для добычи классифицируются по способу их установки над скважиной. Все платформы делают опирающимися на морское дно, хотя и есть проекты платформ, производящих бурение в плаву на составной (железобетонная платформа «Кондраль», разрабатываемая норвежской компанией «Хойер Зедесфен»).

Буровые платформы, опирающиеся на морское дно, подразделяются на стационарные, которые удерживают на месте бурение с помощью свай, забиваемых в грунт, и гравитационные, держащиеся на грунте благодаря собственной массе.

Стационарные буровые платформы представляют собой ферменную конструкцию, в плане прямоугольную. На ней монтируют блоки-модули с механизмами, буровым оборудованием, жилыми помещениями. Масса одного блока-модуля колеблется от 400 до 1600 т, а количество на одну платформу от 6 до 8. Стационарные платформы устанавливают на глубинах менее 200 м и рассчитывают на высоту волны до 30 м и силу ветра до 70 м/с. Масса СВП (стационарных буровых платформ) существенно зависит от глубины моря в районе эксплуатации. Для Северного моря увеличение глубины моря в два раза приводит к увеличению массы в три-четыре раза. Стоимость таких сооружений весьма значительна — сотни миллионов долларов.

Монтаж крупнейшей в мире СВП (США) был закончен в 1978 г. в Мексиканском заливе в 15 милях от берега на глубине 310 м. Установленное на ней технологическое оборудование рассчитано на бурение 62 скважин, окончание прохода которых намечено на 1982 г. Масса платформы 46 тыс. т, а общая высота 385 м. Платформа закреплена в грунте 24 сваей массой по 450 т каждая, диаметром 2,12 м и длиной по 188 м. Технология изготовления и сборки СВП достаточно сложна и требует специального оборудования.

К недостаткам СВП можно отнести: необходимость забивки значительного числа свай, сложность монтажа в море верхнего строения, подверженность коррозии (основной материал конструкции — сталь), необходимость прокладки подводных нефтепроводов к береговой базе или сооружения специальных нефтехранов.

Этих недостатков лишены гравитационные платформы. Материалом их корпусов служит железобетон, а размеры их таковы, что в шах могут быть органически внесены хранилища нефти большой емкости.

Гравитационная платформа имеет следующие основные части: основание и нижний корпус высотой несколько десятков метров, вертикальные колонны, поддерживающие верхнюю площадку. На последней располагают энергетическую установку, буровое оборудование, жилые помещения. В нижнем корпусе оборудуют хранилища нефти. Во французской платформе

«Корморант-А» (рис. 1.16) объем нефтяных отсеков 160 тыс. м³.

Гравитационные платформы строят, как правило, в три этапа. Вначале в котловане, расположенном как можно ближе к месту эксплуатации, сооружают нижний корпус. Затем переключают котлован разрушают, затопляют его водой, нижний корпус достраивают и начинают монтаж колонн. На третьем этапе сооружение отводят на более глубокое место, приталкивают и проводят монтаж верхнего строения. Стоимость гравитационных платформ ниже, чем стационарных.

Гравитационные буровые платформы обладают и другими достоинствами: высокой долговечностью и долговечностью основного материала (бетон), огнестойкостью в др. Нельзя не принимать во внимание, что квалификация рабочих для монтажа гравитационной платформы может быть значительно ниже, чем для монтажа ферменных конструкций — основы СВП. Широкое распространение гравитационных буровых платформ ограничивается их недостатками — сложностью буксировки и установки на грунт. Значительная осадка при буксировке требует глубоководных фарватеров, а подготовка места их установки — проведения сложных трудоемких операций. Платформы, востроенные до сих пор, эксплуатируют на глубинах до 250 м, однако фирма «Сн Тэнк» (Франция) ведет исследования по созданию платформ, рассчитанных на эксплуатацию на глубине 600 м.

Добытую нефть транспортируют на берег либо танкерами, буксиропушечами у плавающих терминалов, либо по подводным трубопроводам. Трубопроводы в открытом море прокладывают с помощью специальных барж или судов-трубоукладчиков. Отличительной их особенностью служит специальная конструкция в кормовой части — стингер, ферменная рама, по которой трубопровод опускают в воду, и он ложится на дно по планке траектории.

Основной показатель эффективности трубоукладчика — скорость укладки труб — зависит как от условий укладки (гидро-



Рис. 1.16. Гравитационная платформа «Корморант-А» (Франция).

метеорологических условий, глубины моря, диаметра труб), так и от качества самого трубокладчика, его морозопрочных свойств и оборудования для сборки, сварки и укладки труб. Трубопровод на борту судна собирают из отдельных сегментов, что требует больших затрат времени на сварку, контроль и наладку стыков. Увеличение производительности укладки требует повышения уровня стабилизации судна и совершенствования технологии сборки трубопровода. Начиная с 1970 г., в США ведут работы по созданию трубокладчиков, у которых предварительно сваренный трубопровод наматывается на барабан, диаметр которого обеспечивает зажим труб без пластических деформаций.

С целью улучшения морозопрочных качеств разрабатывают суда-трубокладчики полупогружного типа. В 1975 г. нидерландская компания «Густо-верф» сдала в эксплуатацию судно-трубокладчик полупогружного типа «Винкинг Пайпер» (рис. 1.17). Это судно имеет водоизмещение 50 тыс. т, длину 168 м, ширину 60 м, общий вес запаса, принимаемых на судно, — 15 тыс. т, из них 8,6 тыс. т труб. Длина стивера 100 м, причем кривизна его опорной поверхности изменяется в зависимости от диаметра укладываемых труб. Стоимость судна «Винкинг Пайпер» со всем оборудованием — 100 млн. гульденов (около 51,5 млн. долл.).

Наиболее перспективным районом, где можно ожидать развертывания работ по добыче нефти и газа, является арктический шельф. Его большая часть в течение длительного времени покрыта льдом. Для работы в этих условиях потребуются специальные технические средства, рассчитанные на воздействие льда, возможность обледенения, работу при очень низких температурах наружного воздуха.

Понятно, что буровые суда, буровые платформы обычного типа не приспособлены для бурения в арктических условиях. Основные арктические районы за рубежом были в известной мере обусловлены энергетическим кризисом и началом в связи с открытием месторождений нефти и газа у берегов Аляски.

Бурение на шельфе арктических морей ведут с искусственных плавучих или ледяных островов и стационарных ледостой-

чих буровых платформ. Проводят исследовательские работы по созданию платформы для разведочного бурения в этих районах, ледокольных буровых судов, буровых судов на воздушной подушке.

В мелководной зоне используют искусственные острова, павильоны, как правило, в летнее время. Сравнительно дешевые строительные материалы определяют умеренную стоимость таких сооружений. Мелководный остров размерами 70×115 м высотой над уровнем воды 3 м, построенный в 1974 г., обошелся всего в 3 млн. долл. По мнению специалистов, предельная глубина моря для таких сооружений около 10 м.

Большие глубины могут быть освоены с ледяных островов. Поскольку основой оптимальный материал — лед — предельно дешев, такой способ оказывается одним из самых экономичных. Предполагается, что бурение с ледяных островов может вестись на глубинах моря до 300 м.

Наряду с искусственными островами для бурения в Арктике используют и стационарные буровые платформы. Американские компании эксплуатируют более 15 стационарных буровых платформ, рассчитанных на глубину моря до 25 м.

Воздействие движущихся ледяных полей на конструкции платформ сходно с воздействием льда на корпус движущегося судна, однако скорость судна больше, чем скорость перемещения льда. Из известных способов разрушения льда наиболее проверенным и надежным оказывается преламивание льда за счет массы конструкций или специальных образований корпуса. Поэтому для средств освоения Мирового океана, используемых в Арктике, особое значение приобретают соотношения главных размеров и форма ватерлинии. Платформы (для них это особенно сложно) и суда, имеющие малые размеры в направлении, перпендикулярном скорости движения льда, более продолжительны.

Одна из самых крупных платформ, используемых в Арктике, — «Долли Ярден», канадской постройки. Верхний корпус платформы опирается на четыре цилиндрические колонны, диаметром около 5 м. Колонны, расположенные в подводной части двухметровой диаметра трубами, опираются на свайное основание.

Другая разновидность стационарных платформ для бурения в ледовых условиях — платформы-монолиты, имеющие одну опорную колонну достаточно большого диаметра [платформа «Уинип джаффон» имеет опорную колонну диаметром 8,5 м (рис. 1.18)]. В США и Канаде прорабатывается возможность постройки платформы с конусообразной формой корпуса в районе воздействия ледовых нагрузок.

В начале 70-х гг. за рубежом начались проектные работы по созданию платформ для эксплуатации в ледовых условиях.

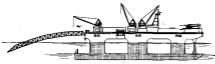


Рис. 1.17. Трубокладчик «Винкинг Пайпер» (Голландия) (сочетание погружного и плавучего типов).



Рис. 1.18. Стационарные ледостойчивая платформа — носовод «Ваннегарден».

тани у арктического побережья Канады. Судно рассчитано на работу во льдах толщиной до 1,8 м, движущихся со скоростью до 1,2 уз. Судно будет оборудовано пневматической арено-дифферентной системой для плавления льда.

Фирма «Седко» предложила проект полуподвешенной буровой установки для эксплуатации в ледовых условиях.

В 1973 г. фирма «Арктик энджиниринг энд констракторс» выполнила проект судов на воздушной подушке (СВП) для бурения скважин и прокладки подводных трубопроводов в ледовых условиях. Предполагается, что воздушная подушка позволит судам перемещаться на высоте 2,5 м от поверхности льда с помощью специального устройства. Это устройство будет состоять из устанавливаемых на лоду барабанов, играющих роль якорей, и системы тросов. В том же году, той же фирмой было построено СВП АСТ-100, рекламируемое как буровое. Однако имеющиеся данные говорят о том, что оно использовалось только для доставки грузов на буровую на неукрепленном острове. При его эксплуатации был установлен важный факт — давление воздуха под гибким ограждением лопало лед толщиной до 0,7 м. Скорость судна при этом не уменьшалась. Эта же фирма создала проект СВП — трубоукладчика AMPS для прокладки трубопроводов диаметром до 1,2 м при толщине льда

В 1971 г. американская фирма «Термо дайвингс» разработала проект установки для бурения эксплуатационных скважин в ледовых условиях на мелкой глубине и небольшом удалении от берега (рис. 1.19). Установка состоит из двух конических корпусов, соединенных малыми основаниями. В отсеке нижнего корпуса при установке на место около 200 тыс. т воды, которую после приема замораживают. Конструкция выдерживает нагрузки от движения льда толщиной до 3 м. Лед движется по поверхности нижнего корпуса и разламывается.

В 1970 г. американская фирма «Глобал Мэрикс» разработала проект ледокольного бурового судна, предназначенного для эксплуа-

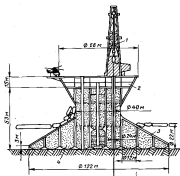


Рис. 1.19. Проект ледостойчивой платформы фирмы «Термо дайвингс».

до 2 м. Давление воздуха под корпусом обеспечивает подъемную силу 7000 т.

Технико-экономические расчеты, выполненные в обоснование проекта, позволяют считать, что СВП AMPS будет экономически высокоэффективным: стоимость прокладки трубопровода будет всего в полтора раза дороже, чем на суше.

Задача добычи рудных ископаемых со дна океана, стоящая перед конгрессом на океанском дне и транспортировке их на поверхность, потребовала создания нового типа средств освоения Мирового океана. Эти средства по способу транспортировки конгрессов на поверхность можно разделить на три группы: драгирующие, т. е. использующие трос с одним или несколькими концами; гидравлические, использующие для транспортировки воду или водовоздушную смесь; электромагнитные, у которых капсулы с конгрессами движутся по трубе с электромагнитными обмотками.

За рубежом разрабатывают несколько типов драгирующих систем.

Фирма «Интернешнл нуклеар констракторс» предусматривает использование системы из двух судов, одно из которых обслужи-

зает драгу-волокушу, другое — служит для хранения конкреций, отделяя их от грунта и доставки на борт. В 1972 г. систему этого типа использовала фирма «Кеннекот эквалорсия», оборудовав для этого обычное судно снабжения. Средняя подача этого судна составила 2 т/ч.

В Японии разработана многоотрапная система СЛВ. В 1970 г. были проведены испытания этой системы на специально оборудованном судне «Чайода-мару № 2». Через лебедки, устанавливаемые на носу и корме судна, протягивался подпрокладочный трос длиной около 11 км. На трос было навешено 170 ковшей. Проведенные при глубине моря около 4 км испытания показали, что ковши заплывают на 25—30 %, а изгода и 60 %.

В связи с успехом этого эксперимента переоборудуется судно «Кю-Кю-мару № 2» водоизмещением 16 тыс. т. Предполагается, что разработка месторождения на глубине 5400 м будет вестись со средней подачей 25 т/ч.

Близкую по замыслу систему драгирования разрабатывают во Франции. Она отличается от описанной тем, что базой служат не одно, а два судна, перемещающиеся параллельными курсами. На каждом из них устанавливаются по лебедке, через которые протягивают трос.

Экономический прогнозный анализ дает основание полагать, что наименее капиталоемким будет первый способ (драга-волокуша), но вследствие низкой производительности себестоимость тонны конкреций будет наибольшей.

Американская фирма «Дви си Венчурс» в своих разработках использовала метод подъема конкреций с помощью эрлифта. Эрлифт представляет собой погруженную в воду трубу с открытыми концами, к нижнему концу которой подается сжатый воздух. Пузырьки воздуха, вздуваемые в воду, образуют водогазовую смесь, которая и поступает вверх. При контакте нижнего конца трубы с конкрециями допустимы отложениями захваченные водой конкреции будут транспортироваться на судно.

Экономические показатели эрлифтов выше, чем у других типов всасывающих устройств, выше и надежность. Названная фирма создала образец системы с диаметром нульвода 240 мм. Этот образец был установлен на судне «Дви си Майер» водоизмещением 7400 т. В средней части судна был смонтирован шахта, через которую и спускался грунтосборный нульвод, заборный конец которого был оборудован специальным сгребющим устройством.

Испытания, проведенные на глубине 900 м, показали удовлетворительную работу системы, обеспечивающей подачу до 60 т/ч, с возможностью проведения работ при достаточно сложных гидрометеорологических условиях (скорость ветра до 14 м/с и волнение до 6 баллов). В дальнейшем предполагается создание судна для добычи конкреций с подачей до 1 млн. т/год.

Таким образом, определялись основные технические средства, объединяемые по признаку общности среды использования в систему, необходимую для комплексного изучения и освоения Мирового океана. Создание отдельных технических средств зависит не только от уровня развития научного и промышленно-экономического потенциала в отдельных странах, но и определяется экономичностью эффективности работ по освоению морских месторождений полезных ископаемых, что во многом зависит от наличия и запаса аналогичных суходутных месторождений.

1.3. Освоение минеральных ресурсов океана и защита окружающей среды

Широкое развертывание работ по освоению Мирового океана неминуемо без соблюдения необходимых мер предосторожности, без достаточной надежных мероприятий, обеспечивающих защиту окружающей среды.

Сегодня самые серьезные загрязнения океана связаны с попаданием в него нефтепродуктов. В этом отношении морское бурение представляет значительную опасность. При авариях на эксплуатационных скважинах и буровых установках, производящих разведочное бурение на нефть, и считанные минуты в морскую воду изливается сотни тонн нефти.

Поступление нефти и нефтепродуктов в Мировой океан оценивается величиной от 6 млн. т [47] до 10—15 млн. т в год [9], что примерно равно годовой добыче Египта или Австралии в 1978 г.

Опыт морских разработок показал, что при морском бурении часть нефти попадает в море. Учитывая, что в 2000 г. на шельф, до некоторой степени, будет приходиться до 50 % добытой нефти, можно оценить реальную опасность угрозы загрязнения. При этом нужно иметь в виду, что загрязнение может достичь дна, когда очищение Мирового океана потребует неизмерно больше усилий, чем применение своевременных возможных мер предотвращения. Добыча нефти захватывает все большие акватории. Все больше действующих скважин появляется в Мексиканском заливе, в Карибском море, у берегов Калифорнии. В нефтяной бассейне превратилось и Северное море.

Загрязнение нефтью происходит не только вследствие добычи морской нефти, а также при перевозке нефти, промывке танкеров, при авариях нефтеналивных судов. К числу чрезвычайно загрязненных акваторий по этой причине относятся Средиземное море. Исследования показывают, что в некоторых районах Мирового океана загрязнение морских вод нефтью и нефтепродуктами превышает предельно допустимые концентрации. К числу наиболее загрязненных нефтью относятся кроме Средиземного и другие моря Северной Атлантики, моря, омывающие Северную Америку, в др. Экспедиция «Р-2», руководи-

теlem которой был Тур Хейердал, в течение 6 из 52 дней ее рейса следовала в загрязненных водах, окруженных «эффрактами пятнами».

Нефтяными пленками покрыты огромные акватории. Визуальными наблюдениями, проводившимися в рамках МОК ЮНЕСКО (межправительственная океанографическая комиссия) и ВМО ООН (Всемирная метеорологическая организация), установлено, что пленками полностью покрыты Южно-Китайское и Желтое моря, значительные площади в районе Палавского канала и по ходу течения Куросио, юго-восточная часть Берингова моря и др. Иными словами, нефтяное загрязнение Мирового океана приобретает глобальный характер.

Загрязнения переносятся системами течений в малоподвижные районы океана, которые становятся аккумуляторами вредных веществ. Воды Гольфстрима, Северо-Атлантического течения, пассаты загрязняющими веществами у берегов Северной Америки и Европы, переносят их в район Саргассова, Норвежского и Баренцева морей.

Для Северных морей это особенно опасно. Установлено, что морские бактерии эффективно очищают океан лишь при положительных температурах. При -10°C процесс разложения практически приостанавливается и нефтеуглеводороды, сохраняясь в течение десятилетий, будут накапливаться.

Активным источником загрязнения Мирового океана стали реки. Распределение поступающей нефтеуглеводородов в Мировой океан по источникам выглядит следующим образом: сбросы с судов в море в портах и в результате аварий составляют примерно 45%, поступление при морском бурении 1%, проток с речными водами и в ливневых стоках 33% и 10% падает на приток из атмосферы. Важно в этом распределении то, что 43% поступлений практически не подлежат регулированию [47].

Реки приносят в океан не только нефтеуглеводороды. По данным ЮНЕСКО, с водами рек ежегодно попадает в море 6,5 млн. т фосфора, 2,3 млн. т свинца, 390 млн. т железа [7]. При этом основная часть загрязнений сосредотачивается в районах континентального шельфа, где вылавливают 90% рыбы.

Пагубное влияние этого процесса трудно переоценить. Мировой океан можно без преувеличения назвать «легкими Земли»: он поглощает из атмосферы значительную часть углекислого газа и дает более половины всего кислорода. Нефтеуглеводороды на поверхности воды довольно заметно нарушают энерго-, газо- и влагообмен между океаном и атмосферой и отрицательно влияют на живые организмы, приводят к гибели планктона, с помощью которого осуществляется фотосинтез.

Значительно меньшую опасность представляет добыча рудных ископаемых, хотя вопрос влияния их добычи на экологию Мирового океана еще мало изучен. Поэтому влияние оценки ожидаемого влияния заключается в сравнении результатов

вмешательства человека (антропогенного влияния) с результатами влияния естественных процессов. Вследствие стока ежегодно вымывается в океан более 2 км³ речных наносов. На побережье Балтийского моря в период шторма приводится в движение миллионы кубометров грунта. Деформации дна на значительных площадях достигают по глубине 2 м. Пока что влияние человеческой деятельности по масштабам и результатам воздействия на морское дно несравнимо меньше. Это и позволяет сделать вывод о значительно меньшем отрицательном влиянии морской добычи рудных ископаемых на экологию океана.

Растущий уровень загрязнений, в первую очередь нефтеуглеводородами, делает жизненно необходимой организацию и проведение системы специальных мероприятий по защите морской среды. В числе этих мероприятий организация экологического мониторинга — системы наблюдения и контроля за состоянием морских вод. Однако ясно, что одного пассивного наблюдения, как бы хорошо оно организовано ни было, недостаточно. Нужны специальные меры и для уменьшения сбросов, и для очистки океана, а для этого необходима соответствующая техника, в первую очередь специальные суда и средства — нефть- и мусоросборники.

Разработаны механические, химические, биологические способы очистки акваторий от нефтяных загрязнений, конструируются соответствующие устройства, спроектированы и построены оборудованные эти суда. В Дании создан материал, поглощающий разлившуюся на поверхности нефть в количествах, в 30 раз превышающих собственный вес ткани. В нашей стране созданы биофильтры, в три-четыре раза ускоряющие процесс очистки воды от нефти в специальных биек-прудах.

Суда нефть- и мусоросборники, пока малое водоизмещение, строят в значительных количествах. Основой поставщика их США — фирма «Локхид». Эта фирма к 1978 г. построила более ста судов такого назначения в различных модификациях, разного водоизмещения, производительности и т. п. Большую часть этих судов приобрели американские нефтяные компании, ВМС США, а также фирмы Японии и Швеции. Цена судов в зависимости от модификации колеблется в пределах от 4 тыс. долл. (тип 100) до 200 тыс. долл. (тип Р2003). Суда оборудованы специальным барабаном, собирающим нефть с поверхности воды. У самого большого из этих судов Р2003 диаметр барабана 1,2 м, длина барабана по образующей 2,1 м. Размеры судна невелики: длина 8,2 м, ширина 5,0 м, осадка 0,56 м.

Американская фирма «ИБФ сантайп корпорейшн» в 1974 г. начала постройку нефть- и мусоросборников ДИП-3003 и ДИП-4001. Производительность нефтьсборников, в том числе и этих, существенно зависит от толщины нефтяной пленки.

Производительность нефтесборщика ДИП-3003 при толщине пленки в 1 мм превышает 2 т/ч, а при толщине 10 мм составляет около 15 т/ч. При этом стеньги очистки достаточно высока, собирают около 90 % всей нефти, покрывающей ошмевую поверхность, а также одновременно и другой мусор. Скорость перехода нефтесборщика ДИП-3003 составляет 6 уз, рабочая скорость 2—3 уз. Предельная высота волны, на которой работает судно, — 1,2 м.

Размерения судна: длина 11,6 м, ширина 3,53 м, осадка 1,43 м. Емкость цистерны для собранной нефти 11 т. Цена нефтемусоросборщика ДИП-3003 350 тыс. долл.

В Японии в конце 1974 г. фирма «Ишиказэма-Харима» построила судно-нефтесборщик катамаран «Сокай» — самое крупное из судов этого типа. Водоизмещение судна «Сокай» 325 т, скорость перехода 11 уз (рабочая 2,5 уз). Его длина 25 м, осадка 2,5 м (с грузом), ширина судна 14 м, ширина каждого из корпусов 4,1 м.

В 1976 г. в нашей стране начата постройка самоходных портовых и морских нефть- и мусоросборщиков. Водоизмещение этих судов 52 т (портовый нефть-мусоросборщик) и 65 т (морской). Рабочая скорость нефть-мусоросборщика — до 2 уз, производительность на спокойной воде 12 т/ч. Опыт эксплуатации головного судна в Одесском порту дал положительные результаты.

Можно сказать, что в дальнейшем численность судов этого назначения будет заметно возрастать, а сам тип их будет изменяться как вследствие изменения и совершенствования технологии сбора нефти с поверхности к ее отделимости, так и за счет роста производительности, главных размерений, водоизмещения. Как следствие, будут расти цены на такие суда.

Глава 2

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

2.1. Задача и содержание технико-экономического обоснования средств освоения Мирового океана

Научно-технический прогресс в судостроении и смежных отраслях науки и техники существенно расширяет и повышает техническую вооруженность процесса освоения Мирового океана. Этот процесс имеет не только количественный, но

и качественный характер. Количество вариантов достижения одной и той же цели стремительно растет за счет применения разнообразных технических средств или разных их сочетаний. Добычу конкретных ресурсов можно осуществлять различными видами средств — драгужными, многооплонными, землесосными, эрловыми; облуживание морских нефтепромыслов — обитаемыми и необитаемыми подводными аппаратами и водолазами; поиск объекта на глубине — специально оборудованными судами, водолазами, обитаемыми и необитаемыми подводными аппаратами. Кроме того, во всех трех приведенных случаях эти задачи могут решаться совокупностью соответствующих средств в различных сочетаниях. Таким образом, в выборе средств, предназначенных для решения определенной задачи, существуют достаточно широкие возможности.

Не менее широк спектр вариантов технических решений в самом проекте. Одни и те же характеристики проектируемого объекта, определяющие эффект его функционирования и в конечном счете его эффективность, могут быть получены при применении различных материалов, конструкций, оборудования и т. п. Так, при проектировании глыбного горнообогатительного комбината может предусматриваться атомная и неатомная энергетика, прочные корпуса подводных аппаратов могут создаваться из различных материалов.

Однако научно-технический прогресс имеет и другую сторону: весьма острый рост стоимости самой судостроительной продукции, связанный с растущей сложностью техники, ее насыщенностью дорогой электроникой, и еще более стремительный рост затрат на научно-исследовательские, опытно-конструкторские и проектные работы, предшествующие постройке самого объекта.

Таким образом, проектирование постоянно сталкивается с проблемой многовариантности решений, различных по характеристикам и стоимости, и роль научного инструмента в таких ситуациях (технико-экономических обоснований, обеспечивающих выбор варианта, наиболее предпочтительного по принятому критерию) с каждым годом возрастает.

Потребность в экономическом обосновании и характер последнего определяются в основном стадией проектирования.

В соответствии с существующей нормативной документацией (ГОСТ 2.103—68) предусматривается пять стадий разработки проектно-конструкторской документации:

1. Техническое задание, устанавливающее основные назначения, технические характеристики и показатели качества, а также технико-экономические требования и проектируемому объекту.

2. Техническое предложение, в котором содержится технико-экономическое обоснование целесообразности дальнейшего проектирования объекта, исходя из возможных вариантов решения проектной задачи.

3. Эскизный проект, содержащий основные проектные решения, основные кораблестроительные элементы проектируемого объекта и экономическое обоснование этих решений.

4. Технический проект, разрабатываемый на основе эскизного проекта с учетом изменений, внесенных при его рассмотрении. В техническом проекте содержится проект цены и прогнозируемая величина эксплуатационных затрат.

5. Рабочая документация является дальнейшим развитием и конкретизацией технического проекта. Поскольку все проектные решения, как правило, приняты на предшествующих стадиях проектирования, в процессе рабочего проектирования экономического обоснования обычно не делается.

Технико-экономические обоснования необходимы и практичны их выполняют на следующих этапах создания новых средств освоения Мирового океана: при разработке прогноза развития, определении основных направлений научно-исследовательских, проектных работ, экономической целесообразности создания новых типов судов и аппаратов; при выборе основных характеристик проектируемого объекта, разработке технических заданий на проектирование, формировании требований заказчика к проектируемому объекту и к комплектуемым его образцам (механизмам, оборудованию и т. п.); в процессе непосредственного проектирования, на стадиях эскизного и технического проекта, где формируются и принимаются решения, определяющие облик проектируемого объекта.

Методология разработки технико-экономических обоснований является разделом сравнительно молодой научной отрасли — технико-экономического анализа, представляющего собой, по существу, теорию обоснования проектных решений и построения на экономическом анализе процессов создания и использования проектируемых объектов.

Технико-экономический анализ возник и развивается на стыке трех научных отраслей: теории проектирования, экономики и исследования операций, составляющих методическую и математическую основу новой научной отрасли.

Предметом технико-экономического анализа служат закономерности во взаимосвязи характеристик объекта проектирования и решений, реализованных в проекте, с ожидаемым результатом использования проектируемого объекта и затратами на достижение этого результата.

Как любая научная отрасль, технико-экономический анализ имеет свою систему основных понятий, свою терминологию, частично заимствованную из смежных отраслей, частично собственную. Введен в рассмотрение некоторые понятия технико-экономического анализа, необходимые в процессе последующего изложения.

Под экономическим обоснованием будем понимать исследование с доказательным выбором характеристик самого объекта

проектирования и технических решений, предусмотренных в проекте для получения выбранных характеристик, которое построено на прогнозе характера создания и использования обозначаемого объекта.

Отметим, что в самом определении технико-экономического обоснования есть несколько ключевых понятий. В первую очередь это характеристики объекта и принятые технические решения. Они и являются объектом обоснования. Характеристики могут носить качественный, дискретный характер или могут быть измерены количественно с помощью некоторого непрерывного или дискретного показателя.

Примерами дискретных, качественных характеристик могут служить: тип корпуса обитаемого подводного аппарата (например, цилиндрическая оболочка, подкрепленная поперечными ребрами жесткости, или сферическая оболочка); установка на буровом судне системы шланго-кабачного бурения или системы бурения разборной колонной.

Примерами характеристик, носящих количественный непрерывный характер, могут служить величина скорости хода судна или аппарата, автономности; для подводных аппаратов — предельная глубина погружения, диаметр сквозного корпуса и т. п.

Примерами количественных количественных характеристик могут служить число якорей на судне, количество шлюпок или зашпекелей и т. п.

В процессе выполнения технико-экономического обоснования каждой проектируемый объект может быть описан набором характеристик. Как указывалось, часть этих характеристик определяет свойства объекта в целом, его эксплуатационные данные, другие частные технические решения, с помощью которых проектируемому объекту обеспечиваются требуемые эксплуатационные свойства.

Первую группу характеристик принято называть технико-эксплуатационными элементами объекта (ТЭЭ), вторую — параметрами технических решений (ПТР). Дадим более строгое определение каждой из названных групп.

Под ТЭЭ будем понимать совокупность количественных характеристик, однозначно определяющих эксплуатационные свойства проектируемого объекта, иными словами, степень его соответствия своему назначению. Примерами ТЭЭ могут служить уже упомянутые скорость хода, предельная глубина погружения и др.

Под ПТР будем понимать совокупность характеристик, принимаемых для достижения требуемых технико-эксплуатационных элементов и определяющих при заданных ТЭЭ характер используемых ресурсов и потребности в каждом из них.

Параметрами технических решений являются:

— механические характеристики материалов, из которых выполнен корпус, определяющие в значительной мере толщину

оболочки, а следовательно, и вес причного корпуса для подводных аппаратов:

— относительная смоченная поверхность, определяемая в значительной степени при заданном водоизмещении и скорости потребную мощность энергетической установки большого подводного аппарата.

Совершенство ТЭЭ и ПТР однозначно определяют облик проектируемого объекта.

Проектанты хорошо знают, что задать произвольно заранее все технико-эксплуатационные элементы проектируемого объекта нельзя: ТЭЭ связаны определенными зависимостями, и заданный набор элементов может оказаться несостоятельным. Однако из совокупности всех ТЭЭ можно выделить группы элементов, которые могут быть заданы заранее до проектных проработок, и требование обосновать любые и разумных пределах значения будет непротиворечиво. Но задание, например, только скорости и автономности отнюдь не определяет облика проектируемого объекта. Знания только этих ТЭЭ недостаточно для того, чтобы спроектировать судно или аппарат, — необходимо задать и другие элементы.

Существует группа элементов, задание которых достаточно для проектирования объекта, но добавление к ним хотя бы еще одного элемента следует считать избыточным. В этой связи все ТЭЭ целесообразно разбить на две группы:

— базисные ТЭЭ, т. е. также, задание которых при известных основных ПТР необходимо и достаточно для определения всех остальных ТЭЭ проектируемого объекта;

— проектные ТЭЭ, определяемые в процессе проектирования по базисным ТЭЭ и параметрам принятых технических решений.

Все сказанное может быть формализовано. Рассмотрим задачу проектирования подводного аппарата с заданным комплексом складываемого оборудования. В качестве ТЭЭ аппарата будем рассматривать: глубину погружения (H), численность экипажа (K), автономность (A), мощность энергетической установки (N), водоизмещение (D), скорость полного хода (v).

В качестве ПТР будем рассматривать: относительную смоченную поверхность \bar{S} ; коэффициент полного сопротивления $\Sigma \xi$, характеризующий ряд технических решений, определяющих ходовые качества аппарата; характеристику зависимости массы энергетической установки от мощности (массу, приходящуюся на один кВт) $g_x = \frac{P_x}{N}$; плотность материала корпуса γ_c ; предел текучести материала корпуса σ ; модуль упругости материала корпуса E ; прогибальный коэффициент η .

Формализую сказанное, представим набор ТЭЭ как множество, элементами которого будут собственные подмножества возможных значений перечисленных выше элементов:

$$X = \{H, K, A, N, D, v\}. \quad (2.1)$$

а набор ПТР как множество, элементами которого являются подмножества возможных значений параметров технических решений:

$$Y = \{\bar{S}, \Sigma \xi, g_x, \gamma_c, \sigma, E, \eta\}. \quad (2.2)$$

Базисные к проектным ТЭЭ образуют собственные подмножества множества ТЭЭ соответственно:

$$X_0 \subset X; X_0 \subset X;$$

$$X_0 \cup X_0 = X; X_0 \cap X_0 = \emptyset. \quad (2.3)$$

где множества X — ТЭЭ объекта; X_0 — базисных ТЭЭ; X_0 — проектных ТЭЭ; Y — ПТР объекта.

Здесь мы воспользовались символикой теории множеств. Знак включения \subset выражает принадлежность множества X_0 множеству X , или, что то же, «все элементы, принадлежащие множеству базисных ТЭЭ, являются элементами множества ТЭЭ X (но не наоборот)». Знак объединения \cup означает объединение множеств; соотношение $X_0 \cup X_0 = X$ показывает, что элементами множества X являются элементы, входящие либо в множество X_0 , либо в X_0 , либо в оба множества одновременно.

Пересечение \cap множеств X_0 и X_0 , обозначаемое знаком $X_0 \cap X_0$, состоит из тех элементов, которые входят в оба множества. Знак \emptyset — обозначает пустое множество, т. е. не содержащее ни одного элемента.

Таким образом, это выражение свидетельствует о том, что нет ни одного ТЭЭ, который был бы одновременно и базисным, и проектным.

Выбор подмножества базисных ТЭЭ на множестве всех ТЭЭ не однозначен. Так, например, в качестве базисных ТЭЭ могут быть приняты

$$X_0 = \{H, K, A, v\} \text{ или } \{H, K, A, N, D, v\}. \quad (2.4)$$

Действительно, остальные ТЭЭ, не включенные в (2.4), при заданных значениях ПТР в соответствии с выражением (2.2) могут быть определены из известных соотношений проектирования. Так, мощность определяется известной формулой

$$N = \frac{\sigma \Sigma \xi D^{1/2} v^3}{\eta}, \quad (2.5)$$

а входящее в эту формулу водоизмещение определяется, в свою очередь, одним из обычных в таких случаях способов, например, решением уравнения водоизмещения:

$$(1 - A)D + BD^{1/2} + C = 0, \quad (2.6)$$

где A — коэффициент, учитывающий массы, пропорциональные водоизмещению; B — коэффициент, учитывающий массы, про-

порциональные площади поверхности, или водонамещению в слоеви U_0 ; C — сумма масс аппарата, не зависящих от водонамещения.

Предложенный в (2.4) вариант задания базисных проектных элементов, при котором водонамещение и мощность энергетической установки вынесены в проективные элементы, является в какой-то мере классическим, но не единственным. При проектировании аппарата может быть задана мощность двигателя и по ней определена скорость, обеспечиваемая этой мощностью, тогда подмножество базисных ТЭЭ будет выглядеть:

$$X_0 = (H, K, A, N_0) \in (H, K, A, N_0, v, D), \quad (2.7)$$

а скорость окажется в числе проективных элементов

$$v \in (v, D) \in X_0.$$

В практике проектирования обычно имеет место последовательное сочетание этих случаев: сначала при определении ТЭЭ аппарата в первом приближении по скорости, заданной ориентировочно, определяется требуемая мощность, по мощности подбирается ближайший в параметрическом ряду двигатель, и тогда уже решается вторая задача — по заданной мощности определяется скорость, обеспечиваемая подобранным двигателем.

Примером, подобным приведенному, можно привести достаточно много, но здесь сказанного уже и из этого примера. Совершенно аналогичные рассуждения можно провести и применительно к надводным судам: естественно, при этом элементы подмножества x_1 и x_2 будут иными, но суть вложенного останется той же.

Строго говоря, количество базисных ТЭЭ может быть очень велико, и варьирование ими в процессе экономического обоснования достаточно трудоёмко. Поэтому в практике обычно варьируют только наиболее важные ТЭЭ, фиксируя остальные на апробированных практикой значениях. Можно ли заранее назвать для каждого типа средств освоения Марового океана перечень наиболее важных ТЭЭ? Нельзя. Наиболее важными окажутся те, которые необходимо обосновать, те, которые в наибольшей степени влияют на результат, соответствующий постановке задачи технико-экономического обоснования. Поэтому удачный выбор системы базисных ТЭЭ в значительной мере зависит от опыта, интуиции исследователя, понимания им задачи проектировки.

Высказанное выше предположение о том, что совокупность базисных ТЭЭ однозначно определяет облик проектируемого объекта, находит интересное развитие. Из сказанного очевидно, что каждый проектируемый объект может быть задан определённым набором значений независимых ТЭЭ. Предстало

величину каждого из элементов как компоненту некоторого вектора, что вполне возможно вследствие линейной независимости их друг от друга, проектируемому объекту можно поставить в соответствие n -мерный вектор, где n — число варьируемых независимых ТЭЭ. В частности, для рассмотренного примера подводящего аппарата такой вектор в соответствии с (2.4) будет иметь вид

$$x_2 = \begin{pmatrix} H \\ K \\ A \\ v \end{pmatrix}. \quad (2.8)$$

Необходимо подчеркнуть, что здесь в отличие от формулы (2.4), H, K, A, v — определённые значения ТЭЭ, а не подмножества значений. Так, например, $v = 4$ уз, $H = 2000$ м и т. д.

Аналогично набор значений параметров технических решений может быть представлен вектором, который для рассмотренного примера:

$$\vec{p} = \begin{pmatrix} Q \\ \sum \xi_i \\ \xi_N \\ \alpha_r \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}. \quad (2.9)$$

Естественно предположить (это будет показано позже) существование показателя, который характеризовал бы качество варианта проектируемого объекта. Если такой показатель функционально связан с вектором базисных ТЭЭ или ПТР, то он может быть представлен в зависимости от задачи технико-экономического обоснования, как функция вектора Z или вектора \vec{p} и описать сферичность в пространстве $n+1$ измерений при варьировании базисными ТЭЭ и $m+1$ измерений при варьировании ПТР.

Далее, естественно предположить, что оптимальному по выбранному признаку варианту должен соответствовать экстремум (максимум или минимум) функции, характеризующей качество варианта.

Исходя из этих представлений, одна из важнейших задач технико-экономического анализа и основанная задача исследования проектирования может быть сформулирована, как задача отыскания вектора базисных ТЭЭ (при заданном векторе ПТР) или отыскания вектора ПТР (при заданном векторе

ТЭЭ), доставляющих максимум (или минимум) функции, характеризующей качество варианта.

Совершенно естественно, что в данном определении содержится известная доля абстракции. Как правило, в процессе проектирования одновременно варьируют в известных пределах в ТЭЭ, и ПТР. Однако этот объективный факт не уменьшает ценности предложенной схемы, позволяющей выделить, упростить и наглядно представить наиболее важное в процессе исследовательского проектирования.

Обоснованным выбором значений базисных ТЭЭ или ПТР не ограничивается перечень задач, составляющих предмет технико-экономического анализа, подлежащих решению в процессе обоснования проектируемого объекта. В процессе технико-экономического обоснования жизнеспособность проекта должна быть доказана сравнением его по эффективности с лучшими отечественными и зарубежными образцами того же класса и назначения.

Кроме того, уже в процессе проектирования должны быть решены некоторые задачи, носящие характер прогноза жизненного цикла проектируемого объекта и самого проекта. К таким задачам, например, относятся: определение оптимального срока службы проектируемого объекта, и в тех случаях, когда это целесообразно, определение оптимальных характера, объемов и срока модернизационных работ; определение моральной долговечности проекта, т. е. определение промежутка времени от начала постройки судов или аппаратов до разрабатываемому проекту до момента перевода на новый, более прогрессивный проект.

1.2. Функциональная и экономическая эффективность

Ранее мы предполагали существование функции, характеризующей качество варианта проектируемого объекта. Для того чтобы сформулировать эту функцию, необходимо рассмотреть вторую группу основных понятий технико-экономического анализа, частично заимствованных из исследования операций.

Основополагающим в этой научной дисциплине является понятие операции. Под операцией понимается мероприятие или комплекс мероприятий, объединенных общностью замысла и направленных к достижению общей цели. Понятие операции достаточно широко. Так, под операцией может пониматься: организация и проведение поиска подводного объекта; разработка проекта и постройка серии обитаемых подводных аппаратов; организация снабжения морских нефтепромыслов различными видами запасов.

Поскольку создание и последующее использование судна

или аппарата может рассматриваться как операция с вполне определенной целью, то и технико-экономический анализ при их проектировании примерно рассматривать как раздел исследования операций.

При проектировании любого объекта последний всегда предназначается для решения определенного круга задач, т. е. для выполнения с его помощью определенных операций.

Операция всегда имеет исход, т. е. совокупность результатов, которые возникают в итоге ее проведения. Каждая операция имеет цель. Целью операции называют тот результат, ради достижения которого она проводится. Часто операция преследует не одну цель, и тогда говорят о множественности целей.

В некоторых случаях определяются цели операции не представляя труда. Так, в первом из приведенных примеров цель операции очевидна — найти затонувший объект. В других — усложненные цели представляют собой отнюдь не простую задачу, и это можно видеть на третьем примере операции. Действительно, определить в качестве цели организации снабжения морских нефтепромыслов такую, как обеспечение их всеми необходимыми видами запасов, далеко не достаточно. Для четкой формулировки цели необходимо еще установить, какие именно запасы и в каком количестве действительно необходимы.

Операция может быть проведена более или менее успешно. Для измерения успешности проведения операции вводится понятие эффективности. Для того чтобы с самого начала избежать смешения понятий, оговорим, что есть две категории эффективности: функциональная и экономическая. Понятия эти связаны, однако между ними есть и существенные отличия.

Понятие функциональной эффективности необходимо для первоначальной оценки проектируемых и создаваемых систем, их приспособленности к выполнению собственных им функций. В соответствии с этим и формулируется категория функциональной эффективности. Под функциональной эффективностью операции понимается степень соответствия достигнутого или прогнозируемого результата операции поставленной цели; под функциональной эффективностью проектируемого объекта — степень соответствия прогнозируемого результата исполнения этого объекта своему назначению — цели его создания. В известной мере при определенных условиях такая характеристика удовлетворительна. Действительно, проект готов, известны ресурсы, необходимые для его создания и эксплуатации, и требуется ответить только на один вопрос, в какой степени этот объект будет соответствовать своему назначению.

Функциональная эффективность имеет количественную меру, непосредственно связанную с одной из основополагающих категорий экономики — полезным эффектом.

Под полезным эффектом понимается конкретный вклад в удовлетворение общественных потребностей, т. е., как писал

К. Маркс, «использовалась стоимость в общественном масштабе»^{*}.

Полезный эффект всегда материален. Он может измеряться количеством выпущенной продукции, объемом оказанных услуг, в частности, площадью обследованной акватории, количеством пробуренных скважин, добытой нефти и т. п. Сам по себе полезный эффект не связан ни со временем, ни с каким-либо периодом или циклом использования плывучего технического средства. Однако полезный эффект, достигнутый за операцию, или цикл использования плывучего технического средства, или определенный период времени, становится измерителем функциональной эффективности как свойства, присущего любой автономной большой системе. В этом отношении уместна аналогия с работой и мощностью. Полезный эффект — аналог работы, для измерения объема которой не важно ни за какой срок, ни кем она выполнена. Роль единицы времени, к которой приводится мощность из-за принята оценка по заверенной операции, играет чаще всего цикл использования, рейс и лишь иногда год работы. Иными словами, функциональная эффективность — полезный эффект, созданный с помощью рассматриваемого объекта за цикл или определенный период его использования.

Это положение справедливо для детерминированных процессов, в которых величина полезного эффекта, достигнутого за операцию, не зависит от множества второстепенных обстоятельств. В практике чаще всего величина полезного эффекта, достигнутого за операцию или цикла использования, имеет случайный характер, и каждому незначительно соответствует определенная вероятность. Это учитывается в категории функциональной эффективности. Для однозначного определения функциональной эффективности объекта необходимо знать две величины: величину ожидаемого полезного эффекта и вероятность его получения за операцию или цикл использования плывучего технического средства.

Необходимо проговорить, что функциональная эффективность проектируемого объекта зависит не только от его собственных свойств, но и от условий использования. Так, полезный эффект — количество пробуренных скважин — будет существенно зависеть от глубины моря в районе бурения, от гидрометеорологических условий. Поэтому при определении функциональной эффективности наряду с вектором, характеризующим технико-эксплуатационные элементы проектируемого объекта, необходимо ввести еще одну векторную характеристику — набор величин, определяющих условия, в которых предполагается использование этого объекта.

Основываясь на сказанном, поскольку одна из задач технико-экономического анализа — исследование зависимости функциональной эффективности от ТЭЭ, можно записать:

$$Z_0 = \begin{cases} W = W(x, z); \\ p(W) = p(x, z, W), \end{cases} \quad (2.10)$$

где W — величина полезного эффекта в зависимости от ТЭЭ проектируемого объекта Z и вектора-характеристики внешних условий x ; $p(W)$ — вероятность достижения заданного полезного эффекта за цикл использования объекта. Вероятность $p(W)$ зависит не только от ТЭЭ объекта и условий его использования, но и от того, какова величина полезного эффекта.

Оценка проектируемого объекта только показателем функциональной эффективности страдает существенной неполнотой. Как потенциальному пользователю средства освоения Марового океана, так и его проектиранту, руководствующимся народно-хозяйственными интересами, далеко не безразлично, какой ценой достигается тот или иной результат, какие ресурсы для этого необходимы. Поэтому наиболее полное суждение об успешности операции или о том, насколько удачен проект, может быть вынесено только с помощью категорий экономической эффективности.

Под экономической эффективностью понимают соотношение между достигаемым полезным эффектом и его вероятностью и затратами различных ресурсов на достижение этого эффекта с учетом ценности и дефицитности каждого из них. При этом необходимо подчеркнуть, что под экономической эффективностью понимается именно соотношение — стрелено, соответствия, а не отношение затрат к эффекту или обратное, которое, как будет показано ниже, как правило, не лучшим образом характеризует экономическую эффективность.

Экономическая эффективность может быть однозначно охарактеризована тремя показателями: величиной полезного эффекта, вероятностью его достижения, затратами ресурсов на достижение этого эффекта с заданной вероятностью.

Категория экономической эффективности, в отличие от функциональной, имеет дополнительный показатель, характеризующий затраты ресурсов. Поэтому экономическая эффективность может быть определена как стрелено соответствия уровня функциональной эффективности проектируемого объекта и затрат на достижение этого уровня. При детерминированной постановке задачи функциональная эффективность измеряется непосредственно величиной полезного эффекта, полученного за операцию, а экономическая эффективность — соотношением между этим полезным эффектом и затратами на его достижение. Такова связь между этими категориями.

Первые два показателя могут быть представлены в зависимости от технико-эксплуатационных характеристик проектируемого

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, т. 25, с. 11, с. 186.

объекта — вектора ТЭЭ Z , а третий в зависимости от вектора ТЭЭ и параметров технических решений — вектора ПТР β (см. 2.1):

$$\left. \begin{aligned} W &= W(Z, \beta); \\ p(W) &= p(Z, \beta, W); \\ C(W, p) &= C(Z, \beta, W, p, \theta). \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

где $C(W, p)$ — затраты на достижение заданной величины полезного эффекта W с вероятностью p .

Остальные обозначения те же, что и в формуле (2.10). Тогда основная задача исследователяского проектирования, выбора оптимального варианта, решаемая методами технико-экономического анализа в процессе технико-экономического обоснования, сводится к отысканию экстремума одного из этих показателей при ограничениях, накладываемых на остальные.

Таким образом, задача технико-экономического обоснования сводится к самой ли не сложнейшей задаче экономики — соотношению затрат и результатов и выбору на этом основании лучшего из возможных вариантов.

Возникает вполне естественный вопрос, по какому же из показателей экономической эффективности производить выбор варианта, а какие показатели вывести в ограничения или, что практически то же, что принять за критерий?

В Большой советской энциклопедии критерий определяется: «Критерий (от греческого κρισιον — средство для суждения) — признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо, мерило суждения, оценки. Критерий оптимальности там же определяется, как признак, на основании которого производится сравнительная оценка возможных решений, альтернатив, и выбор наилучшего».

В литературе понятие критерия используется обычно в двух трактовках (что не противоречит приведенным определениям): критерий — показатель, количественный признак, и критерий — условие.

Так, например, под критерием оптимальности понимается условие экстремума (максимума или минимума) некоторого показателя, характеризующего функционирование какой-либо системы. В частности, это условие может быть записано в форме равенства нулю первой производной от показателя, по которому судят о функционировании этой системы.

В другом случае под критерием понимается сам показатель, характеризующий функционирование системы, и тогда говорят не о критерии оптимальности, а о величине критерия, о достижении им минимума или максимума. В дальнейшем будем пользоваться понятием критерия именно в этой трак-

товке, т. е. под критерием будем понимать показатель, характеристику системы, по величине которой будем судить о ее эффективности, сравнивать альтернативные варианты и принимать решение — осуществлять выбор наилучшего и устанавливать порядок предпочтения вариантов.

Выражение для критерия, зависящее через варьируемые параметры, в данном случае через ТЭЭ и ПТР, будем называть целевой функцией.

В качестве критерия экономической эффективности можно использовать различные показатели: каждый из показателей в формуле (2.11), некоторые их функции, в частности отношение полезности эффекта к затратам или отношение затрат к полезному эффекту, а также при известных условиях — разность между полезным эффектом и затратами.

Правильный выбор критерия необычайно важен. От правильности выбора критерия и его обоснованности зависит вся постановка задачи и, следовательно, надежность полученного решения. Хорошо известно, что «лучше приближено или даже ориентировочно решить задачу при правильно выбранном критерии, чем выбрать вариант решения по критерию, не отражающему истинные цели, но более доступному для определения».

С самого начала стоит оговорить, что попытка рекомендовать один определенный критерий на все случаи жизни или хотя бы на достаточно широкий класс задач технико-экономического обоснования заведомо бесплодна. Практически при постановке каждой задачи приходится в соответствии с поставленной целью выбирать и обосновывать свой критерий.

В этой связи возникает вопрос, какой же показатель должен выбираться за критерий, какими принципами должен руководствоваться исследователь, выбирая, формируя и обосновывая критерий. Сформулируем эти принципы, исходя из накопленного в этой области опыта и так называемого здравого смысла.

1. Критерий должен достаточно верно отражать основное назначение проектируемого объекта, цель его создания, или, пользуясь терминологией исследования операций, можно сказать, что критерий должен адекватно отражать цель операции.

Критерий должен иметь простую и наглядную физическую трактовку. Часто говорят, что выбор критерия — прерогатива «заказчика», а не исследователя, понимая под «заказчиком» потенциального владельца и пользователя проектируемого объекта, что принципиально правильно. Критерий должен в рамках создания и использования проектируемого объекта отражать народнохозяйственные интересы, которые наилучшим образом осознает и определяет «заказчик». Именно поэтому критерий и должен зрело и наглядно интерпретироваться, чтобы лишь или коллектив, представляющие интересы «заказчика», могли уснуть, в какой степени выбранный за критерий показатель отражает народнохозяйственные интересы.

2. Критерий должен быть однозначной, вычислимой функцией всех варьируемых параметров. При неоднозначном критерии сравнение становится невозможным, а отсутствие зависимости хотя бы от одного из варьируемых параметров делает невозможным учет влияния параметра на качество принимаемого решения.

3. Критерий и связывая с ним постановка задачи должны удовлетворять принципу иерархичности, т. е. порядок предпочтения вариантов, установленный по выбранному критерию на определенном уровне, должен сохранять силу и при переходе на более высокий уровень. Это положение требует пояснения.

Выше упоминалось, что в основе выбора любых решений в области технико-экономического анализа лежит народнохозяйственные интересы, которые хорошо просматриваются и формулируются только на высшем уровне — на уровне всего народного хозяйства в целом. Можно представить себе два пути обоснования решений. Первый путь — обосновывать все решения, в том числе и технико-эксплуатационные элементы средств освоения Мирового океана на данном уровне. Нетрудно видеть, что этот путь совершенно неверен. Любой критерий, востребованный применительно ко всему народному хозяйству, в целом будет нечувствителен, так как говорит, не критичен к изменению ТЭО отдельного проектируемого объекта, а сама задача, в которую войдет вся проектируемая в стране техника, станет несерьезно громоздкой и неопределимой. Поэтому остается только второй путь: такая постановка задач технико-экономического обоснования каждого проектируемого объекта и в первую очередь такой выбор и формирование критериев, при которых установленный на каждом уровне порядок предпочтения вариантов сохраняется бы при переходе на более высокий уровень. Это условие называется принципом иерархичности, а само последовательное разбиение крупномасштабной задачи на ряд более мелких при хотя бы приближенном соблюдении этого принципа — *декомпозицией*.

4. Критерий должен обеспечивать сопоставимость вариантов на всем множестве значений варьируемых параметров.

Сформулированные требования позволяют назвать некоторые общие принципы подхода к выбору и формированию критерия экономической эффективности.

2.3. Виды и измерение полезного эффекта. Функции полезности

Выше упоминалось, что функциональная эффективность характеризуется двумя показателями: величиной полезного эффекта и вероятностью достижения этого эффекта за операцию. Измерение полезного эффекта представляет собой одну из наиболее сложных задач экономики.

В зависимости от характера удовлетворяемых общественных потребностей полезный эффект может быть различен. Обычно рассматриваются четыре вида полезного эффекта:

— *экономический эффект* — результат, приводящий к повышению производительности общественного и индивидуального труда, к повышению качества продукции, снижению ее себестоимости, открытию новых источников сырья, созданию новых потребительных стоимостей, т. е. изделий, способных удовлетворять те потребности общества и индивидуумов, которые до этого не удовлетворялись;

— *социальный эффект* — результат, приводящий к улучшению условий жизни, к улучшению условий труда, обеспечивающей сохранность окружающей среды, и т. п.;

— *политический эффект* — результат, повышающий обороноспособность страны, ее независимость от капиталистического окружения, ее престиж;

— *моральный эффект* — результат, расширяющий и уточняющий наше познание об окружающем мире, приводящий к принципиальной возможности создания новых технологий.

Сложность измерения полезного эффекта практически любого крупномасштабного мероприятия (операции), в том числе и создания какого-либо средства освоения Мирового океана, заключается в двух обстоятельствах.

Как правило, обычно следствием каждой крупномасштабной операции бывает не один, а несколько полезных эффектов. Создание собственных буровых судов имеет прямой экономический эффект — увеличение в конечном итоге дебита добычи нефти. Наряду с этим есть и политический, и социальный эффекты: способность создавать такие сложные инженерные сооружения, как буровые суда, повышает независимость страны и, естественно, ее престиж; высокие требования к обитаемости и комфортные условия для команд на этих судах связаны с безусловным социальным эффектом. Вследствие этого оказывается необходимым оценить, соизмерить между собой и учесть при оценке проекта такого судна все виды полезного эффекта.

Не меньшую сложность представляет собой и в большинстве случаев и измерение каждого из полезных эффектов. Далее не всегда величина действительного полезного эффекта следует за величиной его измерителя. Хорошо известно, что полезный эффект установочного на судне оборудования в большой степени зависит от его долговечности — одного из важнейших показателей качества этого оборудования. Однако при сроке службы оборудования — измерителе долговечности, превышающем срок службы судна, это важное качество перестает быть полезным, т. е. полезный эффект перестает следовать за своим измерителем.

Одним из способов, с помощью которых решают подобные задачи, служит восторженное и использование получившихся за

последнее время довольно широкое распространение так называемых функций полезности.

Введем в рассмотрение некоторые новые понятия. Пусть в результате операции при варьировании некоторым параметром x (x_1, x_2, \dots, x_n) и т. д. могут иметь место исходы $A_1(x_1), \dots, A_n(x_n)$, т. е. каждому значению варьируемого параметра x соответствует определенный исход (результат) $A_i = A_i(x_i)$. Установлен порядок предпочтительности этих исходов:

$$A_1(x_1) > A_2(x_2) > \dots > A_n(x_n).$$

Знак предпочтения $>$ обозначает, что исход A_i предпочтительнее исхода A_j . Знак $>$ обладает свойством транзитивности (переходности), т. е. если $A_1 > A_2$, то $A_1 > A_3$.

Однако даже установление порядка предпочтения на всем множестве исходов недостаточно для измерения полезного эффекта. Для этого необходимо не только установить порядок предпочтения, но и ввести на множестве исходов шкалу оценок при предпочтении, т. е. количественно отсчитать во сколько раз один исход предпочтительнее другого.

Приведем каждому исходу $A_i(x_i)$ некоторую положительную величину $u[A_i(x_i)]$, удовлетворяющую следующему условию (аксиоме):

1. Если исход A_1 предпочтительнее, чем A_2 , то $u(A_1) > u(A_2)$. Если исход A_3 эквивалентен (равноценен) A_2 , то $u(A_1) = u(A_2)$.
2. Если u_1 и u_2 соответствуют исходам A_1 и A_2 , то $u_1 + u_2$ соответствует выбору, включающему A_1 и A_2 .

Функция $u(A)$, удовлетворяющая названным условиям, называется функцией полезности.

Поскольку наступление исхода A_i имеет место при значении варьируемого параметра x_i , целесообразно функцию полезности $u(A_i)$ рассматривать как функцию самого варьируемого параметра

$$u(A_i) = u(x_i)$$

или в случае непрерывного аргумента x рассматривать функцию полезности

$$u = u(x).$$

Необходимо остановиться на экономическом смысле функции полезности. В некоторых работах функция полезности рассматривается как субъективная, определяемая психофизическими предпочтениями одного исхода перед другим [78]. Здесь она имеет совершенно иной смысл. В. В. Новожилов отмечал, что имеет совершенно иной смысл. В. В. Новожилов отмечал, что имеет совершенно иной смысл. В. В. Новожилов отмечал, что имеет совершенно иной смысл. Между тем, продукт труда и эффект труда — не одно и то же [41, с. 53]. В данном случае функция полезности

устанавливает соответствие между эффектом труда и продуктом труда, и потому имеет вполне объективный характер.

В практике рассматривается несколько типов функций полезности. Наиболее простые и распространенные функции полезности предложены академиком А. Н. Колмогоровым [28]: линейная и пороговая.

Примерами линейной функции полезности могут служить зависимость полезного экономического эффекта от скорости бурения, зависимость социального эффекта (с некоторыми оговорками) от площади жмыха зюмшера на одного члена команды. Иными словами, несколько упрощая, можно сказать, что линейная функция полезности имеет место в тех случаях, когда справедливо принцип «чем больше, тем лучше».

Уравнение линейной функции полезности

$$u(x) = k \cdot x.$$

Нетрудно видеть, что величина углового коэффициента k в уравнении прямой функции полезности привнесшего значения не имеет и может только масштаб. Поэтому в дальнейшем целесообразно записывать линейную функцию полезности (рис. 2.1) в виде

$$u(x) = x. \quad (2.12)$$

Другой распространенный вид функции полезности — пороговая. Пороговая функция полезности имеет место, когда цель операции достигается при определенном значении параметра. При значении параметра меньшем, чем пороговое, цель операции не достигается, и полезный эффект равен нулю. При значении параметра, превышающем пороговое, никакого дополнительного полезного эффекта не возникает (рис. 2.2).

Уравнение пороговой функции полезности

$$u(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x_0; \\ 1 & \text{при } x \geq x_0. \end{cases} \quad (2.13)$$

Примером пороговой функции полезности может служить зависимость полезного эффекта (возможности создания судна



Рис. 2.1. Линейная функция полезности.



Рис. 2.2. Пороговая функция полезности. x_0 — пороговое значение аргумента.

для геологических исследований) от объема, который возможно выделить для размещения буровой установки. Если выделенных объемов меньше, чем это необходимо для размещения комплекса оборудования, то на сколько меньше, значения не имеет — все равно создать удовлетворительное судно не удастся. С другой стороны, если выделенные объемы будут больше, чем это необходимо, то это не улучшит положения — дополнительные объемы будут лишними. Приведем другой пример: для постройки судна необходимо удлинить док на 30 м. Если док будет удлинен на 10 или на 20 м, судно все равно не может быть построено, удлинение же дока на 40 м дополнительной пользы не принесет.

Пороговый характер имеет в некоторых случаях функция полезности предельной глубины погружения — одного из важнейших ТЭЭ подводных аппаратов.

Если предельная глубина погружения подводного аппарата меньше, чем глубина выполнения работ, аппарат своего назначения не выполняет; если больше, то на сколько — значения не имеет: работы будут выполнены при любой предельной глубине погружения, **иррациональный эффект**.

Ступенчатая функция полезности с насыщением. Рассмотрим полезный эффект от увеличения срока службы судосного брашпиля. Будем считать, что срок службы судна, для которого предназначен этот брашпиль, 25 лет и каждые 5 лет судно проходит заводской ремонт. В пределах до 25 лет функция полезности будет носить ступенчатый характер, так как частые межремонтные переюды срока службы не полезны; выгоднее сменить брашпиль в ближайшем предшествующем ремонте, чем выиграть два-три года в сроке использования механизма, но для его замены вывести судно из эксплуатации.

Дальность срока службы брашпиля, превышающая срок службы судна, бесполезна: снимать старый шпиль и ставить его на новое судно в общем случае нерационально. График ступенчатой функции полезности приведен на рис. 2.3. Уравнение ступенчатой функции полезности имеет вид

$$u(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x < x_1; \\ u_1 & x_1 \leq x < x_2; \\ \dots & \dots \\ u_{i-1} & x_{i-1} \leq x < x_i; \\ \dots & \dots \\ u_n & x_{n-1} \leq x. \end{cases} \quad (2.14)$$

где u_n — максимальное значение функции полезности.



Рис. 2.3. Ступенчатая функция полезности.

x_1, x_2, \dots, x_n — значения аргументов при разрыве функции полезности.



Рис. 2.4. Функция полезности с перегибом.

Функция полезности с перегибом (рис. 2.4). До какого-то значения варьируемого параметра полезность растет, достигает максимума и далее убывает. Примером ТЭЭ, для которого функция полезности имеет такой характер, может служить в большинстве случаев скорость судна. Вначале, с ростом скорости, экономический эффект (прибыль) растет, а затем, вследствие того, что высокая скорость требует значительной мощности и связанных с ней затрат, убывает.

Уравнение подобной функции полезности с перегибом записать затруднительно, так как подобный характер имеет достаточно широкий класс функций. Однако обобщая для всего этого класса будут два условия:

$$\left. \begin{aligned} u(x) &= 0 \\ \frac{du}{dx} &> 0 \end{aligned} \right\} \text{ при } x=0; \quad (2.15)$$

$$\frac{d^2u}{dx^2} < 0 \text{ при } x \geq 0.$$

Во всех приведенных случаях мы иллюстрировали функции полезности зависимостями полезного эффекта от какого-либо технико-эксплуатационного элемента. Однако это частный случай. Практика требует решения более общей и более важной задачи — построения функции полезности от измерителя полезного эффекта, таких, как площадь обследованного района, число и глубина пробуренных скважин и т. п. Важно, что полезный эффект не всегда пропорционален числу пробуренных скважин и т. п., т. е. задача заключается в том, чтобы построить функцию полезности — зависимость действительного полезного эффекта от доступного нам его измерителя.

Мы рассмотрели четыре вида функций полезности от одного аргумента. В действительности их может быть значительно больше. Как строить функции полезности? Формально строгий

теория построения функций полезности не существует, и вряд ли она может быть разработана. Построение функций полезности, соответствующие их существу задачи в значительной мере зависит от опыта и интуиции исследователя, от степени его контактов с «заказчиком», от того, насколько ясно и верно представляет он себе цель создания объекта, его назначение, вероятный характер его использования. Иными словами, построение функций полезности лежит на грани науки и искусства.

Введение функций полезности позволяет упростить запись выражений для функциональной и экономической эффективности, объединяя величину полезного эффекта и вероятность его получения.

Введем показатель — уровень функциональной эффективности:

$$W = \sum_{i=1}^n u(x_i) p(x_i). \quad (2.16)$$

где x — измеритель полезного эффекта; $p(x_i)$ — вероятность того, что измеритель полезного эффекта примет значение x_i ; n — число возможных значений измерителей полезного эффекта; $u(x_i)$ — функция полезности.

Для непрерывного измерителя полезного эффекта*

$$W = \int_0^{\infty} u(x) f(x) dx, \quad (2.17)$$

где $f(x)$ — плотность распределения вероятности измерителя полезного эффекта.

Нетрудно видеть, что в простейших случаях, т. е. для линейной функции и пороговой функции полезности, выражение уровня функциональной эффективности представляет собой математическое ожидание полезного эффекта и вероятность решения определенной задачи соответственно. Действительно, при линейной функции полезности $u(x) = x$

$$W = \int_0^{\infty} x f(x) dx = M(x),$$

где $M(x)$ — математическое ожидание величины полезного эффекта.

При пороговой функции полезности

$$W = \int_0^{\infty} u(x) f(x) dx = \int_0^{x_0} 0 f(x) dx + \int_{x_0}^{\infty} 1 f(x) dx = P(x \geq x_0),$$

где $P(x \geq x_0)$ — вероятность решения определенной задачи.

* Выражение предложено д-ром техн. наук Л. Ю. Худяковым.

Эти показатели — математическое ожидание величины полезного эффекта при линейной функции полезности и вероятность решения задачи при пороговой функции полезности — полностью характеризуют функциональную эффективность в соответствующих случаях.

2.4. Возможные критерии экономической эффективности

При выборе уровня функциональной эффективности в виде единого показателя экономическая эффективность описывается только двумя величинами: показателем уровня функциональной эффективности и показателем уровня затрат. При фиксировании одного из них или наложении на один из них ограничений второй превращается в критерий экономической эффективности.

Отсюда и вытекают две постановки задачи оптимизации, или выбора наилучшего варианта: максимизация уровня функциональной эффективности при ограничениях на затраты ресурсов и минимизация затрат при заданных требованиях к уровню функциональной эффективности или ожидаемому полезному эффекту:

$$Z = Z_{\text{opt}}, \quad \text{если} \begin{cases} W(x) = \max; \\ C(x) \leq C_0; \end{cases} \\ Z = Z_{\text{opt}}, \quad \text{если} \begin{cases} W(x) \geq W_0; \\ C(x) = \min. \end{cases} \quad (2.18)$$

где W — уровень функциональной эффективности; Z — вектор технико-эксплуатационных характеристик; C — показатель, характеризующий затраты ресурсов на создание и эксплуатацию проектируемого объекта.

В общем случае обе постановки равносильны. Действительно, если удастся построить однозначную монотонную функцию $C = C(W)$, связывающую полезный эффект за операцию (или уровень функциональной эффективности) и затраты, то вследствие ее однозначности и монотонности максимальный уровень функциональной эффективности будет достигаться при наибольшей допустимой величине затрат, т. е. когда величина затрат совпадает с наложенным ограничением. И наоборот, минимальная величина затрат будет соответствовать заданному уровню функциональной эффективности, так как любое уменьшение затрат не обеспечит его требуемой величины.

Однако на практике два рассмотренных критерия и связанные с ними постановки задачи минимизации затрат и максимизации полезного эффекта не всегда оказываются равносильными, и это в полной мере относится к задачам обоснования средств Мирового океана. Эта неравносильность постановок

вытекает из принципа иерархичности, которым определяется одно из важнейших сформулированных выше требований к критерию.

Можно показать, что требованию иерархичности удовлетворяет только постановка задачи, связанная с минимизацией затрат F .

Известно, что оптимизация при ограничениях проводится с помощью так называемой функции Лагранжа, которая в нашем случае должна быть представлена в соответствии с постановкой задачи в одной из двух форм:

$$L = W(x) + \lambda [C(x, y) - C_0] \quad (2.19)$$

для первой постановки (максимизация полезного эффекта);

$$L = C(x, y) + \lambda [W(x) - W_0] \quad (2.20)$$

для второй постановки (минимизация затрат), где x — вектор базисных ТЭЭ; y — вектор ПТР; W — уровень функциональной эффективности; C — коэффициент величины затрат; W_0 — требуемый уровень функциональной эффективности; C_0 — максимальный допустимый уровень затрат; λ — множитель Лагранжа.

Поскольку в дальнейшем изложении функция Лагранжа играет весьма заметную роль, целесообразно остановиться на принципе ее построения. Идея использования функции Лагранжа заключается в том, что вместо задачи отыскания экстремума целевой функции, подчиненной некоторым ограничениям, решается задача отыскания экстремума более сложной функции, но зато без ограничений. В частности, именно так решается задача отыскания:

$$\min_x C(x) = \min_{x_1, \dots, x_n} C(x_1, \dots, x_n), \quad (2.21-1)$$

при ограничении

$$F(x) - F_0 = W(x_1, \dots, x_n) - W_0 = 0. \quad (2.21-2)$$

Последнее ограничение означает, что допустимыми значениями ТЭЭ, минимизирующими целевую функцию $C(x_1, \dots, x_n)$, могут быть только те, которые в совокупности удовлетворяют условию (2.21-2).

Для простоты рассмотрим эту задачу применительно к двум переменным, т. е. двум технико-эксплуатационным элементам подводного аппарата: скорости — $x_1 = v$ и глубине погружения $x_2 = z$.

Поскольку и эффективность подводного аппарата, и его стоимость зависят и от глубины погружения, и от скорости, можно записать:

$$W = W(x_1, x_2); \\ C = C(x_1, x_2).$$

На функции $C(x)$ и $W(x)$ наложим условия непрерывности и дифференцируемости. В силу дифференцируемости $W(x_1, x_2)$

$$\frac{dW}{dx_1} = \frac{\partial W}{\partial x_1} + \frac{\partial W}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dx_1} = 0, \quad (2.22)$$

где $\frac{dW}{dx_1}$ — полная производная от W по x_1 .

Уравнение (2.22) выражает скорость изменения W при изменении x_1 , причем вторая переменная x_2 должна изменяться так, что условие (2.21-2) остается в силе. Отсюда

$$\frac{dx_2}{dx_1} = - \frac{\frac{\partial W}{\partial x_1}}{\frac{\partial W}{\partial x_2}}. \quad (2.23)$$

С другой стороны, условие экстремума функции $C(x_1, x_2)$ при (x_1^0, x_2^0) :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x_1} = \frac{\partial C}{\partial x_1} + \frac{\partial C}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dx_1} = 0; \\ \frac{\partial C}{\partial x_2} = \frac{\partial C}{\partial x_2} + \frac{\partial C}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dx_2} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

Если при этом точка оптимума удовлетворяет условию (2.21-2), то справедливо (2.23) и

$$\frac{\frac{\partial C}{\partial x_1}}{\frac{\partial C}{\partial x_2}} = \frac{\frac{\partial W}{\partial x_1}}{\frac{\partial W}{\partial x_2}},$$

т. е. в точке (x_1^0, x_2^0) экстремума функции $C(x)$, удовлетворяющей условию (2.21-2), частные производные функций $C(x)$ и $W(x)$ должны быть пропорциональны. Обозначая коэффициент пропорциональности через λ , можно записать:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x_1} + \lambda \frac{\partial W}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{\partial C}{\partial x_2} + \lambda \frac{\partial W}{\partial x_2} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

Введем теперь функцию

$$L(x_1, x_2, \lambda) = C(x_1, x_2) + \lambda [W(x_1, x_2) - W_0]. \quad (2.26)$$

Нетрудно видеть, что производные от функции (2.26) совпадают с выражениями (2.25). Функция L называется функцией Лагранжа, а коэффициенты λ — множителями Лагранжа.

Использование функций Лагранжа позволяет показать предпочтительность выбора в качестве критерия экономической эффективности показателя величины затрат (второй постановка задачи) перед максимизирующей уровень функциональной эффективности при фиксированных затратах.

В любом мероприятии, связанном с освоением Мирового океана, участвует, как правило, несколько типов судов, каждый из которых решает свою задачу. Так, при исследовании континентального шельфа принимаются участие научно-исследовательские суда, суда снабжения, плавучие буровые установки и др.

Естественно в этом случае стремиться к такому выбору ТЭЭ и ПТР, которые бы обеспечили наибольшую экономическую эффективность не только судна или аппарата, а всей системы в целом. Функциональная эффективность для всей системы в целом будет иметь вид:

$$L_1 = W(x_1, x_2, \dots, x_n) + \lambda [C(x_1, y_1, \dots, y_m) - C_0] \quad (2.27)$$

— для второй постановки

$$L_2 = C(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n) + \lambda [W(x_1, x_2, \dots, x_n) - W_0] \quad (2.28)$$

где x_1, y_1 — векторы ТЭЭ и ПТР для первого типа судов; x_2, y_2 — то же для второго типа судов и т. д.

Условие оптимальности варианта многоэлементной системы при наличии ограничений служит равенство нулю производной от функции Лагранжа по варьируемому параметру — одному из ТЭЭ или ПТР какого-либо из входящих в нее объектов.

Рассмотрим структуру каждого из слагаемых функций Лагранжа. Уровень функциональной эффективности представляет собой сложную функцию ТЭЭ и ПТР всех подсистем — судов и аппаратов, входящих в систему. При этом уровень функциональной эффективности каждой из подсистем зависит, в свою очередь, от ТЭЭ остальных, т. е. от того, как осуществляется взаимодействие между подсистемами. Иными словами, можно записать:

$$W_1 = W_1(x_1, x_2, \dots, x_n, z) \quad (2.29)$$

где W_1 — уровень функциональной эффективности подсистемы; x_1 — вектор ТЭЭ i -й подсистемы; x_2, \dots, x_n — векторы ТЭЭ остальных подсистем; z — вектор — характеристика внешних условий.

Показатель, характеризующий затраты ресурсов на i -ю подсистему, зависит только от ТЭЭ и ПТР этой подсистемы. Действительно, нетрудно видеть, например, что стоимость постройки буровой установки для разведочного бурения с заданными ТЭЭ никак не зависит от ТЭЭ судна снабжения, обеспечивающего ее функционирование.

Следовательно, можно записать:

$$C(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n) = C_1(x_1, y_1) + C_2(x_2, y_2) + \dots + C_n(x_n, y_n) \quad (2.30)$$

т. е. показатель затраченных ресурсов может быть представлен в виде суммы показателей затрат по каждой подсистеме, причем каждый из этих показателей-слагаемых будет зависеть только от ТЭЭ и ПТР этой подсистемы и будет независим от ТЭЭ и ПТР других подсистем, входящих в систему. Иными словами, показатель затрат обладает важным свойством separability*.

Важно отметить и другое обстоятельство. В процессе проектирования называемого технико-экономического объекта обычно проводится планирование или проектирование задач, в которых будут использоваться проектируемые объекты. При этом, как правило, удается достаточно точно определить, какую именно часть задачи следует решать проектируемым объектом. Это необходимо для выбора технико-экономического обоснования, и без него не само обоснование, и весь процесс проектирования терпит поражение.

С учетом сказанного рассмотрим характер производных от функций Лагранжа для обоих критериев, или, что то же, для двух рассматриваемых постановок.

Рассматривая вторую постановку задачи, воспользуемся возможностью выделить задачу, которую будет решать обособленная подсистема. Тогда функциональная эффективность всей системы может быть записана:

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = W[x_1, W(x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)] = \\ = W[W(x_1), W(x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)]$$

где $W(x_1)$ — функциональная эффективность i -й подсистемы при решении ее своей задачи при заданном уровне взаимодействия с остальными подсистемами; $W(x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)$ — функциональная эффективность остальных подсистем.

Зададимся определенным составом остальных (кроме i -й) подсистем, их ролями при решении общей для всей системы задачи, уровнем их функциональной эффективности и взаимодействии с i -й подсистемой. Поскольку у этой постановки уровень эффективности системы фиксируется, это возможно.

Тогда функциональную эффективность всей системы можно рассматривать как функцию двух аргументов: x_1 — вектора ТЭЭ i -й подсистемы и $W_n(x_2, x_3, \dots, x_n)$ — определенного уровня эффективности остальных подсистем и взаимодействия с i -й подсистемой.

* Функция называется separable (разделимой), если она представлена в виде $F(x) = F_1(x_1) + F_2(x_2) + F_3(x_3)$ суммой функций-слагаемых, каждая из которых зависит только от одного аргумента.

Показатель $\Psi_n(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n)$ удобно рассматривать как параметр.

Условие оптимальности выбора ТЭЭ i -й подсистемы в отдельности:

$$\frac{\partial L_i}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial C_i(x_i, \beta_i)}{\partial x_{ij}} - \lambda \frac{\partial W^i(x_i, z)}{\partial x_{ij}} = 0; \quad j = 1, \dots, m_i \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial L_i}{\partial z} = W_i(x_i, z) - W_n = 0,$$

где x_{ij} — j -й технико-эксплуатационный элемент i -й подсистемы (судна или аппарата); W_n — заданный уровень эффективности i -й подсистемы; m_i — число рассматриваемых ТЭЭ i -й подсистемы.

Условие оптимальности для всей системы в целом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial C(x_1, \beta_1, \dots, x_n, \beta_n)}{\partial x_{ij}} + \\ + \lambda \frac{\partial W^i(x_i, \beta_i, W_n(x_1, \beta_1, \dots, x_{i-1}, \beta_{i-1}, \dots, x_n, \beta_n))}{\partial x_{ij}} = 0, \\ j = 1, 2, \dots, \sum_{i=1}^n m_i \end{aligned} \right\} (2.32)$$

$$\frac{\partial L}{\partial z} = W[W(x_1, z), W_n(x_1, \dots, \beta_{i-1}, \bar{x}_{i+1}, \dots, \beta_n, \bar{z})] - W_n = 0;$$

Здесь W_n — заданный уровень эффективности всей системы; $\sum_{i=1}^n m_i$ — общее число ТЭЭ всех подсистем.

Рассмотрим второе слагаемое второго уравнения (2.32). Так как $W_n(x_1, \dots, \beta_n, \bar{z})$ рассматривается как параметр, фиксированный на определенном значении, все дифференцируемое выражение является функцией только x_i .

С другой стороны, первое слагаемое также представляет собой функцию только x_{ij} . Действительно, исходя из (2.30), первый член левой части первого уравнения (2.32) распадается на ряд слагаемых, из которых только одно не равно нулю. Остальные слагаемые равны нулю, так как $C_n(x_n, \beta_n)$ при $k \neq i$ от x_i не зависит. Выражение (2.32) с учетом сказанного:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial [C_i(x_i, \beta_i) + \dots + C_1(x_1, \beta_1) + \dots + C_n(x_n, \beta_n)]}{\partial x_{ij}} + \\ + \lambda \frac{\partial W^i(x_i, \beta_i, W_n)}{\partial x_{ij}} = \\ = \frac{\partial C_i(x_i, \beta_i)}{\partial x_{ij}} + \lambda \frac{\partial W^i(x_i, \beta_i, W_n)}{\partial x_{ij}} = 0; \quad j = 1, \dots, m_i; \\ W(x_i, z, W_n) = W_n \end{aligned} \right\} (2.32')$$

Выражение (2.32) тождественно выражению (2.31), т. е. условие оптимальности всей системы по ТЭЭ какой-либо из ее подсистем и условия оптимальности данной подсистемы по тому же элементу полностью совпадают.

Вследствие этого группа уравнений (2.32), в которую входит $\sum_{i=1}^n m_i + 1$ взаимосвязанных уравнений, распадается на n подгрупп, каждая из которых может решаться самостоятельно, или, что то же, оптимизация, проведенная на более низком уровне, сохраняет свою силу при переходе на более высокий уровень, правда, при заданном характере взаимодействия между ее подсистемами.

При первой постановке задачи (максимизации функциональной эффективности или, в частном случае, полезного эффекта) это не имеет места; условие оптимальности выбора ТЭЭ для отдельной i -й подсистемы:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial W^i(x_i, \beta_i)}{\partial x_{ij}} + \lambda \frac{\partial C_i(x_i, \beta_i)}{\partial x_{ij}} = 0; \quad j = 1 \dots m_i \\ \frac{\partial L}{\partial z} = C(x_i, \beta_i) - C_i = 0. \end{aligned} \right\} (2.33)$$

Для всей системы условие оптимальности может быть записано:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial W(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n, z)}{\partial x_{ij}} + \\ + \lambda \frac{\partial C(x_1, \beta_1, \dots, \beta_i, \beta_1, \dots, \beta_n, \beta_n)}{\partial x_{ij}} = 0; \\ j = 1 \dots m_i \\ \frac{\partial L}{\partial z} = C(x_1, \beta_1, \dots, x_i, \beta_i, \dots, x_n, \beta_n) - C_i = 0. \end{aligned} \right\} (2.34)$$

Распределение задач между подсистемами и определение уровня их взаимодействия становится невозможным. И то, и другое существенно зависит от того, что может сделать каждая из подсистем. Поэтому при росте функциональной эффективности какой-либо из подсистем либо она начинает выполнять функции других элементов, либо произойдет нарушение взаимодействия: один элемент не успевают обеспечить функционирование других. Так, резкий рост добычи морской нефти может быть обеспеченным транспортными возможностями танкерного флота. При такой постановке может быть только вынужденное распределение ресурсов, т. е. определен уровень затрат на каждую из подсистем. Нетрудно видеть, что это ничего не дает.

Первое слагаемое первого уравнения системы (2.34) остается функцией ТЭЭ всех подсистем, а второе становится функцией ТЭЭ и ПТР только одной подсистемы независимо от распре-

делания ресурсов, вследствие ранней показанной сепарабельности функции затрат [см. формулу (2.30)]. А поскольку производные от функции Лагранжа остаются зависимыми от ТЭЭ всех подсистем, то и условие (2.34) не распадается на взаимно независимые группы уравнений, каждую из которых можно решить в отдельности.

Таким образом, принцип иерархичности удовлетворяет только второй постановке задачи, связанная с минимизацией затрат при заданном уровне функциональной эффективности. Вероятно, именно этим обстоятельством и объясняется то, что в практике технико-экономических обоснований почти исключительно пользуются второй постановкой задачи.

Однако возникает вопрос, сойдутся ли оптимальные варианты, если изменится характер взаимодействия между подсистемами? Конечно, нет.

Получившее значение варьируемого параметра, определяющее минимум функции Лагранжа, существенно зависит от характера взаимодействия между подсистемами и принимает уровни функциональной эффективности. Поэтому при оптимизации всей системы в целом необходимо варьирование и способами взаимодействия между подсистемами. В данном случае оптимизация носит характер последовательных приближений. Задают некоторый набор способов взаимодействия и разделение задач между подсистемами, и для каждого способа проводится оптимизация подсистем с минимизацией показателя затрат. Нетрудно видеть, что характер взаимодействия и распределения задач между подсистемами с соответствующими ему оптимальными по критерию затрат значениями и будет оптимальным вариантом организации системы.

Так обстоит дело с выбором оптимального варианта подсистемы — судна, аппарата или иного средства освоения Марсового океана. При переходе на более низкий уровень, когда в качестве системы рассматривается проектируемый объект, т. е. одно из средств освоения океана, а роль подсистем играют энергетические установки, комплексы специального оборудования и т. п., вопрос существенно усложняется дополнительными ограничениями, связанными с необходимостью иметь объемы и веса для размещения этих подсистем в заданных массо-габаритных характеристиках подсистем на водополетном, а следовательно, и на стоимостном проектируемом объекте.

Одним из возможных вариантов отыскания оптимального варианта на уровне проектирования подсистем служит следующий. Отыскивается минимум функции Лагранжа с показателем затрат на подсистему в качестве критерия при ограничениях, учитывающих не только требования к уровню функциональной системы, определенное на более высоком уровне, а также массо-габаритные характеристики системы.

$$L = C(\xi) + \lambda_1 [q(\xi) - q_0] + \lambda_2 [V(\xi) - V_0] + \lambda_3 [G(\xi) - G_0] \quad (2.35)$$

Здесь ξ — вектор технических характеристик рассматриваемой подсистемы; $C(\xi)$ — стоимость подсистемы; q_0 — уровень функционирования подсистемы, задаваемый на более высоком уровне; $q(\xi)$ — уровень функционирования подсистемы, обеспечиваемый ее техническими характеристиками; $V(\xi)$ — объем, требуемый для размещения подсистемы с вектором технических характеристик; V_0 — объем для размещения подсистемы, задаваемый на более высоком уровне; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — множители Лагранжа.

Так, при проектировании энергетической установки в качестве уровня ее функционирования может быть задана ее выходящая мощность, а в качестве массо-габаритных ограничений — допустимая масса установки и объем отсека, выделенного для ее размещения.

Уровень функционирования подсистемы может быть задан несколькими показателями. В приведенном примере энергетической установки это могут быть требования к надежности установки, ее долговечности и т. п. В таком случае выражение для функции Лагранжа (2.35) перепишется в виде:

$$L = C(\xi) + \sum_{k=1}^K \lambda_k [q_k(\xi) - q_{k0}] + \lambda_{K+1} [V(\xi) - V_0] + \lambda_{K+2} [G(\xi) - G_0]$$

где q_{k0} — заданные показатели уровня функционирования подсистемы, $q_k(\xi)$ — показатели уровня функционирования подсистемы, обеспечиваемые техническими характеристиками оборудования; K — число заданных показателей уровня функционирования.

Иллюстрированный подход является достаточно жестким. При этом подходе совершенно не учитывается полезность улучшения массо-габаритных характеристик системы, т. е. в его основе лежит допущение о том, что уменьшение массы или габаритов подсистемы пользы не приносит — выделенный на размещение подсистемы объем и допустимая ее масса при увеличении ее массо-габаритных характеристик просто остаются неиспользованными. В практике чаще всего бывает иначе. Главным конструктор, отвечающий за решение задачи высшего уровня, выдает лимиты на массы и объемы, которые могут быть использованы при проектировании и компоновке каждой подсистемы. В процессе проектирования подсистем некоторые лимиты не выдерживаются, иногда их используют не полностью.

Поскольку конструктор производит «перераспределение лимитов», «лимиты» оказываются вредными, а экономия — полезной.

Есть различные подходы, учитывающие данное обстоятельство. Один из них предложен В. М. Пашиним [45]. В основу этого подхода к формированию «локального» критерия (критерия экономической эффективности для подсистемы) положены следующие принципы:

— критерий для каждой подсистемы должен стимулировать выбор таких решений, которые в наибольшей степени отвечают «интересам глобального» критерия, т. е. критерия экономической эффективности для проектируемого объекта в целом;

— «глобальный» критерий должен «встраивать» поведение в подсистемах решений, которые сужают область допустимых решений, т. е. уменьшают возможность дальнейшего улучшения «глобального» критерия, и «вспрыскивать» те решения, которые ее расширяют, т. е. повышают возможность улучшения «глобального» критерия;

— расчет локального критерия должен быть «автономным», т. е. проводиться в рамках проектируемой подсистемы без использования информации, вырабатываемой в процессе проектирования других подсистем.

Критерий экономической эффективности в этом случае имеет вид

$$L = C_j(\bar{x}) + \frac{\partial C(\bar{x}, \bar{y}, \bar{v})}{\partial y_j} \Delta y_j + \lambda [W(\bar{x}) - W_0]. \quad (2.36)$$

Здесь $C_j(\bar{x})$ — стоимость j -й подсистемы в зависимости от вектора ее технических характеристик; \bar{y} — вектор массо-габаритных характеристик подсистемы; Δy_j — приращение (со своим знаком) одной из массо-габаритных характеристик j -й подсистемы; $\frac{\partial C(\bar{x}, \bar{y}, \bar{v})}{\partial y_j}$ — производная показателя затрат ресурсов по всей системе в целом по y_j .

Коэффициенты $\frac{\partial C(\bar{x}, \bar{y}, \bar{v})}{\partial y_j}$ имеют смысл множителей Лагранжа. Этот подход может оказаться весьма плодотворным и достаточно корректным в малой окрестности вектора ЦЭЭ, характеризующего базисный вариант системы в целом.

В частности, в качестве Δy_j можно рассматривать приращение габаритов и масс энергетической установки, а все произведение $\frac{\partial C(\bar{x}, \bar{y}, \bar{v})}{\partial y_j}$ будет иметь смысл удорожания проектируемого объекта в связи с увеличением подчинственности вследствие увеличения габаритов и массы энергетической установки.

Выше упоминалось о дробных критериях, выражающих отношение затрат к полезному эффекту или полезному эффекту к затратам. Распространенность этих показателей объясняется их простотой и наглядностью, ясным экономическим смыслом.

По существу, эти показатели — удельные. Они отвечают на вопрос, сколько стоит единица полезного эффекта или сколько единиц полезного эффекта можно получить на рубль затрат.

Потому данные показатели, используя, их используют и, надо полагать, будут использовать еще достаточно долго. Можно упомянуть, что один из наиболее распространенных и экономичных показателей — абсолютная экономическая эффективность — представляет собой отношение полезного эффекта, в частности суммы прибыли, к капитальным вложениям, обеспечивающим достижение этого эффекта.

Вместе с тем еще выдающийся советский экономист проф. В. В. Новожилов обращал внимание на необходимость осторожного обращения с удельными показателями типа эффект—затраты или обратных и показывал примеры ошибок, с которыми связано использование таких показателей. Дело в том, что использование в дробных критериях обоих показателей — и объема полезного эффекта, и показателя затрат — создает обманчивое впечатление независимости дробного показателя от величины полезного эффекта и от величины определяющего параметра, который обуславливает эффект, и затраты. А это, в свою очередь, приводит чаще всего к ошибочному выводу об отсутствии необходимости приведения затрат к одному и тому же полезному эффекту, к одной и той же функциональной эффективности. Иными словами, использование в дробном критерии и показателя затрат, и показателя полезного эффекта создает иллюзию того, что такой критерий, вычисленный при любом значении определяющего параметра или полезного эффекта, сохраняет силу на всем множестве вариантов, т. е. при любом другом значении определяемого параметра или определяющего параметра, что бывает, к сожалению, далеко не всегда. Поэтому целесообразно рассмотреть условия, когда дробный критерий действительно не зависит от определяющего параметра и применим без ограничений, и когда его применение ограничено, т. е. связано с обязательным приведением к одному и тому же полезному эффекту.

В практике технико-экономических обоснований обычно варьируют не только каким-либо количественным параметром, но и качественной характеристикой рассматриваемой системы или ее подсистемы. Так, при выборе средства (судна или аппарата) для решения определенной задачи сопоставляют различные типы средств и определяют для каждого типа зависимость показателя полезного эффекта от количества единиц; при выборе энергетической установки варьируют ее типом и мощностью. Сравнение качественно различных вариантов по удельному показателю возможно только в том случае, если удельный показатель не зависит от варьируемого параметра. Это может быть только тогда, когда при изменении варьируемого параметра полезный эффект и затраты изменяются пропорционально

друг другу. Условие применимости удельных показателей на интервале (x_1, x_2)

$$\frac{C(x)}{W(x)} = \text{const при } x_1 \leq x \leq x_2. \quad (2.37)$$

А это, в свою очередь, может быть (за исключением специально подобранных соотношений, не встречающихся в практике) только в том случае, когда в полезный эффект, и затраты пропорциональны величине варьируемого параметра (рис. 2.5), т. е. имеют место зависимости:

$$W = k_1 x; C = k_2 x, \quad (2.38)$$

где W — показатель полезного эффекта; C — показатель затрат; x — варьируемый параметр; k_1, k_2 — коэффициенты пропорциональности.

При любой другой зависимости $W(x)$ и $C(x)$ удельные показатели меняются с изменением варьируемого параметра и не обеспечивают сопоставимости вариантов. Даже при наиболее простой — линейной зависимости полезного эффекта и затрат от варьируемого параметра вида:

$$W = k_1 x + b_1; C = k_2 x + b_2,$$

где b_1, b_2 — некоторые статистические коэффициенты (свободные члены), — удельные показатели выражаются достаточно сложной дробно-линейной функцией и изменяются вместе с варьируемым параметром.

При этом сравнение качественно различных вариантов системы по удельному показателю становится либо затруднительным, либо вообще невозможным, так как в зависимости от величины варьируемого параметра меняется порядок предпочтения вариантов. Проиллюстрируем сказанное примером по данным [37].



Рис. 2.5. Характер изменения показателей полезного эффекта $W(x)$ и затрат $C(x)$ допускающих применение дробных показателей экономической эффективности.

Проектируется плавучий горно-обогатительный комбинат для добычи респинных полезных ископаемых на шельфе. Рассматриваются варианты с атомной энергетической установкой и дизельной и варьируется производительность плазм/Ока. Зависимость удельного показателя затрат (приседаемые затраты на тонну руды) приведены для обоих вариантов на рис. 2.6. Нетрудно видеть, что до производительности $Q < Q_0$ будет предпочтительнее вариант с дизельной

энергетической установкой, (интервал А), при производительности $Q > Q_0$ — вариант с атомной (интервал В).

Таким образом, показатель удельных затрат, рассчитанный при определенном значении варьируемого параметра, не обеспечивает сохранения порядка предпочтения вариантов на всем множестве значений этого параметра, т. е. не обеспечивает сопоставимости вариантов.

В практике чаще всего имеют место такие зависимости, при которых удельные показатели не обеспечивают по всем диапазонам сравнения сохранения порядка предпочтения вариантов.

Это объясняется характером зависимости показателей затрат и полезного эффекта от варьируемых параметров. В качестве варьируемых параметров используются либо ТЭЭ проектируемых объектов, либо количество единиц (судов, аппаратов), предназначенных для решения определенной задачи.

Полезный эффект, или, в более общем случае, функциональная эффективность чаще всего выражается возрастающей монотонно возрастающей функцией ТЭЭ — $f_1(x)$. Зависимость полезного эффекта от числа однородных объектов, используемых при решении той или иной задачи, близка к линейной, но тоже возгугта.

В свою очередь, показатель затрат в зависимости от какого-либо ТЭЭ описывается монотонно возрастающей выпуклой функцией $f_2(x)$. А зависимость показателя затрат от числа единиц линейна или возгугта за счет того, что с числом единиц затраты растут несколько медленнее, чем численность грузов, средств, предназначенных для выполнения какой-либо работы. Характер этих зависимостей показан на рис. 2.7а и 2.7б.

Таким образом, в общем случае удельные показатели не остаются постоянными при изменении варьируемого параметра. Однако при этом в некоторых случаях их применение допустимо. В области значений варьируемого параметра, лежащих по одну сторону от точки пересечения кривых изменения удельных показателей (точка на рис. 2.6), сравнение по удельному показателю допустимо. Но, проводя такое сравнение, необходимо иметь в виду, что оно в этом случае обеспечивает только правильный порядок предпочтения вариантов, правильно

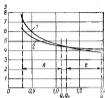


Рис. 2.6. Интервалы допустимости использования показателей удельных затрат:

2 — удельные затраты на 1 т руды (рис. 2.7а); Q_0 — производительность плазм/Ока; тис. м³/ч; 1 — затраты с атомной энергетической установкой; 2 — затраты с дизельной энергетической установкой.



Рис. 2.7а. Характер зависимости затрат C и положительного эффекта W от числа однократных единиц z выполняемой работы.



Рис. 2.7б. Характер зависимости затрат C и положительного эффекта W от одного из базисных ТЭЭ z структуры аппарата.

отвечает на вопрос, какой вариант лучше. Но при этом оно может повести к серьезным ошибкам в вопросе, во сколько раз один вариант лучше другого, т. е. при количественной оценке. И, наконец, при достаточно больших значениях варьируемого параметра удельные показатели стремятся к некоторому пределу и между ними устанавливается устойчивое соотношение, стремящееся к определенному пределу (на рис. 2.6 при $Q > Q_0$). В этой области скольжение удельных показателей вполне правомерно. Однако надо подчеркнуть, что это имеет место только в частном случае, при оговоренных выше условиях.

Рассмотрим связь между сделанными выше выводами и условиями оптимальности варианта, полученными в выражении (2.31). Для упрощения и уменьшения громоздкости выкладки обратим зависимость ресурсного показателя (затрат) от вектора ПТР, а вектор ТЭЭ запишем его компонентами, будем считать множитель Лагранжа λ отрицательным, а также примем величину заданного положительного эффекта $W_0 = B$. Тогда функция Лагранжа из (2.31)

$$L = C(x_1, x_2, \dots, x_n) - \lambda [W(x_1, x_2, \dots, x_n) - B], \quad (2.38)$$

а условия экстремума целевой функции (показателя ресурса) при ограничениях, наложенных на уровень функциональной эффективности $W(x_1, \dots, x_n) = B$, будут записываться в виде системы уравнений, получаемых из условий экстремума функции Лагранжа:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_1} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_2} = 0; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial L}{\partial x_n} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_n} = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= W(x_1, \dots, x_n) - B = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.40)$$

откуда

$$\lambda = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}} = \dots = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}}. \quad (2.41)$$

Рассмотрим показатель удельных затрат, имеющий смысл стоимости единицы положительного эффекта:

$$S = \frac{C(x)}{W(x)} = \frac{C(x_1, x_2, \dots, x_n)}{W(x_1, x_2, \dots, x_n)}.$$

Дифференцируя его по всем ТЭЭ как частное, получим условие экстремума этого показателя:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial x_1} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} W(x_1, \dots, x_n) - \\ &\quad - \frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} C(x_1, \dots, x_n); \\ \frac{\partial S}{\partial x_2} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2} W(x_1, \dots, x_n) - \\ &\quad - \frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2} C(x_1, \dots, x_n); \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{\partial S}{\partial x_n} &= \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n} W(x_1, \dots, x_n) - \\ &\quad - \frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n} C(x_1, \dots, x_n). \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

Откуда с учетом соотношения (2.41)

$$\left. \begin{aligned} \frac{C(x_1, \dots, x_n)}{W(x_1, \dots, x_n)} &= \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} = \dots = \\ &= \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}} = \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (2.43)$$

Положим, что при заданном ограничении $W(x_1, \dots, x_n) = B$, определяющим заданный уровень полезного эффекта, минимум целевой функции достигается при

$$\bar{x} = \bar{x}_0: (x_1, \dots, x_n)_{\text{опт}} = (x_1^0, \dots, x_n^0).$$

Рассмотрим, как изменится показатель затрат, соответствующий оптимальному варианту, при изменении требуемого уровня B полезного эффекта:

$$\frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dB} = \frac{\partial C}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dB} + \dots + \frac{\partial C}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dB}. \quad (2.44)$$

Учитывая при этом, что вследствие $W(x_1, \dots, x_n) = B$

$$\begin{aligned} \frac{dW(x_1, \dots, x_n)}{dB} &= \frac{\partial W}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dB} + \frac{\partial W}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dB} + \\ &+ \dots + \frac{\partial W}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dB} = \frac{dB}{dB} = 1. \end{aligned} \quad (2.45)$$

и также подставляя из (2.41)

$$\frac{\partial C}{\partial x_i}(x_1, \dots, x_n) = \lambda \frac{\partial W}{\partial x_i}(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, n,$$

получим

$$\frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dB} = \lambda \left(\frac{\partial W}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dB} + \dots + \frac{\partial W}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dB} \right).$$

Исходя из (2.45), выражение в скобках равно 1 и

$$\frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dB} = \lambda.$$

Подставляя полученный результат в (2.43), имеем

$$\frac{C(x_1, \dots, x_n)}{W(x_1, \dots, x_n)} = \frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dB} \Big|_{x=\bar{x}_{\text{опт}}} \quad (2.46)$$

Таким образом, удельный показатель отношения затрат к полезному эффекту имеет смысл коэффициента Лагранжа — скорости приращения величины показателя затрат, вычисленной в точке экстремума при изменении заданного уровня полезного эффекта.

В тех случаях, когда величина показателя затрат мала по сравнению с заданным уровнем полезного эффекта, применение удельных показателей вполне допустимо, в противном случае их применение связано с возможными ошибками, или, что то же, недостаточной надежностью полученного решения.

Как трудно видеть, сказанное полностью согласуется со сделанными ранее качественными выводами.

Проф. В. В. Новиков сформулировал принцип сопоставления народнохозяйственной эффективности проработанных вариантов, излагаемый им «правильное толкование эффекта»: «сравнимые проектные варианты должны выплывать тождественные народнохозяйственные задачи, т. е. удовлетворять тождественные по объему, составу, месту и времени потребности, и служить тождественным по характеру, объему, месту и времени цели экономической политики» [41, с. 57].

Последний из упомянутых показателей — разность между полезным эффектом и затратами за его достижение — имеет очень простую физическую трактовку — это, по существу, чистый доход. Однако этот показатель может быть использован в очень ограниченной области обоснования средств освоения Мирового океана: когда полезный эффект носит чисто экономический характер и может быть так же, как и затраты, оценен в денежном измерении. Во всех остальных случаях, когда учитываются долготечный, социальный или научный эффекты, этот очень удобный показатель неприменим.

2.5. Содержание и структура показателя затрат

Выше был достаточно подробно рассмотрен показатель полезного эффекта и близкий к нему показатель функциональной эффективности. Рассмотрим второй основной показатель, характеризующий экономическую эффективность любого инвестируемого объекта, — показатель затрат.

Строго говоря, показатель затрат должен учитывать затраты всех видов ресурсов: материальных, трудовых, финансовых, причем при учете материальных ресурсов должна приниматься во внимание степень их дефицитности. В практике это почти никогда не делается: учет степени дефицитности сложный и строгий метод ее учета нет. Точно так же сложно учитывать и трудовые ресурсы. Как правило, в основу построения показателя затрачиваемых ресурсов кладется допущение о возможности выражения всех затрат в денежном измерении. При достаточно большом плановом горизонте, т. е. когда время не накладывает существенных ограничений, такой подход правомерен. Действительно, при наличии потенциальных ресурсов и неограниченном времени на их подготовку все ресурсы можно выразить в категории денежных затрат. Поскольку при проектировании средств освоения Мирового океана обычно жесткие ограничения сроков отсутствуют, целесообразно все элементы показателя затрачиваемых ресурсов выразить в денежном измерении.

Ресурсный показатель объединяет затраты, произведенные в разное время, пренебрегая различие воле. Поэтому целесообразно группировать затраты, классифицировать их по признаку характера (одновременные или текущие), периода

на осуществлении и выполнения. Обычно затраты грузавируют в соответствии с этапами жизненного цикла образца, причем в качестве таковых рассматривают три: разработку, серийное производство и эксплуатацию.

Общая сумма затрат, связанная с созданием и эксплуатацией серии судов и аппаратов одного проекта, может быть представлена в виде

$$C = C(C_D, C_S, C_E) \quad (2.47)$$

где C — показатель затрат; C_D — стоимость разработки проекта; C_S — стоимость постройки всех судов (аппаратов), входящих в серию; C_E — затраты, связанные с эксплуатацией этих объектов.

В практике обычно пользуются иной записью, в которой общие затраты выражены через технико-экономические показатели рассматриваемых объектов. Под технико-экономическими показателями понимаются величины затрат, объединенные общими целями, характера и времени их произведения. В качестве основных технико-экономических показателей автономных средств освоения Мирового океана могут рассматриваться:

— стоимость разработки, включающая затраты на разработку проекта плавающего технического средства (ПТС) основного разработчика проекта и затраты проектных организаций-контрагентов, а также стоимость научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых в обеспечении разработки проекта, а в необходимых случаях затраты на создание опытного образца, испытания его и доводку;

— стоимость постройки, включающая все затраты проектирования-строительства на постройку и реализацию ПТС с учетом корматной кривизны. Обычно в качестве стоимости постройки рассматривается твердая отовая цена;

— среднегодовая стоимость эксплуатации, включающая затраты на содержание команды, материально-техническое снабжение, горюче-смазочные материалы, ремонты и плановые замены и т. д. Тогда общие затраты, связанные с достижением определенного полезного эффекта, могут быть представлены в линейной зависимости от всех перечисленных технико-экономических показателей:

$$C = a_1 C_D + a_2 C_S + a_3 C_E \quad (2.48)$$

где C — показатель затрат; C_D — стоимость разработки; C_S — стоимость постройки; C_E — среднегодовая стоимость эксплуатации; a_1, a_2, a_3 — весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты a_1, a_2, a_3 , соотносящие между собой разнородные затраты, определяются в соответствии с моделью, исходя из предполагаемого характера постройки и использования. В зависимости от принятых в модели допуще-

ний: предполагаемого к постройке числа ПТС, от предполагаемого срока их использования, срока службы — будет изменяться роль каждого технико-экономического показателя в структуре показателя затрат. Это и учитывается весовыми коэффициентами.

2.6. Модели соотношения эффекта и затрат

В процессе технико-экономического обоснования средств освоения Мирового океана так же, впрочем, как и в научно-исследовательских работах другой направленности, опираться в точности на изучаемый процесс никогда не удастся. В драгстве пользуются моделями.

Под экономической моделью понимается совокупность принятых допущений и построений на их основе алгоритмов, устанавливающих связь между характеристиками принимаемых решений и показателями экономической эффективности.

В процессе технико-экономического обоснования моделью устанавливается связь между ТЭЭ и ПТР, с одной стороны, и показателями полезного эффекта и затрат, с другой. Принципиальная схема технико-экономической модели обоснования средств освоения Мирового океана приведена на рис. 2.6. Этой схемой описывается логическая последовательность процесса установления зависимости показателей экономической эффективности от варьируемых параметров векторов ТЭЭ и ПТР. В соответствии с логической последовательностью вся схема модели может быть разбита на четыре блока:

1. Технический блок, устанавливающий зависимость проектных ТЭЭ от базисных ТЭЭ и ПТР. Содержание этого блока обобщает техническое проектирование, выполняемое либо обычными расчетно-графическими методами, либо аналитическими.



Рис. 2.6. Принципиальная схема технико-экономической модели.

2. Технико-экономический блок, устанавливающий зависимость технико-экономических показателей проектируемого объекта (стоимости разработки, стоимости постройки, среднегодовой стоимости эксплуатации) от проектных ТЭЭ и ПТР.

3. Блок полезного эффекта, или функциональной эффективности, устанавливающий зависимость величины ожидаемого полезного эффекта или уровня функциональной эффективности от балансных и проектных ТЭЭ и ПТР.

4. Блок экономической эффективности, соотносящий полезный эффект или уровень функциональной эффективности и затраты на его достижение.

Мы упоминали, что модель никогда и точно не отображает изучаемый процесс. Для применения количественных методов изучаемый процесс всегда приводится в той или иной степени упрощать, идеализировать, оставляя в его описании самые важные, самые существенные связи, и абстрагироваться от второстепенных.

Требования модели чрезвычайно противоречивы. С одной стороны, чем больше факторов учтено в модели, тем, как правило, ближе и точнее она отражает изучаемый процесс. С другой стороны, усложнение и детализация делают модель громоздкой и труднообозримой. А чем сложнее модель, тем труднее проводить по ней расчеты и осмысливать, и анализировать результаты этих расчетов. Поэтому Е. С. Вестфаль совершенно справедливо отмечает, что искусство составлять модели — есть искусство, и опыт в этом деле приобретает постепенно [11]. Разработка модели всегда подстерегают две опасности: утонуть в подробностях, т. е. учесть множество второстепенных деталей, практически не влияющих на оценку эффективности принятых решений, и вторая — слишком заглубить модель, т. е. упустить влияние факторов, существенно важных при оценке эффективности. При этом важно, что разработчик модели априори не имеет надежных оснований для суждения о сравнительной важности каждого из факторов, влияющих на изучаемый процесс.

Разработка модели проводится в несколько этапов. В первую очередь разрабатывается описательная (неформальная) модель создания и использования проектируемого объекта, явняя сторона, основных этапов его жизненного цикла.

В неформальной модели должны быть с достаточной для формализации, т. е. для разработки математической модели, полнотой описаны все обстоятельства предполагаемого создания и использования проектируемого объекта и факторы, которыми будут обуславливаться величина полезного эффекта и затраты. Так, в частности, должны быть перечислены предприятия, на которых вернутся постройка объекта, условия постройки и т. п., — это определит стоимость постройки.

Наиболее важной частью неформальной модели служит описание предполагаемого характера и условий эксплуатации проектируемого объекта. Эта часть включает назначение проектируемого объекта и перечень задач, которые будут решаться с его использованием, предполагаемые районы использования, гидрометеорологическую характеристику этих районов, способы использования, включая логику лица, принимающего решения по управлению объектом, когда возможны альтернативные решения. Неформальную, описательную модель, особенно вторую ее часть, относящуюся к этапу эксплуатации, часто называют сценарием.

Повним скажем примером. Пусть проектируется подводный обитаемый аппарат для разработки подводных месторождений.

Неформальная модель должна содержать сведения или предположения по достаточно широкому кругу вопросов:

— за каких предпринимателя может строиться аппарат — от этого будет зависеть срок постройки первого (головного) образца и, что часто бывает значительно важнее, уровень затрат на его создание. Кроме того, специфика предпринимателя-строителя может повлиять на проектируемую конструкцию и планируемую технологию постройки аппарата;

— каково, хотя бы ориентировочно, потребное количество аппаратов этого типа, ибо это определит размер серии, а отсюда и средняя себестоимость аппарата. Важно и то, что при ограниченной мощности предприятия, выделенного для постройки аппаратов, размер серии определит сроки ввода в эксплуатацию последних аппаратов серии;

— для выполнения каких работ, каких исследований предполагается использовать проектируемый аппарат, — это в значительной степени определит требования к средствам разведки и поиска и будет существенно влиять на их эффективность, а следовательно, и на функциональную эффективность аппарата в целом;

— в каких морях, и более того, в каких районах этих морей предполагается ведение разведки подводных месторождений, каковы глубины в этих районах, так как глубина погружения оказывает очень большое влияние на конструкцию прочного корпуса, на выбор конструктивных материалов, а значит, и на стоимость постройки;

— каковы гидрометеорологические обстановки в районах предполагаемого использования, так как от этого зависит требование к мореходности обеспечивающих средств и уровень сопутствующих затрат;

— как предполагается использовать проектируемый аппарат, в частности, будет ли он использован полностью автономно, или будет доставляться в район работ судном-носителем; тип носителя (судно, самолет, подводная лодка) и его технико-

эксплуатационные характеристики — они могут оказаться решающими при определении полезного эффекта и затрат:

— как предполагается осуществлять разведку месторождения: автономно или во взаимодействии с другими подводными аппаратами, должна ли при этом существовать между ними связь, будет ли аппарат находиться в посылке и т. д.

Естественно, что в процессе разведки месторождений могут встретиться ситуации, когда в зависимости от принятого экипажем решения может быть различным характер дальнейшего использования аппарата, а следовательно, будет различен и эффект поиска или разведки в зависимости от принятого решения и характера дальнейшего развития процесса. Поэтому в неформальной модели должна быть предусмотрена «линия действий командира», т. е. совокупность принципов, позволяющих одновременно определить путь развития процесса разведки в ситуациях, содержащих возможность альтернативных действий экипажа.

Сценарии, которые необходимы для разработки описательной модели, частично могут быть заимствованы из опыта эксплуатации объектов аналогичного характера, частично содержатся в требованиях заказчика, а часть их представляет собой допущения, принимаемые вперед, до разработки модели.

Таим образом, разработка неформальной модели включает следующие элементы: подготовка к разработке, в процессе которой выясняются потребности необходимых данных и круг вопросов, требующих принятия системы обоснованных допущений; сбор, анализ и обобщение информации, необходимой для разработки неформальной модели, в том числе сбор и обработка статистических данных во всему кругу вопросов, относящихся к модели; формулировка допущений и согласование их с заказчиком; формирование описательной модели.

Описательная модель служит основой для разработки формально-математической модели.

Как упоминалось выше, экономико-математическая модель отражает зависимость показателей экономической эффективности от параметров, характеризующих принимаемые решения. При проектировании средств освоения Мариинского океана такими параметрами служат технико-эксплуатационные элементы и параметры технических решений. Но не только от них, зависят величина полезного эффекта и затрат на его достижение.

В исследовании операций множество переменных, от которых зависит исход операции, измеряемый показателями полезного эффекта и затрат, разделяется на два подмножества: управляемых и неуправляемых параметров. К управляемым параметрам относятся ТЭЭ и ПТР, к неуправляемым — характеристики внешних по отношению к проектируемому объекту условий, в которых будут осуществляться его создание и эксплуатация. К таким неуправляемым параметрам относятся,

например, гидрометеорологические характеристики района предполагаемого использования, глубина моря в районе.

Естественно, что характер зависимости показателей эффективности от неуправляемых параметров важен: он в значительной степени определяет устойчивость полученного решения, его надежность. Однако часто оказывается практически невозможно перебрать все сочетания неуправляемых параметров. Поэтому чаще всего рассматривается одна или ограниченное число возможных ситуаций, каждая из которых характеризуется определенным набором управляемых параметров, и в дальнейшем проводится выборочное исследование влияния отдельных неуправляемых параметров на характер полученного решения.

На первом этапе обычно составляется логическая модель, отражающая структуру исследуемых взаимосвязей, логику перехода от управляемых параметров к промежуточным показателям и, наконец, к целевой функции и ограничениям. Пример такой логической схемы приведен на рис. 28.

Исследуемые в технико-экономическом анализе модели классифицируются по нескольким признакам: во характеру учета фактора времени, во характеру учета случайных факторов и по форме описания изучаемых процессов или взаимосвязей.

По характеру учета фактора времени модели делятся на динамические, где процесс рассматривается во времени, и статические, в которых рассматривается либо общий результат процесса, либо какой-то специально выбранный момент протекания этого процесса. Промежуточными между этими двумя формами моделей служат многоэтапные модели, в которых весь процесс разбивается на несколько этапов, а в рамках каждого этапа модель является статической.

Динамические и многоэтапные модели неизмеримо сложнее статических и именно вследствие этого их применение в задачах технико-экономического обоснования средств освоения океана сравнительно ограничено.

По характеру учета случайных факторов модели делятся на детерминированные и вероятностные. Под детерминированной моделью понимается такая, в которой каждому набору управляемых параметров соответствует одно и только одно значение величины полезного эффекта и затрат на его достижение. Иными словами, зависимость показателей экономической эффективности от технико-эксплуатационных элементов и параметров технических решений носит функциональный характер.

В детерминированных моделях исследователи абстрагируются от вероятностного характера изучаемых процессов, т. е. каждый из параметров, характеризующих внешние условия, задается единственным значением. Правда, в качестве значений таких параметров принимаются их средние значения, и поэтому детерминированные модели достаточно хорошо себя зарекомен-

доказал, или можно сказать, что они оказываются справедливыми в среднем, что чаще всего для экономической практики совершенно достаточно.

В вероятностных моделях все, или хотя бы часть управляемых параметров, характеризующих внешние условия, задается как случайные величины с известными законами их распределения. Вследствие этого, показатели экономической эффективности также становятся случайными величинами, законы распределения которых определяются в ходе моделирования задачи.

По способу описания исследуемых процессов модели делят на два больших класса: аналитические и статистические. Последние иногда называются Monte-Carlo-скими моделями.

В аналитических моделях зависимость показателей экономической эффективности от управляемых и неуправляемых параметров, а также ограничений, накладываемых на управляемые параметры, описывается аналитическими зависимостями (формулами). Эти соотношения могут носить самый разный характер: алгебраических или дифференциальных уравнений, системы равенств и т. д. В наиболее общем виде аналитическая модель экономической эффективности содержит три основных элемента:

— выражение для зависимости целевой функции (чаще всего показателя затрат) от ТЭЭ, ПТР и неуправляемых параметров (характеристик внешних условий)

$$C = C(\bar{x}, \bar{y}, Z); \quad (2.49)$$

— выражение для зависимости полезного эффекта или функциональной эффективности от тех же показателей

$$F = F(\bar{x}, \bar{y}, Z); \quad (2.50)$$

и ограничений, накладываемых на управляемые параметры или, как их называют, дисциплинирующих условий

$$F_0(\bar{x}, \bar{y}, Z) \geq F_{0n}.$$

где \bar{x}, \bar{y} — по-прежнему векторы ТЭЭ и ПТР соответственно; Z — вектор неуправляемых параметров, характеризующий внешние по отношению к модели условия создания и эксплуатации проектируемого объекта; $F_0(\bar{x}, \bar{y}, Z)$ — векторная функция векторов ТЭЭ, ПТР и вектор-характеристики внешних условий; F_{0n} — величина, ограничивающая $F_0(\dots)$ сверху или снизу.

Ограничения по своему характеру могут быть разбиты на три группы: отражающие связь между ТЭЭ и ПТР, например уравнения проектирования; минимально или максимально допустимые, но возможные, дежащим вне модели, значения технико-эксплуатационных элементов; иложенные на отдельные виды

ресурсов, которыми обусловлено создание или эксплуатация проектируемого объекта.

Аналитические модели чрезвычайно привлекательны благодаря простоте представления изучаемого процесса, возможности исследовать «в общем виде» изучаемые закономерности, получить наиболее удобные и простые расчетные формулы. Аналитическое представление используется для детерминированных и части наиболее простых вероятностных моделей.

В сложных вероятностных задачах попытка использовать аналитическое представление часто приводит к «загрублению» модели и искажению изучаемого процесса. Поэтому в таких случаях пользуются статистическими моделями, построенными на использовании метода статистических испытаний. Суть статистических моделей заключается в следующем.

Описывается один цикл на всех этапах жизненного цикла проектируемого объекта. Случайным образом задаются значения величин, характеризующих внешние условия. Таким образом, жизненный цикл (или какая-либо его часть) как бы «сгенерировается» при случайном стечении обстоятельств, т. е. при выборе значений «внешних» параметров, заданных случайно определенным образом (например жребием). В результате «сгенерирования» оказывается возможным вычислить значения показателей затрат, полезного эффекта при соблюдении всех дисциплинирующих условий. Таким образом, вычислительный алгоритм метода статистических испытаний содержит программу одного случайного испытания, причем все случайные величины, входящие в алгоритм, определяются случайным образом.

В основе общей схемы метода статистических испытаний лежит центральная предельная теорема теории вероятностей, в соответствии с которой с увеличением числа испытаний увеличивается вероятность получения точного решения. Многократное — в достаточном количестве — проигрывание изучаемого цикла при генерировании случайных чисел в соответствии с законами их распределения позволяет как бы «выколоть» статистику, характеризующую законы распределения выходных показателей. Статистическое математическое ожидание этих величин и служит их оценкой. Схема статистического моделирования приводится на рис. 2.9. При использовании статистических моделей исследователь, варьируя управляемыми параметрами, т. е. вводя в модель различные их значения, получает зависимость математического ожидания показателей экономической эффективности от каждого из этих параметров.

Статистические модели обладают рядом бесспорных преимуществ: они позволяют обойтись значительно менее сложными, чем аналитические модели, допущениями; они позволяют учесть большее число факторов, однако это достигается достаточно дорогой ценой. Статистические модели громоздки и значительно

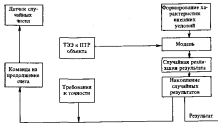


Рис. 23. Схема процедуры статистического моделирования.

труднее, чем аналитическое, поддается познанию анализу и интерпретации. В практике часто встречаются смешанные модели, где некоторые блоки носят аналитический характер, а некоторые — построены на основе статистического моделирования.

Модель, связанная с созданием и использованием средств освоения Мирового океана, как, впрочем, и всех иных судов и кораблей, имеет одну особенность. Далеко не всегда удается чисто аналитически описать зависимость проектных ТЗЭ от базисных ТЗЭ и ПТР. Поэтому этот блок модели во многих случаях решается расчетно-графическим путем, обычным для

проектирования. Следует отметить, что это в значительной степени усложняет модель, делает ее громоздкой и ограничивает круг просматриваемых вариантов.

Примерная схема классификации моделей приведена на рис. 2.10.

2.7. Последовательность выполнения технико-экономического обоснования

Процесс разработки технико-экономического обоснования схематически может быть разделен на несколько последовательных этапов:

1. Постановка задачи технико-экономического обоснования.
2. Построение неформальной (описательной) модели создания и использования проектируемого объекта.
3. Построение экономико-математической модели.
4. Нахождение с помощью модели оптимального решения.
5. Анализ полученных результатов, проверка модели с помощью полученного решения и подстройка модели.
6. Представление решения в форме, удобной для обзора и использования полученного решения.

Первый этап — постановка задачи — сводится в первую очередь к определению цели или целей, ради которых создается проектируемый объект, установлению характера полезного эффекта, выбору на этом основании показателей эффективности и системы ограничений, которыми обусловлены создание и использование объекта проектирования.

Чаще всего при проектировании и создании различных средств освоения Мирового океана преследуется не одна, а несколько целей, причем сравнительная важность каждой из целей априорно неизвестна.

Множественность целей порождает множественность показателей эффективности, что приводит к так называемой проблеме неопределенности. Возможные подходы к раскрытию неопределенности будут рассмотрены ниже.

Второй этап — разработка описательной модели создания и использования проектируемого объекта. Этот этап работы — едва ли не самый важный.

В процессе разработки неформальной модели проводится вся необходимая подготовительная работа, изучаются требования заказчика, формулируются допущения и разрабатываются в одном или нескольких вариантах сценарии создания и использования проектируемого объекта.

Третий и четвертый этапы — разработка формальной модели и нахождение с ее помощью решения — были подробно описаны выше.

Пятый этап — анализ результатов решения, проверка и подстройка модели. Выше упоминалось о том, что любая модель



Рис. 2.10. Примерная классификация моделей технико-экономического обоснования средств освоения Мирового океана.

лишь частично отражает действительность. Иными словами, какие-то черты процесса в модели оказываются упущенными или отраженными недостаточно полно и верно, причем степень их важности заранее неизвестна. Модель хороша, если она, как говорят, достаточно критична к изменению ТЭЭ и ПТР объекта, т. е. с ее помощью можно хорошо предсказывать аликие изменения этих характеристик на показатели экономической эффективности.

Правильность модели, или точнее, ее адекватность, может быть проверена ретроспективно — сопоставлением полученных результатов с теми требованиями и представлениями, которые проработались в результате осмысления накопленного опыта проектирования, постройки и эксплуатации аналогичных объектов. При этом важно отметить психологический аспект проверки модели. Вследствие сложившихся традиций проектирования и технико-экономических обоснований, и эроктанта, и «заказчик», т. е. потенциальные пользователи средств освоения Марового океана, часто лучше ориентируются и привычнее мыслят в категориях технико-эксплуатационных элементов, чем в категориях допущений, формирующих модель.

Так, например, в ряде случаев специалистам легче сказать, удачно ли сочетание скорости и автономности судна, рекомендованное в результате решения оптимизационной задачи, чем описать условия использования и сформулировать систему допущений, определяющих в итоге значения этих элементов. Поэтому полученное решение должно быть сопоставлено с господствующей системой представлений и вскрыты причины расхождений между ними. Исследователь, проводящий технико-экономическое обоснование, должен вместе с «заказчиком» разобраться в том, какие именно блоки модели оказываются «слабыми» в получении решений, далеких по некоторым параметрам от традиционных, разъясняя для этого «заказчику» связь между допущениями, параметрами модели и полученными результатами.

Расхождение такого рода встречается довольно часто. Причины их чаще всего заключаются в недостаточном верном и полном учете влияния некоторых управляемых и неуправляемых параметров на экономическую эффективность. К таким параметрам в первую очередь относятся те, значения которых принимаются в узких пределах апробированных практикой значений.

Ярким примером такого эффекта служит соотношение между скоростью и автономностью, полученное в результате решения оптимизационных задач. Известно, что этими параметрами определяется, главным образом, относительная длительность времени, в течение которого судно или аппарат могут находиться в районе проведения работ по своему прямому назначению. Зависимость водонизменения, построчной стоимости

и среднегодовых эксплуатационных расходов от скорости достаточно хорошо изучена, и ее можно надежно прогнозировать в широком интервале скоростей. Иначе обстоит дело с автономностью. Число вариаций автономности в статистике сравнительно невелико, поэтому влияние автономности на те же параметры изучено в значительно меньшей степени, и существующие зависимости не всегда отражают возрастающие с автономностью требования к обитаемости. Из сказанного очевидно, что при совместной оптимизации скорости и автономности оптимальным сочетанием оказываются малые значения скорости и очень большие автономности.

Выявленные в процессе проверки недостатки модели устраняются ее корректировкой, т. е. уточнением зависимостей, использованных в модели.

Кроме того, модель в некоторых случаях нуждается в подстройке. Дело в том, что полученное с помощью модели решение сохраняет силу только тогда, когда неуправляемые параметры, характеризующие внешние по отношению к проектируемому объекту условия, находятся в некоторой окрестности величин, введенных в модель. Когда какая-либо из неуправляемых переменных оказывается вне этой окрестности, решение, естественно, утрачивает силу. Так, при изменении гидрометеорологических условий в районе использования может измениться порядок предпочтения вариантов: при ухудшении принятых в модели гидрометеорологических условий проведение работ может оказаться выгодным более дорогой вариант судна, обладающий лучшими мореходными качествами.

Поэтому в процессе подстройки определяется область устойчивости полученного решения, т. е. определяются интервалы значений неуправляемых параметров, в пределах которых полученное решение сохраняет силу, т. е. оптимальный вариант остается оптимальным, и разрабатывается алгоритм корректировки решения для учета аликих существенных изменений неуправляемых параметров.

Приведенное описание порядка выполнения первых пяти этапов разработки технико-экономического обоснования верно лишь в принципе: оно имеет в известной мере условный, схематический характер. В действительности ряд этапов выполняется одновременно, или они частично совмещаются друг с другом. В первую очередь совмещаются третий, четвертый и пятый этапы. Разработка и решение модели выполняются параллельно, одновременно с проверкой и подстройкой каждого блока. Такой порядок дает очень ценную информацию о качестве каждого блока модели; кроме того, побочная проверка модели в усилении физической связи между входными и выходными параметрами в рамках одного блока, как правило, легче, чем в рамках всей модели.

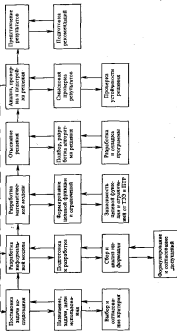


Рис. 2.11. Последовательность разработки технико-экономического обоснования.

Шестой этап — представление решения в форме, удобной для обозрения и использования полученного решения. Этот этап имеет существенное значение для реализации полученных результатов. Разработчик технико-экономического обоснования всегда должен иметь в виду, что его задача — не принять решение, а только подготовить необходимые количественные обоснования для лица, ответственного за принятие решения. В процессе технико-экономического обоснования не могут ни приниматься окончательно решения, ни представляться материалы в виде, исключающем альтернативы.

Обязательно этому важнейшему принципу работы и области исследования операций лежит в уже рассмотренных свойствах любой модели, в том, что модель никогда полностью не учитывает все факторы и обстоятельства, влияющие на характер решения. Поэтому в представляемом обосновании должны содержаться не только количественные рекомендации, но и всякая характеристика модели, включающая обстоятельный обзор сделанных допущений. Это позволит лицу, принимающему решение, судить о том, какие факторы и насколько полно учтены в проведенном обосновании, и насколько полученный результат отражает народнохозяйственные интересы.

Логическая последовательность разработки технико-экономического обоснования показана на рис. 2.11.

2.3. Технико-экономическое обоснование в условиях неопределенности

В процессе технико-экономического обоснования средства освоения Миркового океана исследователь практически всегда сталкивается с проблемой неопределенности. Под неопределенностью мы будем понимать ситуацию, при которой: при проектировании объекта преследуются несколько целей, и нельзя вперед определить важность каждой из них и веса критериев, отражающих степень достижения различных целей; значения какого-либо из входных управляемых параметров модели или некоторой их совокупности или законы их распределения не могут быть заданы вперед.

Таким образом, в процессе выполнения технико-экономических обоснований имеют место два основных типа неопределенности: множественность целей и вытекающая из нее множественность критериев при отсутствии способа количественно сравнить важность поставленных целей между собой и, таким образом, строго определить веса критериев; неопределенность ситуация, т. е. невозможность ни достоверно прогнозировать значения некоторых управляемых параметров, ни законы их распределения.

Некоторые специалисты в области исследования операций, например И. Я. Динер, считают, что множественность целей

и вытекающая из нее множественность критериев — следствие образа связи модели высшего уровня с моделью более высокого уровня. В действительности это не совсем так. Вспомогательная модель может быть сформулирована единственной генеральной целью. Но вся беда в том, что степень достижения этой цели, сложной и комплексной, не выражается единственным показателем, и попытка измерить степень ее достижения вновь возвращает исследователей к множеству подцелей, а с ними и к многокритериальным задачам.

Точно так же обстоит дело и с непредсказуемостью ситуации. Научно-исследовательское судно, спроектированное для геологических изысканий в южной части Балтийского моря и шельфовой зоне Японского моря, с высокой вероятностью может использоваться в шельфовой зоне одного из смежных морей, и тогда существенно изменятся и удаленные места работ от базы, и условия работ и плавания.

С самого начала следует оговорить два обстоятельства. Первое — неопределенность есть неопределенность. Поэтому предложем уменьшить ее степень по ходу проектирования, содержащиеся в ряде исследований, не обещают особого успеха. В ходе проектирования выясняются свойства судна, но не условия, в которых оно будет использоваться, а те задачи, которые с его помощью будут решаться.

Второе — строгого, научно доказательного метода раскрытия неопределенности нет и, более того, ее будет. Существуют лишь некоторые подходы, базирующиеся на построениях, исходя из здравого смысла, допущениях, которые позволяют находить в таких случаях более или менее удовлетворительные решения. В этой связи стоит упомянуть об определенном, давном исследовании операций одним из виднейших специалистов в этой области — Томасом Саати. Слагая пазл, что из большого числа знакомых ему определений он отдает предпочтение следующему: «Исследование операций представляет собой искусство давать близкие ответы на практические вопросы, на которые дается еще худшие ответы другими способами» [82, с. 14]. Если обратиться в сторону некоторую долю скепсиса, содержащуюся в этом определении, то оно достаточно ярко отражает суть подходов к решению задач в условиях неопределенности.

Хотя приведу неопределенности при множественности целей и при непредсказуемости ситуации, в которой будет использоваться проектируемый объект, различия подходов к решению задачи в некоторых случаях может быть общим. Действительно, при неопределенности ситуации на заданном их наборе достижение поставленной цели в каждой из возможных ситуаций можно рассматривать, как самостоятельную задачу со своим критерием эффективности. Таким образом, задачи с неопределенностью, созданной из-за непредсказуемости

ситуации, могут решаться как многокритериальные. Обратное утверждение несправедливо. Множественность целей не может быть сведена к ситуационной неопределенности.

Способов решения многокритериальных задач несколько. Изложим лишь некоторые из них.

Способ составных критериев. Подходом, направляющимся к решению многокритериальных задач, служит идея соизмерения важности каждой цели, т. е. установление ее значимости. Каждому частному критерию, характеризующему степень достижения определенной цели, присваивается «вес» в зависимости от важности целей. Тогда общий критерий представляет собой «взвешенную» с помощью коэффициентов важности сумму частных критериев. Выражение для такого «взвешенного» критерия может быть записано в виде

$$K = \sum_{j=1}^I \alpha_j K_j; \quad \sum_{j=1}^I \alpha_j = 1, \quad (2.51)$$

где K_j — частный критерий, характеризующий степень достижения j -й цели; α_j — весовой коэффициент, характеризующий важность достижения j -й цели; I — общее число частных критериев.

При этом, естественно, требуется, чтобы характер изменения частных критериев в соответствии с порядком предпочтения вариантов по этому критерию был одинаков: чтобы с улучшением варианта либо все критерии возрастали, либо убывали.

Критерий вида (2.51) называется составным. Приведем пример построения и использования составного критерия.

Пусть при проектировании научно-исследовательского судна для геологических изысканий на континентальном шельфе рассматривается семь вариантов, отличающихся составом оборудования, водоизмещением, и вследствие этого, экономической эффективностью, а также уровнем обитаемости. В процессе рассмотрения вариантов исследователя преследуют две цели: выбрать вариант, обладающий наибольшей экономической эффективностью и инекий наилучшую обитаемость.

В качестве показателя экономической эффективности используется показатель затрат на региональные исследования заданного района, достаточные для составления комплекта карт.

Поскольку определенная мера, однозначно характеризующая уровень обитаемости, нет, в качестве таковой принимается средняя площадь жилых помещений, приходящаяся на одного члена команды. Сравнительные данные по всем семи вариантам сведены в табл. 2.1.

Нетрудно видеть, что характер изменения показателей в табл. 2.1 с улучшением варианта судна различен: первый показатель при улучшении варианта должен убывать, второй показатель — удельная площадь жилых помещений с улучше-

Таблица 2.1. Частные критерии для оценки вариантов научно-исследовательского судна

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
Водоизмещение, т	2000	2250	2300	2350	2400	2450	2500
Затраты на исследование гидро-аэродинамические исследования работы, млн руб.	2,48	2,37	2,30	2,35	2,43	2,52	2,65
Площадь жилых помещений (удельная), м ² /мел.	4,60	4,75	4,90	5,05	5,20	5,35	5,50

нием варианта должен возрастать. Для построения составного критерия представим следующие преобразования: заменим второй показатель разностью между максимальным значением удельной площади и ее значением по каждому варианту. Тогда лучшему варианту будет соответствовать меньшее значение разности; заменим первый показатель разностью затрат по каждому варианту и максимальным значением затрат.

Составной критерий (2.51) может быть представлен в виде

$$K_i = -\alpha \Delta Z_i + (1 - \alpha) \Delta S_i, \quad (2.52)$$

где K_i — значение составного критерия для i -го варианта судна; ΔZ_i — превышение приведенных затрат на выполнение работы судном i -го варианта над минимальным значением этого показателя; ΔS_i — разность между наибольшим значением площади жилых помещений и площадью помещений в i -м варианте; α , $1 - \alpha$ — весовые коэффициенты, характеризующие важность каждого из частных критериев.

Значение частных и составного критерия по всем вариантам сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Частные критерии после преобразований и составной критерий оценки варианта научно-исследовательского судна

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
Превышение затрат ΔZ_i , млн руб.	0,180	0,700	0	0,060	0,130	0,220	0,250
Неудельная площадь ΔS_i , м ² /мел.	0,900	0,750	0,600	0,400	0,300	0,150	0
$K_i = -0,6 \Delta Z_i + 0,4 \Delta S_i$	0,420	0,342	0,240	0,238	0,198	0,162	0,210

Пусть показателю затрат может быть присвоен вес $\alpha = 0,60$, критерию уровня обитаемости соответственно $1 - \alpha = 0,40$. Зна-

чения составного критерия при этих весах приводятся в последней строке табл. 2.2.

Из таблицы видно, что если по критерию затрат лучший вариант — третий, а по критерию, характеризующему уровень обитаемости, — седьмой, то составной критерий «выбирает» промежуточный, компромиссный шестой вариант, учитывающий в определенной мере обе цели и связанные с ними критерии.

Из приведенного примера видно, что весовые коэффициенты решают одновременно две задачи: масштабирование, т. е. учет шкалы, в которой измеряется каждый частный критерий, и учет важности цели, отраженной частным критерием.

Так, показатель затрат может одинаково успешно измеряться и в миллионах рублей, и в тысячах рублей, и в рублях.

В различных единицах может измеряться и площадь помещений. Поскольку единицы, в которых измеряются частные критерии, принципиально неприводимы друг к другу, то при назначении весовых коэффициентов прежде всего должен учитываться масштаб, в котором измеряется каждый частный критерий.

С другой стороны, как уже отмечалось, величиной весового коэффициента учитывается важность соответствующей цели. Разделить эти задачи нельзя — они решаются одновременно. Поэтому назначение весов представляет собой крайне ответственную и очень сложную задачу. Единственным методом ее решения, т. е. оценки относительной важности каждого частного критерия, является экспертная оценка. А поскольку точное назначение коэффициентов веса в процессе экспертной оценки далеко не просто, прибегают к облегчению задачи эксперта методом районирования решений. Рассмотрим график (рис. 2.12). На оси $O_1 \Delta Z$ нанесены значения второго частного критерия для рассматриваемых 3, 4 и 5-го вариантов, на оси $O_2 \Delta S$ — значения первого частного критерия для тех же вариантов. По оси абсцисс в промежутке $O_1 O_2$ должны значения α от 0 до 1.

Соединим прямыми концы отрезков на осях $O_1 \Delta S$ и $O_2 \Delta Z$, соответствующие значениям частных критериев для каждого варианта, и запишем уравнения этих прямых.

Уравнение прямой будут иметь вид

$$g = \Delta S_i + \alpha (\Delta Z_i - \Delta S_i) = \alpha \Delta Z_i + (1 - \alpha) \Delta S_i = K_i.$$

Иначе говоря, каждая прямая $\Delta Z_i - \Delta S_i$, $\Delta Z_2 - \Delta S_2$ и т. д. представляет собой геометрическое место значений составных критериев для каждого из вариантов при различных значениях весового коэффициента α . Интервалом значений коэффициента α , где прямая K_i лежит «выше» всех остальных, представляет собой область предпочтительности i -го варианта. Приравняв, в частности, $K_2 = K_3$, $K_3 = K_4$ и решив полученное

равнение относительно α можно получить интервалы предпочтительности третьего, четвертого и пятого вариантов.

Интервал предпочтительности пятого варианта

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq \alpha_5 \leq \frac{\Delta S_5 - \Delta S_4}{(\Delta S_1 - \Delta S_2) + (\Delta S_3 - \Delta S_4)}; \\ &\text{четвертого варианта} \\ \frac{\Delta S_5 - \Delta S_4}{(\Delta S_3 - \Delta S_2) + (\Delta S_5 - \Delta S_4)} &\leq \alpha_4 \leq \\ &\leq \frac{\Delta S_4 - \Delta S_3}{(\Delta S_5 - \Delta S_2) + (\Delta S_5 - \Delta S_3)}; \\ &\text{третьего варианта} \\ \frac{\Delta S_4 - \Delta S_3}{(\Delta S_5 - \Delta S_2) + (\Delta S_4 - \Delta S_3)} &\leq \alpha_3 \leq 1. \end{aligned} \right\} \quad (2.53)$$

Легко заметить, что ответить на вопрос, в какой области лежит коэффициент важности, для эксперта несравненно легче, чем назвать его точное значение.

Интервалы предпочтительности вариантов для рассмотренного выше примера приведены на рис. 2.13. Нетрудно видеть, что второй вариант во всем диапазоне весовых коэффициентов уступает третьему, четвертому и пятому.

Пятый вариант предпочтительнее в интервале $0 \leq \alpha \leq 0,65$, четвертый $0,65 \leq \alpha \leq 0,78$, третий при $\alpha > 0,78$.

Составные критерии имеют два существенных недостатка. Первый недостаток заключается в уже названной сложности определения весовых коэффициентов. Второй недостаток состоит в линейной структуре составного критерия, из которой

вытекает неограниченная взаимозаменяемость достижения одной цели другой. Так, неограниченно увеличивая удельную площадь жилых помещений, можно получить в качестве лучшего варианта такой, у которого затраты на проведение работ по основному назначению будут сколь угодно велики. Этот общий недостаток для всех составных критериев может быть в известной мере устранен с помощью нелинейного взвешивания, построенного на использовании уже рассмотренных функций полезности. В этом случае составной критерий будет иметь вид

$$K = \sum_{j=1}^r u_j(K_j) \alpha_j; \quad \sum_{j=1}^r \alpha_j = 1. \quad (2.54)$$

где $u_j(K_j)$ — функция полезности j -го показателя.

В рассмотренном примере необходимо ввести две функции полезности: полезности снижения затрат на проведение исследовательских работ и полезности увеличения удельной площади жилых помещений.

Можно считать, что функция полезности показателя затрат линейна, т. е. равные снижения затрат приносит равный эффект. Полезность увеличения удельной площади жилых помещений нелинейна: при малых значениях этого показателя его увеличение существенно улучшает обитаемость, после этого наступает эффект насыщения, и дальнейшее увеличение удельной площади мало влияет на необходимый для бурового судна уровень обитаемости. Функция полезности увеличения удельной площади жилых помещений представлена на рис. 2.13.

В этом случае в роли второго частного критерия, характеризующего обитаемость, будет использоваться не удельная площадь, а значения функции полезности, исчисленные в зависимости от каждого значения этого показателя.

С учетом сказанного, оформленная табл. 23.

Таблица 23. Частные критерии и составной критерий оценки вариантов научно-исследовательского судна

Критерий	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Предельные затраты на исследование	0,180	0,070	0	0,060	0,130	0,220	0,330
Разность значений функции обитаемости	0,600	0,420	0,300	0,190	0,090	0,030	0
Составной критерий	0,327	0,203	0,105	0,069	0,116	0,153	0,228

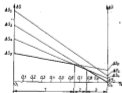


Рис. 2.12. Выбор оптимального варианта по составному критерию. Интервалы предпочтительности: 1 — пятый вариант; 2 — четвертый; 3 — третий.

Рис. 2.13. Характер функции полезности увеличения удельной площади жилых помещений НИС.



Рис. 2.14. Выбор оптимального варианта НПС по взаимному составу критериев. Показаны предпочтительности: 1 — лучший вариант; 2 — четвертый; 3 — третий.

результат можно получить, построив интервалы значений весовых коэффициентов, в которых предпочтительным различные варианты судна (рис. 2.14).

Метод составных критериев может быть достаточно полезен в практике технико-экономических обоснований при использовании некоторых улучшающих его приемов. Пример такого улучшения мы рассмотрим ниже.

Способ уступок. Идея решения многокритериальных задач методом уступок заключается в следующем. Все частные критерии располагают в порядке их важности. Далее производится выбор варианта по первому, наиболее важному критерию, после чего все варианты располагают в порядке убывания (или возрастания) этого критерия от выбранного варианта. Назначается уступка для оптимизации по второму критерию. Под уступкой понимается величина, на которую допускается увеличение (или уменьшение) значения первого, наиболее важного критерия по сравнению с оптимальным, с тем, чтобы получить возможно более предпочтительное значение второго критерия.

В пределах сделанной уступки выбирается вариант, имеющий наибольшее (или наименьшее) значение второго критерия; далее назначается уступка по второму критерию и производится выбор варианта по третьему критерию, и т. д. Проиллюстрируем способ уступок на примере предыдущего пункта.

В табл. 2.1 оптимальным по критерию затрат является третий вариант, для которого $Z_3 = 2,30$ млн. руб. Примем величину уступки по этому критерию, равной $\Delta Z = 0,15$ млн. руб. Тогда все варианты, для которых $Z \leq 2,45$ млн. руб., оказываются с учетом принятого условия равнозначными. В число таких вариантов попадают второй, третий, четвертый, пятый. Среди этих вариантов выбирается лучший вариант по второму критерию. Это пятый вариант. Он и выбирается в качестве оптимального по двум критериям.

В табл. 2.3 по тем же соображениям, что и выше, в качестве второго частного критерия рассматривается не само значение функции полезности для данного варианта, а разность между максимальным ее значением и значением для данного варианта. Следовательно функции полезности с насыщением сводят выбор в пользу первого показателя. Это же ре-

При нахождении оптимального варианта при непрерывном аргументе отыскивается $\min Z = Z_{opt}$ и далее, задавшись величиной уступки ΔZ , ищут $\min(\max) S/Z_1 - Z_{opt} < \Delta Z$. Пример отыскания методом уступки оптимального значения аргумента, от которого непрерывным образом зависит оба критерия, приведен на рис. 2.15.

Задачи с ситуационной неопределенностью. Причина возникновения ситуационной неопределенности заключается в том, что спроектировать и построить являющееся технико-экономическое средство только для решения одной определенной задачи или для работы в определенных условиях практически не представляется возможным. Поэтому уже в процессе проектирования и технико-экономического обоснования приходится считаться с тем, что ПТС будут использоваться для решения различных задач, или одну и ту же задачу будут решать в различных ситуациях. Необходимость решать различные задачи или использовать их в различных условиях предвзывает требования, которые могут оказаться противоречивыми. Поэтому в целях технико-экономического обоснования выходит выбор наиболее удачного компромиссного варианта.

Так, например, более высокая мореходность судна потребует дополнительных затрат, которые окажутся неоправданными, если оно будет использоваться в районах с устойчивой погодой и небольшим волнением. С другой стороны, невысокая мореходность, достаточная для спокойных районов акватории, приводит к вынужденным простоям и связанным с ними убыткам в районах с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями. А поскольку заранее неизвестно, в каком именно районе будет использоваться проектируемый объект, возникает уже названная ситуационная неопределенность.

Рассмотрим задачу выбора оптимального варианта при ситуационной неопределенности на следующем примере.

Разработаны четыре варианта бурового судна для изысканий на континентальном шельфе, отличающиеся мореходностью, и, вследствие этого, ценой и среднегодовой стоимостью эксплуатации. Затраты на выполнение комплекса работ для

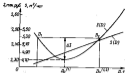


Рис. 2.15. Выбор варианта по двум критериям способом уступок:

D_1, D_2 — интервалы допустимости, где значения критерия равны; D_1^1 — оптимальное по первому критерию; D_2^2 — оптимальное значение, отвечающее на обоих критериях при критерий оптимальности.

каждого варианта сведены в табл. 2.4. Анализировав таблицу, можно установить, что если подавляющая часть работ будет выполняться в Балтийском море, то наиболее выгодный вариант — первый; если в Баренцевом море — второй, и т. д. Вероятность работ в каждом из предполагаемых районов неизвестна.

Таблица 2.4. Затраты на проведение комплекса геолого-разведочных работ в различных морях буровыми геолого-разведочными судами разных вариантов (млн. руб.)

Варианты	Ситуация				Экстерн		
	1	2	3	4	5	6	7
	S_1 Балтийское море	S_2 Баренцево море	S_3 Белое море	S_4 Остаток моря	Лавина L_1	Взрыв V_1	Гурия M
B_1	2,40	2,80	3,10	3,40	2,23	3,40	2,90
B_2	2,70	2,70	3,00	3,20	2,90	3,20	2,95
B_3	2,90	2,90	2,90	3,10	2,95	3,30	3,00
B_4	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05

Очевидным подходом в такой задаче будет построение комплексного (составного) критерия вида (2.51)

$$K = \sum_{j=1}^4 \alpha_j K_{ij}; \quad \sum_{j=1}^4 \alpha_j = 1. \quad (2.51a)$$

Отличие между выражением (2.51a) и выражением (2.51) есть существенная смысловая разница: в формуле (2.51a) частных критериев нет, критерии по каждой задаче (или для каждой ситуации) имеют один и тот же экономический смысл, и сравнивать их все можно. Коэффициенты α_j имеют смысл вероятности каждой из возможных ситуаций. Поэтому критерий K представляет собой математическое ожидание затрат на проведение комплекса работ с учетом возможных условий их проведения. Определение вероятностей каждой из ситуаций может быть выполнено только на основе экспертной оценки.

Наряду с изложенным подходом, в исследовании операций разработано несколько критериев, которые позволяют исследовать допущения, в которых они построены, выбирать один из вариантов, принимая его за оптимальный.

Критерий Лапласа. Критерий Лапласа представляет собой частный случай показателя (2.51a). Великий французский математик Лаплас предложил, исходя из того, что основной считать какую-либо из ситуаций более вероятной, чем

остальные, нет, полагать все ситуации равновероятными и выбирать тот вариант, для которого величина

$$L_i = \sum_{j=1}^4 p_j C_{ij} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 C_{ij}. \quad (2.55)$$

вычисленная критерием Лапласа, минимальна. Здесь p_j — вероятность j -й ситуации, а j — общее число ситуаций. В нашем примере — это вариант B_2 , для которого $L_{B_2} = 2,9$ млн. руб.

Критерий Вальда. Американский статистик Вальд сформулировал критерий, построенный на принципе максимальной осторожности. Он предложил отыскивать для каждого варианта наиболее неприятную ситуацию и принимать такой вариант, для которого будет минимальным наибольший возможный убыток (читатель, знакомый с началами теории матричных игр, заметит в этом подходе принцип максимина или минимакса).

Критерий Вальда имеет вид

$$V_i = \min_j \{ \max_k C_{kj} \}, \quad (2.56)$$

где C_{ij} — затраты на проведение работ судном i -го варианта в j -й ситуации.

В нашем примере наибольшие затраты для всех вариантов имеют место при ситуации S_4 , где наиболее неблагоприятны погодные условия. Они повторены в столбце 6 табл. 2.4. По критерию Вальда наилучшим вариантом является B_4 , для которого $V_{B_4} = 3,05$ млн. руб.

Критерий Гурвица. Леонид Гурвич справедливо отметил, что целесообразно учитывать наивысшее благоприятную ситуацию для каждого варианта и совершенно не учитывать возможный эффект при наиболее благоприятной ситуации. Критерий Гурвица имеет вид

$$H_i = \gamma \max_j \{ C_{ij} \} + (1 - \gamma) \min_j \{ C_{ij} \}. \quad (2.57)$$

Коэффициент γ называется коэффициентом оптимизма и отражает, по существу, в какой мере учитывается возможность самого благоприятного исхода. При $\gamma = 0$ критерий Гурвица превращается в критерий Вальда. Значения критерия Гурвица для всех вариантов при коэффициенте оптимизма $\gamma = 0,5$ приведены в столбце 7 табл. 2.4. По критерию Гурвица лучший вариант — первый.

$$(H)_{B_1} = 0,5 \cdot 2,40 + 0,5 \cdot 3,40 = 2,90.$$

Поятню, что значение коэффициента оптимизма не может быть научно обосновано. Поэтому здесь целесообразно

Таблица 2.5. К определению оптимального варианта по критерию Севиджа

Вариант	Ситуации				S_d
	S_1	S_2	S_3	S_4	
B_1	0	0,10	0,20	0,35	0,35
B_2	0,30	0	0,10	0,15	0,30
B_3	0,50	0,20	0	0,05	0,50
B_4	0,65	0,35	0,15	0	0,65

предпочтительнее других по большинству критериев. Действительно, каждый критерий отражает определенный подход к выбору решения, определенную его «сторону». И тот вариант, который будет «со всех сторон» лучше других, и надо выбирать. А все-таки, что делать в тех случаях, когда «с критерия нет единогласия» и по разным критериям предпочтительны разные варианты?

Автор, не претендуя на общность сделанных им выводов, может на основе своего опыта отметить, что ему удачнее всего удавалось использовать взвешенный критерий вида (2.51а) с вероятностями, определенными экспертной оценкой, а при отсутствии таковой — критерии Лапласа и Гурвица, представленные в функции коэффициента оптимизма так, как это сделано на рис. 2.16.

2.9. Качество средств освоения Мирового океана. Связь качества с полезным эффектом и функциональной эффективностью

В задачах технико-экономического обоснования средств освоения Мирового океана первостепенную роль играет еще одна экономическая категория — качество. Неуклонное повышение качества продукции составляет один из важнейших принципов экономической политики КПСС. В отчетном докладе ЦК КПСС XXV съезду КПСС отмечается: «Высокое качество — это сбережение труда и материальных ресурсов, рост экспортных возможностей, а в конечном счете лучшее, более полное удовлетворение потребностей общества»^{*}.

Понятие качества — сложное, комплексное. В Большой Советской Энциклопедии качество определяется как «экономический свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением»^{**}.

* Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 53.

** ВЭС. Изд. 3-е, т. II, с. 682.

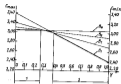


Рис. 2.16. Выбор оптимального варианта по критерию Гурвица способом районирования.

y — коэффициент оптимизма; y_1 — критерий нижней границы оптимизма, по которому выбирается вариант B_1 ; y_2 — интервал приемлемости варианта B_2 .

Критерий Севиджа. Илья Л. Дж. Севиджа заключается в следующем: каждый проектируемый вариант является наилучшим для какой-то определенной ситуации, т. е. если бы ситуация была заранее известна, то выбор варианта решился бы однозначно по принятому критерию, приведенному, например, в табл. 2.4. Поэтому естественно вычислить для каждой ситуации убытки или дополнительные затраты, связанные с удачным выбором варианта, после чего выбрать тот вариант, для которого максимальные убытки будут наименьшими. Таким образом, выбор варианта по принципу Севиджа может быть представлен в виде

$$S_c = \min_j [\max_i (C_{ij} - \min_i C_{ij})]. \quad (2.58)$$

Величины «дополнительных затрат», по которым определяется оптимальный по Севиджу вариант, сведены в табл. 2.5. Таким образом, подводя некоторые итоги, отметим, что по критерию Лапласа и Севиджа следует выбрать второй вариант, по критерию Вальда — четвертый, по критерию Гурвица с умеренным оптимизмом ($y = 0,5$) следует выбрать первый вариант. Возникает вполне естественный вопрос, какой же критерий «правильнее», каким пользоваться лучше всего?

Любой ответ на этот вопрос будет носить субъективный характер. Наиболее разумный подход в этом случае определяется ситуацией исследования. Именно он, исходя из конкретной задачи, может оценить, какой из принципов, положенных в основу описанных критериев, в наибольшей степени отвечает существу решаемой задачи. Разумную рекомендацию дает Е. С. Вентиль [11], предлагая выбрать тот вариант, который

«Полезность вещи делает ее потребительной стоимостью», — писал К. Маркс*. Поскольку для различных коллективов или индивидуумов в различных ситуациях одни и те же вещи нужны в разной степени, различают индивидуальную полезность, характеризующую отношение отдельного индивидуума (для коллектива) в определенной ситуации и общественную полезность. Качество определяется общественной полезностью, характеризующей отношение общества в целом к этой вещи, с учетом возможных ситуаций ее использования. Например лекарство, совершенно бесполезное для здорового человека, имеет совершенно определенную общественную полезность, исходя из которой и оценивается его качество. Бурные платформы совершенно бесполезны (пока) на глубинах, превышающих 1000 м, однако их полезность может быть достаточно велика, исходя из необходимости осваивать меньшие глубины, и в соответствии с этой задачей оценивается их качество.

Качество продукции создается в сферах проектирования и производства и реализуется в процессе использования в сфере эксплуатации. В этой связи целесообразно рассматривать отдельно качество проекта и качество продукции, применительно к средствам освоения Мирового океана — качество по проекту и качество построенного судна. Качество судна по проекту определяется теми параметрами, которые найдены и реализованы при проектировании, качество построенного судна существенно зависит от того, в какой мере построенное судно соответствует своему проекту.

Категории качества, функциональной эффективности и полезного эффекта тесно связаны, хотя между ними существуют определенные и не малые различия, и во избежание смешения понятий их необходимо по возможности разграничить.

Первое различие заключается в том, что если функциональная эффективность измеряется полезным эффектом одного вида — основным для данной продукции в соответствии с ее назначением, то представление о качестве какого-либо объекта формируется с учетом всех видов полезного эффекта, возникающих при его использовании. Поэтому качество продукции не определяется каким-либо одним показателем технического характера. Показатели качества продукции можно разбить на несколько групп (рис. 2.17):

— специфические показатели, характеризующие соответствие продукции своему назначению, или, что то же, его функциональную эффективность. Для научно-исследовательских судов — это характеристики измерительного комплекса аппаратуры, мореходности, скорость, автономность. Для глубоководных



Рис. 2.17. Классификация показателей качества средств освоения Мирового океана.

водных аппаратов суда добавляется предельная глубина погружения и др.;

— общетехнические показатели, общие для всех машин и приборов. Для потенциального владельца судна или аппарата далеко не безразлично, сколько лет будет работать аппаратура и энергетика, какова безотказность их элементов, т. е. какова вероятность того, что в течение рейса прибор или машина не выйдут из строя и не потребуются их ремонт, какова ремонтопригодность, т. е. как трудно будет устранить возникшие неисправности. Эти три показателя — долговечность, безотказность и ремонтопригодность, объединяемые понятием надежности, — важнейшие показатели качества продукции. Эти показатели также определяют влияние на функциональную и экономическую эффективность;

— эстетические и эргономические показатели представляют собой отдельную группу показателей. Если специфические и общетехнические характеристики непосредственно влияют на функциональную эффективность продукции, определяя полезный экономический или научный эффект ее использования, то рассматриваемая группа показателей определяет в известной мере эффект социальный. Эргономические показатели характеризуют соответствие изделия требованиям работы с ним человека с позиций гигиены, физиологии, психологии. Эстетические показатели зависят от организметического, в первую очередь зрительного восприятия изделия, его внешнего вида, оформления, отделки и т. д.

* Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 44.

Величина этих показателей (если они измерима) играют определенную роль, но свести их между собой (установить относительную важность каждого из них) как правило, не удается. Поэтому определение уровня каждого из показателей в процессе технико-экономического обоснования представляет собой типичную задачу многокритериальной неопределенности, рассмотренную нами ранее.

Таким образом, функциональная эффективность характеризует только одну сторону качества — соответствие проектируемого объекта своему основному назначению. Остальные аспекты качества, измеримые эстетическими и эргономическими показателями, в функциональной эффективности не учитываются. Иными словами, в этом аспекте категория качества шире, чем категория функциональной эффективности. В понятие качества учитывается не только основной вид полезного эффекта — экономический, научный, но и социальный.

Так, например, на функциональную эффективность ПБУ типа «База» практически не влияет то, что все каюты этого судна имеют систему кондиционирования и подачу горячей и холодной воды, но это весьма существенно сказывается на оценке его качества.

Второе отличие качества от функциональной эффективности заключается в том, что качество — внутренне присущее свойство объекта, определяемое только векторами его технико-эксплуатационных элементов и параметров технических решений, оно не зависит от условий его использования. Функциональная эффективность измеряется применительно к определенной задаче, решаемой в определенной конкретной ситуации. Поэтому функциональная эффективность зависит не только от ТЭЭ и ПТР объекта, но и от вектор-характеристики внешних условий [см. формулу (2.10)].

Можно сказать, что функциональная эффективность определяется каждый раз двумя основными факторами — качеством объекта и условиями его использования. А. А. Нарусбаев [39] приводит удачный и наглядный пример такого соотношения качества и функциональной эффективности. Хороший телевизор, в полной мере удовлетворяющий зрителей в условиях квартиры, становится малопривлекательным в условиях большого зрительного зала. Полезный эффект его использования при тех же свойствах, но при иных условиях использования может оказаться очень малым, и, следовательно, будет очень малой и его функциональная эффективность. Но и качество, в свою очередь, в определенной мере будет зависеть от того, в каких ситуациях может использоваться обосновываемый объект. Качество выражает общественную полезность и чем в более широком круге ситуаций обосновываемый объект будет эффективным, чем шире область его использования, тем, естественно, выше его качество.

Важно отметить, что понятие качества не абстрактно: при оценке качества всегда сравнивают его показатели по рассматриваемому объекту с определенными возможностями либо сравнивают с некоторым эталоном.

Иными словами, сравнение качества возможно лишь, как говорит, при прочих равных условиях. Без этого понятие качества теряет смысл. Так, если скорость одного судна 20 уз, а другого 18 уз, то из этого не вытекает, что первое судно лучше. Однако, если при этом качество, то водоизмещение этих судов одинаково и равны мощности энергетических установок, то это дает основание считать, что качество первого судна выше.

Понятно, что повышение качества, как правило, связано с определенными затратами, и между уровнем качества и затратами на его достижение может быть установлено такое же соответствие, как между показателями экономической эффективности.

В этой связи может быть поставлен вопрос о том, что же должно быть критерием выбора в процессе технико-экономического обоснования: экономическая эффективность — соотношение между полезным эффектом и затратами на его достижение или уровень качества и соответствующими затратами.

Принципиально ответ может быть только один: критерием выбора должен быть уровень качества и затраты на его достижение. Однако затрудно видеть, что эта задача неизмеримо сложнее, и сегодня нет строго обоснованных способов ее решения. Поэтому в практике обосновывается только одна сторона качества — функциональная эффективность, а остальные показатели качества принимаются из соображений, лежащих вне экономической модели использования проектируемого объекта.

Глава 3

ИЗМЕРЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТРАТ

3.1. Некоторые сведения из экономики

Затраты, связанные с использованием средств освоения Мирового океана, возникают в трех сферах: разрабатыв, производства и эксплуатации. Каждой из этих сфер соответствует определенный этап жизненного цикла плавучего технического средства. Все затраты на их создание и содержание классифицируются по сферам их осуществления в соответствии с этапами жизненного цикла.

Измерение затрат и их распределение базируются на основных категориях экономики.

Ключевое понятие экономики продукция — прямой материальный результат основной деятельности предприятий, выраженный в форме продукции или услуг. Продуктом предприятия называются созданные на нем изделия, детали и т. д., объем каждого вида которых может быть измерен в единицах натурального измерителя (штуках, тоннах, метрах и т. п.). Услуги подразделяются на услуги материального и нематериального характера. К первым относятся уже называемые производственные услуги — работы, связанные с восстановлением или возмещением потребительской стоимости любых изделий, их движением или транспортировкой.

К услугам нематериального характера обычно относят результаты научных исследований и проектирования, перевозку пассажиров транспортом общего пользования и др.

Объемом выпущенной продукции или выполненных услуг с учетом их качества измеряется полезный эффект деятельности хозяйственных единиц: предприятий, судов и т. п.

В качестве измерителей продукции используют следующие показатели: объем реализованной продукции, определенный как стоимость готовой продукции, принятой заказчиком и оплаченной им; товарная продукция — стоимость готовой продукции, принятой отделом технического контроля и услуг; валовая продукция — общий объем продукции в стоимостном измерении, произведенной предприятием, вне зависимости от степени его готовности.

В судостроении валовая продукция определяется ценой строящихся объектов и процентом их технической готовности:

$$B = \sum_i C_i (G_{1i} - G_{2i}) 10^{-2}, \quad (3.1)$$

Здесь C_i — цена i -го судна; G_{2i} , G_{1i} — процент технической готовности i -го судна на начало и конец планового периода соответственно.

Постройка судов, равно, как и изготовление другой продукции, обусловлена тремя основными элементами производства, или, как их называют, ресурсами судостроительной отрасли: кадрами, основными производственными фондами и оборотными средствами.

Под основными фондами понимаются оцененные в денежном выражении средства труда: здания и сооружения, оборудование, транспорт, инструмент и т. п., иными словами, та часть средств производства, которая участвует во многих производственных циклах и переносит свою стоимость на готовую продукцию постепенно, по частям, по мере своего износа в виде амортизации.

Показателем эффективности использования основных фондов служит фондоотдача — отношение стоимости выпущенной продукции к основным фондам:

$$f = \frac{B}{\Phi}; \quad (3.2)$$

где B — валовая продукция; Φ — основные фонды в денежном выражении.

Под оборотными средствами понимают оцененные в денежном выражении средства труда, участвующие только в одном производственном цикле и переносящие свою стоимость на готовую продукцию сразу при их использовании.

Оборотные фонды охватывают все движимые предметы труда в производственном процессе. Основными элементами оборотных фондов служат производственные запасы и незавершенное производство.

Оборотные средства представляют собой совокупность оборотных фондов и фондов обращения — средств, необходимых предприятию для его анпроизводственной деятельности; средств, необходимых для реализации продукции и денежных расчетов. Оборотные фонды и основная часть фондов обращения иррируется, т. е. предприятие не должно иметь эти средства в сумме, превышающей некоторый установленный норматив.

Показателем использования оборотных средств служит коэффициент оборачиваемости или обратный ему коэффициент закрепления

$$K_{об} = \frac{1}{K_1} = \frac{B}{O_{ср}}, \quad (3.3)$$

где $K_{об}$, K_1 — коэффициент оборачиваемости и коэффициент закрепления соответственно; $O_{ср}$ — средний за плановый период остаток (величина) оборотных средств.

Коэффициент оборачиваемости по экономическому смыслу представляет собой фондоотдачу по оборотным средствам.

Для измерения трудозатрат во создании продукции используют следующие показатели производительности труда: трудоемкость, характеризующую затраты труда на единицу продукции, и обратный ей показатель — среднюю выработку. В судостроении более широко используют показатель трудоемкости. В зависимости от круга работников, чьи трудозатраты и нее включены, различают три вида трудоемкости: производственная, включающая трудозатраты основных производственных рабочих; полная, включающая трудозатраты основных и вспомогательных рабочих, и, наконец, общая, включающая трудозатраты всего промышленно-производственного персонала.

Общая и производственная трудоемкость связаны соотношением

$$t_o = t_{пр} (1 + v_1) (1 + v_2), \quad (3.4)$$

где τ_0 , τ_{02} — общая и производственная трудоемкость соответственно; τ_1 — отношение численности вспомогательных рабочих к численности основных; τ_2 — отношение численности остальных категорий промышленно-производственного персонала к численности рабочих.

Под себестоимостью понимаются выраженные в денежной форме текущие затраты предприятия на изготовление и реализацию продукции. В себестоимости находят отражение оборотные фонды (основные и вспомогательные материалы, сырье и др.); основные фонды (амортизационные отчисления, соответствующие износу оборудования); трудовые затраты, от которых зависит величина заработной платы. Себестоимость — важнейший показатель работы любого предприятия. По этому показателю можно судить, насколько эффективно расходуются ресурсы, используемые предприятием при изготовлении продукции или выполнении определенных работ.

Себестоимость единицы продукции исчисляют по калькуляционным статьям. Статьи калькуляции включают в себя затраты, объединяемые по признаку целевого назначения и места возникновения. Так, например, заработная плата в калькуляционных статьях учитывается раздельно для основных производственных рабочих, чей труд легко отнести к определенному объекту, и работников заводоуправления, чьи трудовые затраты точно отнести на какую-либо единицу продукции непосредственно не представляется возможным.

Калькуляционные статьи по способу отнесения затрат на единицу продукции делятся на две группы: прямые и косвенные. К прямым затратам относятся те, которые могут быть непосредственно включены в себестоимость определенного изделия. К косвенным относятся затраты, которые не могут быть непосредственно отнесены на какое-либо изделие и потому распределяются на всю продукцию косвенным путем, пропорционально заработной плате основных производственных рабочих.

В соответствии с местом возникновения учитываемых в себестоимости затрат различают: полную себестоимость, производственную и полную, включающую все затраты на изготовление и реализацию продукции.

Структура полной себестоимости и в ее составе производственной и ценовой представляется применительно к средствам измерения Марового осязана (табл. 3.1).

Косвенные ценовые расходы разбиваются на две группы: связанные с работой оборудования (а том числе амортизация, затраты на ремонт и содержание оборудования, стоимость топлива и энергии для производственных нужд, заработная плата вспомогательных рабочих, занятых ремонтом и владением оборудованием), общеценовые расходы (заработная плата цехового персонала и вспомогательных рабочих, занятых на

хозяйственных цеховых работах, топливо и энергия для хозяйственных нужд, транспортные расходы и расходы по охране труда).

В общезаводские расходы входит заработная плата аппарата заводоуправления, амортизация и ремонт зданий заводского значения и т. д.; в специальные расходы — амортизация станшей, затраты на технологическую энергию всех видов, восстановление оснстки и т. п.; в расходы на подготовку и освоение производства — стоимость рабочего проекта, технологическая документация, изготовление оснстки.

Однако себестоимость не полностью отражает общественно необходимые затраты труда. Себестоимость составляет только часть стоимости — она отражает только необходимый продукт. А так как производство при социализме носит товарный характер, товары и промышленные услуги реализуются не по себестоимости, а в соответствии с их стоимостью. Денежное выражение стоимости называется ценой продукции. В цену товара себестоимости входит в денежном выражении прибавочный продукт, создаваемый для общества. Ценообразование на всех отраслях народного хозяйства базируется на едином принципе отражения общественно необходимых затрат труда, возмещения издержек производства и обеспечения определенной прибыли каждому нормально работающему предприятию. Прибавочный продукт, создаваемый в процессе производства, разбивается на две части: прибыль и налог с оборота.

Прибыль в установленном размере входит в цену продукции любой отрасли, налог с оборота взимается только с товаров, поступающих в розничную торговлю.

Действительно, исходя из (3.5), прибыль может быть представлена в виде

$$П = Cr,$$

а с учетом того, что

$$B = C + П = C + Cr = C(1 + r),$$

где B — общий объем продукции (валовая продукция), прибыль может быть выражена через рентабельность производства

$$П = \frac{r}{1+r} B. \quad (3.8)$$

С другой стороны, из формулы (3.6) можно получить выражение для прибыли через рентабельность производства:

$$П = R(\Phi + O_n). \quad (3.9)$$

Приравняв выражения для прибыли, из (3.8) и (3.9) с учетом (3.2) и (3.3) получим формулу

$$\frac{r}{1+r} B = R(\Phi + O_n);$$

$$R = \frac{r}{1+r} \frac{1}{\frac{\Phi}{B} + \frac{O_n}{B}} = \frac{r}{1+r} \frac{\kappa_d}{\kappa_0 + f}. \quad (3.7^*)$$

бюджет Ийту за находившиеся в его распоряжении основные производственные фонды и нормируемые оборотные средства. Норматив платы за фонды 6 % в год.

Однако сама по себе абсолютная величина полученной прибыли не может однозначно охарактеризовать экономическую успешность работы предприятия, так как для этого необходимо соизмерять полученную прибыль с масштабами производства, с использованными для изготовления продукции ресурсами. Этой цели служит категория рентабельности.

Рассматриваются два вида рентабельности: рентабельность производства и рентабельность продукции. Под рентабельностью продукции понимается отношение прибыли в составе цены изделия, судна и т. п. к его себестоимости.

Рентабельность продукции определяется отношением

$$r = \frac{П}{C}, \quad (3.5)$$

где $П$ — прибыль в составе цены продукции; C — себестоимость этой продукции.

Под рентабельностью производства (общей рентабельностью) понимается отношение всей прибыли предприятия (балансовой прибыли) к сумме основных фондов и нормируемых оборотных средств:

$$R = \frac{П_b}{\Phi + O_n}, \quad (3.6)$$

где $П_b$ — балансовая прибыль предприятия; O_n — совокупный норматив оборотных средств.

Нетрудно видеть, что рентабельность продукции и общая рентабельность приблизительно связаны довольно простым соотношением

$$R = \frac{r}{1+r} \frac{\kappa_d}{\kappa_0 + f}. \quad (3.7)$$

В технико-экономических обоснованиях новой техники, а том числе и средств Мирового океана, используются все рассмотренные показатели. Они и служат основой построения формулы (2.49) из рассмотренных показателей как из критериев формируется показатель экономической эффективности.

Нетрудно видеть, что затраты, формирующие показатель (2.49), имеют различный характер, осуществляются в разное время. Часть затрат имеет разовый, одномоментный характер, часть осуществляется регулярно.

Иными словами, различные затраты по-разному участвуют в образовании стоимости достигнутого полезного эффекта. В практике для классификация затрат по назначению и характеру использования применяются понятия текущих и капитальных затрат.

Такая классификация имеет смысл только в применении к определенному объекту, технике, оборудованию, иным словам, к элементу основных фондов. Под капитальными затратами понимаются одномоментные затраты на создание или приобретение (и монтаж) этого объекта, текущими — затраты, связанные с его эксплуатацией. Таким образом, в сфере эксплуатации средств освоения Мирового океана затраты на их создание, в том числе себестоимость постройки, будут отно-

связи с капитальными затратами, а в текущие затраты будут включаться эксплуатационные расходы. Во все время в сфере производства этих средств, в частности на предприятиях судостроительной отрасли, где критерием классификации служат основные фонды предприятия, затраты, образующие себестоимость создания главных технических средств рассматриваются как текущие расходы предприятия, а капитальные затраты относятся к оборудованию самого предприятия. Капитальные затраты имеют в общем случае довольно сложную структуру. Полные капитальные затраты, связанные с достижением определенного полезного эффекта, разделяются на прямые, сопутствующие и сопряженные. Прямые капитальные вложения в общем случае определяются как затраты, относящиеся непосредственно к создаваемому объекту. Применительно к средствам освоения Мирового океана в прямые капитальные затраты включается стоимость обособляемого объекта.

Понятия сопряженных и сопутствующих капитальных затрат непосредственно связаны с понятием инфраструктуры — сооружений, внешних по отношению к создаваемому объекту. Так, в авиации под инфраструктурой понимаются наземные сооружения: аэродромы, ангары, мастерские; на железнодорожном транспорте к инфраструктуре относятся стационарные и приставочные сооружения; в морском флоте — совокупность сооружений, обеспечивающих эксплуатацию и базирование судов. Таким образом, инфраструктура — совокупность внешних по отношению к обособляемому объекту сооружений, обеспечивающих его постройку и функционирование. Сопутствующие и сопряженные затраты — затраты на создание инфраструктуры. Признаком, по которому различают эти виды капитальных затрат, служит направленность: сопутствующие капитальные вложения направляются в ту же отрасль, к которой принадлежит создаваемый объект, сопряженные — в смежные отрасли. С известными оговорками применительно к средствам освоения Мирового океана можно привести следующий пример: для глубоководного аппарата затраты на судно-носитель будут считаться сопутствующими, затраты на создание специального навигационного обеспечения и масштабе бассейна — сопряженными.

Деление затрат на прямые, сопутствующие и сопряженные может быть по рассмотренным выше признакам проведено и в отношении текущих затрат.

Схема, иллюстрирующая классификацию затрат, приведена на рис. 3.1.

Обычно инфраструктура создается в расчете на многие объекты, и в соответствии с этим распределяется различные сопутствующих и сопряженных затрат. Они распределяются пропорционально степени использования каждым из обособляемых объектов элементов инфраструктуры. Расширен при-

		Затраты на разработку	Затраты на постройку	Эксплуатационные затраты
ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ		Стоимость проектирования объекта	Стоимость постройки объекта	Прямые эксплуатационные расходы на объект
Затраты на инфраструктуру	Сопутствующие затраты	Стоимость проектирования судна обособления (лобстера, бургера)	Стоимость постройки судна обособления (лобстера, бургера)	Эксплуатационные расходы по судну обособления
	Сопряженные затраты	Стоимость проектирования систем обособления	Затраты на создание систем обособления	Линейные затраты на эксплуатацию систем обособления

Рис. 3.1. Классификация затрат на средства освоения Мирового океана.

веденный выше пример, можно указать, что если на борту судно-носителя базируются два глубоководных аппарата, то на каждый из них относится половина сопутствующих капитальных и текущих затрат — стоимости создания и эксплуатации судна-носителя.

Легко заметить, что при формировании показателя затрат на достижение определенного полезного эффекта простое суммирование текущих и капитальных затрат не представляется возможным вследствие различия в их экономической природе. Поэтому для их соизмерения используется принцип приведения, с тем показателем, сформированным в соответствии с этим принципом, называется показателем приведенных затрат.

Если показатель приведенных затрат базируется на том, что нельзя сравнить альтернативные варианты достижения одинакового полезного эффекта только по текущим затратам (себестоимости). Для народного хозяйства далеко не безразлично, какие народнохозяйственные ресурсы будут использованы для создания техники, обеспечивающей заданный полезный эффект. При этом предполагается, что все отрасли народного хозяйства должны быть одинаково рентабельными, и капитальные вложения в эти отрасли должны приносить прибыль, определяемую нормативным коэффициентом эффективности $E_n = 0,15$. Нормативный коэффициент эффективности имеет смысл

рентабельности. Его размерность — руб./руб. год. Выражение приведенных затрат имеет вид

$$Z = C + E, K, \quad (3.10)$$

где C — текущие затраты на достижение полезного эффекта (себестоимость); K — капитальные вложения (стоимость техники, необходимая для достижения полезного эффекта).

Нетрудно видеть, что, поскольку второе слагаемое представляет собой нормативную прибыль, весь показатель приведенных затрат — сумма себестоимости и нормативной прибыли — имеет структуру цены продукции.

Таким образом, альтернативные варианты, обеспечивающие тождественный полезный эффект, сравниваются по показателю, имеющему смысл цены достижения этого эффекта.

При сравнении новой техники с существовавшей ранее (заменяемой) используется тот же показатель приведенных затрат. В качестве тождественного полезного эффекта принимается годовой объем работ, а показателем экономической эффективности новой техники служит экономический эффект — разность приведенных затрат старого и нового варианта техники, рассчитанная на условную годовую объем производства или работ. Естественно, что и альтернативные варианты новой техники, рассматриваемые в процессе технико-экономических обоснований, также сравниваются по приведенным затратам на объем годовой работы. Однако это не обязательно. Приведенная выше трактовка показателя приведенных затрат позволяет перейти к иным объемам работ, меньшим или большим годового. Это важно для судов, выполняющих работы различного назначения с длительным производственным циклом. В этих случаях оказывается целесообразно сделать одну работу на части, с тем, чтобы привести ее к календарному году. Правильнее пользоваться показателем приведенных затрат, отнесенным к длительности выполнения полного объема определенной работы. В этом случае показатель приведенных затрат имеет вид

$$Z = C(t) + \frac{K}{T}, \quad (3.11)$$

где первое слагаемое — себестоимость работы, второе слагаемое представляет собой нормативную прибыль, которая должна быть получена за время ее выполнения.

В формуле (3.11): $C(t)$ — текущие затраты на выполнение заданного объема работ, а T — длительность выполнения этих работ.

В соответствии со сказанным экономический эффект новой техники определяется как разность приведенных затрат на за-

данный объем работы, выполненный с помощью «старой» и «новой» техники:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2,$$

где ΔZ — экономический эффект; Z_1, Z_2 — приведенные затраты на «старую» и «новую» способы выполнения работ соответственно.

При этом предполагается, что если $\Delta Z > 0$, то новая техника экономически эффективна, в противном случае ее введение экономически нецелесообразно.

Поэтому, что здесь существенно роль играет база сравнения, т. е. во каком именно варианте «старой» техники, по какому именно варианту выполнения работ принимаются приведенные затраты, с которыми сравнивается новая техника. Казалось бы, здесь все очевидно: в качестве базы сравнения принимается тот же уже существующий вариант, с которым связаны наименьшие приведенные затраты — наиболее экономичный. В экономике освоения Мирового океана дело обстоит сложнее. Освоение ресурсов Мирового океана связано не только со стремлением добывать нефть, рудные ископаемые более дешевым способом, сколько с ограниченностью и истощением запасов, имеющихся на суше. Вследствие этого, как известно, с течением времени начинают использоваться все более бедные месторождения, растет себестоимость продукции, растут цены, что усиливается постоянно растущим спросом. Этот процесс хорошо явлен на примере нефти.

Таким образом, возникает ситуация, когда оказывается необходимым разрабатывать не только наиболее выгодные, но и менее выгодные месторождения, так как наиболее выгодные месторождения не могут покрыть всей потребности общества. Этот процесс имеет по своей экономической природе нечто общее с образованием дифференциальной ренты 1-го рода в сельском хозяйстве. К. Маркс говорил, что переход к худшей земле никогда не совершается по доброй воле, а является при всяком способе производства следствием необходимости.*

Поэтому приведенные затраты, например на тонну добытой нефти на морских месторождениях (при равном дебите), должны при обосновании буровых судов и установок сравниваться не с наиболее рентабельными месторождениями на суше, а с наименее рентабельными из тех, эксплуатация которых является на период использования проектируемых средств целесообразной. При этом по названным причинам приведенные затраты, принимаемые за базу сравнения, имеют тенденцию к росту. Сказанное иллюстрируется рис. 3.2. Кривая характеризует зависимость между приведенными затратами на одну

* Маркс К. Записки Ф. Сох, т. 23, с. 397.



Рис. 12. Динамика добычи нефти при оценке эффективности в случае ограниченных ресурсов.

2 — площадь, соответствующая приведенным затратам; 3 — приведенные затраты.

товку нефти и площадью месторождений, где может быть осуществлена добыча нефти при этих приведенных затратах.

Рассмотрим два периода I и II. В течение первого периода добыча идет на месторождениях с наименьшими приведенными затратами $Z_{1\text{ макс}}$ и наибольшими $Z_{1\text{ мин}}$ (участок A_1A_1' по оси абсцисс). В этом периоде в качестве базисных приведенных затрат для сравнения должна приниматься величина $Z_{1\text{ макс}}$.

С течением времени наиболее рентабельные месторождения истощаются и происходит «сдвиг»: в разработку вовлекаются менее рентабельные месторождения. Поэтому во втором периоде эксплуатируются месторождения с наименьшими приведенными затратами $Z_{2\text{ макс}}$ и наибольшими $Z_{2\text{ мин}}$ (участок A_2A_2'). В этом периоде в качестве базы сравнения должны использоваться приведенные затраты $Z_{2\text{ макс}}$.

В экономической практике широко распространено показывать, обратный нормативному коэффициенту эффективности, — срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_0}.$$

В отношении данного показателя необходимо сделать специальную оговорку. Его экономический смысл, как трудно заметить, — длительность периода, в течение которого внедрение новой техники обеспечивает дополнительную прибыль, равную стоимости этой техники. Поэтому широко распространенное заблуждение о том, что срок окупаемости соответствует периоду, в течение которого новая техника полностью переносит свою стоимость на готовую продукцию, не соответствует действительности. Основные фонды переносит свою стоимость на готовую продукцию через амортизационные отчисления, а срок, в течение которого это происходит, называется амортизационным периодом. Амортизационный период может не совпадать и чаще всего не совпадает со сроком окупаемости.

3.2. Учет фактора времени. Приведенные затраты

Пусть сравниваются два варианта научно-исследовательского судна. Само судно по первому варианту дороже, но зато оно дешевле в эксплуатации. Какое из них выгоднее при

равном полезном эффекте? Для ответа на этот вопрос необходимо соизмерить текущие и капитальные затраты. Правильно соизмерять текущих и капитальных затрат в этом случае определяется приведенным приведенных затрат.

В практике часто встречаются более сложные случаи. Нередко судно строится два-три года, а иногда и более того. Эксплуатация длится до двадцати пяти лет. Для различных вариантов средиземноморского океана динамика затрат различна, т. е. меняются доли общих затрат, осуществляемых в более ранние и поздние периоды. Так как капитальные вложения должны обеспечивать получение прибыли, то уже через год любая сумма, вложенная в народное хозяйство благодаря рентабельности общественного производства, как бы увеличивается на сумму прибыли, обеспечиваемой сделанными вложениями.

Исходя из изложенного, можно показать, что чем меньше доля осуществляемых в ранние периоды затрат, тем больше это соответствует народнохозяйственным интересам. Так возникает проблема соизмерения разновременных затрат, решаемая приведенным затратам к одному моменту времени.

Нормативными документами [31] предусматривается приведенные затраты к одному моменту времени по формуле сложных процентов; для затрат какого-либо времени вводится коэффициент приведения

$$e_t = (1 + E_0)^{t-t_0}. \quad (3.12)$$

где E_0 — норматив приведения ($E_0 = 0,1$); t — год осуществления приведенных затрат; t_0 — момент приведения (начало — расчетный год).

Разновременные затраты, осуществленные за период от t до t_0 , приводятся к моменту времени t_0 по формуле

$$C = \sum_{t=t_0}^n C_t (1 + E_0)^{t-t_0}, \quad (3.13)$$

где C_t — затраты, осуществленные в t -й год; остальные обозначения прежние.

В тех случаях, когда затраты производятся равномерно, т. е. равными долями ежегодно, выражение (3.13) может быть упрощено.

Приним для упрощения записи выкладки обозначения

$$\zeta = \frac{\sum_{t=t_0}^n C_t}{T - t_0} \quad \text{и} \quad (1 + E_0) = X, \quad (7)$$

тогда

$$C = \sum_{t=t_0}^n C_t (1 + E_0)^{t-t_0} = \sum_{t=t_0}^n \zeta X^{t-t_0} = -\zeta (1 + X + X^2 + \dots + X^{n-t_0}) = \zeta \frac{1 - X^{n-t_0+1}}{1 - X}. \quad (8)$$

Подставляя (*) в (**), получим

$$C = \frac{\sum_{t=0}^T C_t}{C_0 - r} \frac{(1 + E_0)^{t-1} - 1}{E_0} \quad (3.14)$$

Необходимо подчеркнуть два обстоятельства: приведенно подлагает не только затраты, но и результаты, т. е. получаемый полезный эффект; норматив приведенный, имеющий тот же экономический смысл, что и нормативный коэффициент эффективности, существенно меньше последнего: 0,10 вместо 0,15.

Стоит отметить, что некоторые авторы учитывают равномерности затрат рекомендуют осуществлять по формуле простых процентов, т. е. без учета показательного роста вложенных средств.

Все эти вопросы тесно взаимосвязаны, особенно применительно к средствам освоения Мирового океана, где выразить в денежном измерении полезный эффект не всегда представляется возможным. Ответ на эти вопросы может быть получен, исходя из анализа принятого распределения нормативной прибыли. Для этого необходимо рассмотреть две ситуации:

1. Предприятие, под которым может пониматься и судно, и любое иное средство освоения Мирового океана функционирует, т. е. им создается определенный полезный эффект. Получаемая прибыль частично направляется в государственный бюджет, а частично обращается на нужды самого предприятия, в том числе на образование фондов экономического стимулирования.

2. Предприятие строится. Оно же функционирует и прибыли не имеет. Определяемые нормативной эффективностью использованных на строительство средств суммы, которые должны были бы направляться в государственный бюджет, накапливаются, образуя своеобразную задолженность. Поскольку предприятие не функционирует и не имеет прибыли, то об отчислениях от прибыли на нужды самого предприятия речи нет.

Нормативный коэффициент эффективности $E_0 = 0,15$ рассчитан на первую ситуацию. Его величина предсчитывается как вложение в бюджет, так и часть прибыли, остающаяся в распоряжении самого предприятия. Поскольку платежи в бюджет и распределение прибыли внутри предприятия производятся ежегодно, экспоненциального роста вложений не происходит и применима формула (3.10), т. е. учитывается равномерности затрат может производиться по формуле простых процентов.

Во втором случае, до того момента, когда начнет создаваться полезный эффект, вложенные средства не приносят прибыли, «задолженность» растет в соответствии с формулой (3.12). Однако поскольку упоминутая задолженность только перед государством, то в этом случаеместе норматива приведенного $E = 0,10$, не учитывающий часть прибыли, остающуюся в распоряжении предприятия.

Использование этих представлений позволяет обойтись без приведения полезного эффекта. Естественно, описанные модели в достаточной степени упрощены и схематизированы, однако они позволяют выявить в рассматриваемом процессе главное и на этом основании получить расчетные соотношения в практических задачах.

В отношении средств освоения Мирового океана необходимо сделать еще одну специальную оговорку. Казалось бы, в применении затрат на постройку судна нет необходимости, так как должно оплачиваться уже готовое судно. Но вследствие специфики судостроительной отрасли, имеющей длительный цикл производства, суда оплачиваются по частичной готовности, т. е. капитальными вложения делаются частями по мере готовности судна.

Поэтому затраты на создание средства освоения Мирового океана подлежат приведению по формуле сложных процентов.

3.3. Определение технико-экономических показателей средств освоения Мирового океана

Из трех технико-экономических показателей средств освоения Мирового океана: стоимости разработки, стоимости постройки, среднегодовой стоимости эксплуатации вследствие сложности практики в качестве базовой рассматривается стоимость постройки. Это объясняется, с одной стороны, тем, что названная характеристика более стабильна, чем стоимость разработки, ее зависимость от основных технико-эксплуатационных характеристик легче выявить и проследить, по ней накоплено больше статистических данных. С другой стороны, среднегодовая стоимость эксплуатации и стоимость разработки прямо или косвенно зависят от стоимости постройки. Этим и определяется последовательность рассмотрения названных технико-экономических характеристик.

Для определения себестоимости, а следовательно, и цены средств освоения Мирового океана на судостроительных ПРЭУ приняты использовать метод калькуляции, для определения затрат в процессе эксплуатации разрабатывают сметы эксплуатационных затрат.

Однако использование этого аппарата в процессе технико-экономического обоснования, т. е. на стадиях исследовательского проектирования или на стадии технического проекта, крайне затруднительно. Применение обычных методов калькулирования себестоимости, с помощью которых рассчитывают затраты на материалы, покупные изделия, полуфабрикаты, определяет стоимость монтажных работ, заработной платы, косвенные расходы, требует наличия сведений заказа материалов и оборудования, технологических карт для определе-

ния трудоемкости и разрядности работ и т. п. Этими данными в процессе исследовательского проектирования, да и на стадии технического проекта, экономист, как правило, не располагает. Замена таких данных ориентировочными, основанными на выходящем опыте и интуиции разработчика, обычно приводит к субъективным оценкам и серьезным просчетам.

С другой стороны, в процессе технико-экономического обоснования экономисту важно не столько получить точную оценку себестоимости проектируемого объекта и ожидаемых эксплуатационных затрат, хотя и это очень важно, сколько необходимо иметь верное соотношение между технико-экономическими показателями различных вариантов и знать зависимость этих показателей от технико-эксплуатационных элементов проектируемого объекта.

Поэтому в процессе технико-экономического обоснования наиболее употребительны так называемые нормативно-параметрические методы определения себестоимости и эксплуатационных затрат. В основе этих методов лежит принцип установления зависимости технико-экономических показателей проектируемого объекта и в первую очередь его себестоимости от технико-эксплуатационных элементов и внешних по отношению к объекту параметров, характеризующих условия постройки и эксплуатации. Такие зависимости строятся либо на базе опытно-статистических данных по уже построенным средствам освоения Мирового океана или сходным объектам, либо на базе имеющихся нормативных материалов.

Вобщем говоря, расчетные методики, построенные на нормативных материалах, предпочтительнее. Их отличия от «статистических» методик, т. е. построенных на статистических материалах, довольно существенны.

«Статистические» методики создаются на прошлом опыте и поэтому неизбежно отражают и инерцию места и прошлого ошибки, и устаревшие нормативы, технологию и организацию производственного процесса. Иными словами, они всегда респективны. Понятно, что качество «статистической» методики, ее надежность и достоверность зависят от качества статистического материала, от его представительности, или, как говорят, от его репрезентативности, от однородности собранного материала и др.

Часто материалы, собранные по предприятиям, неоднородны вследствие различий в технологии, организации производства, организационно-техническом уровне видов производства, различий, связанных с районными тарифами, и, наконец, серьезностью изъятий. Большую роль играет и неоднородность по времени. Статистика собирается за многие годы; средства освоения Мирового океана имеют длительный цикл постройки и строятся в подавляющем большинстве случаев малыми сери-

ями. За это время вследствие роста производительности труда изменяются нормы и расценки, пересматриваются цены на материалы; в зарубежных статистических материалах существенную роль играет инфляционный фактор (см. рис. 13).

Недостаток методик, построенных на основе действующих нормативов, в том, что они в известной мере идеализируют производственный процесс. Иными словами, «статистические» методики отвечают на вопрос, какова будет себестоимость проектируемого объекта, если характер производства, средний по предприятиям, во котором собраны материалы, не претерпит существенных изменений; «нормативные» методики отвечают на вопрос, какова должна быть себестоимость, если производственный процесс будет организовываться наиболее эффективно. Другой наиболее важный недостаток «нормативных» методик — очень высокая трудоемкость и сложность их разработки, особенно применительно к таким сложным инженерным сооружениям, как ПБУ, научно-исследовательские суда, буровые суда и объектные подводные аппараты.

3.4. Определение себестоимости средств освоения Мирового океана нормативно-параметрическими методами

Наиболее простыми и распространенными, и, к сожалению, наименее точными является метод удельных показателей, основанный на допущении постоянства себестоимости единицы какого-либо из определяющих параметров — веса, мощности и т. д. — на всем интервале его изменения. Очень часто в качестве такого удельного показателя применяется себестоимость единицы водоизмещения или девицита. В этом случае себестоимость судна или аппарата определяется очень простой формулой

$$C = c_u D, \quad (3.15)$$

где C — себестоимость проектируемого аппарата или судна; c_u — удельная стоимость тонны водоизмещения; D — водоизмещение проектируемого объекта.

Одна из причин широкого распространения метода удельных показателей заключается в доступности необходимой исходной информации. Действительно, для того чтобы определить себестоимость или цену проектируемого судна, достаточно знать только себестоимость или цену близкого по назначению и характеру судна (аналога, прототипа) и его водоизмещение. Такие данные более или менее доступны, во всяком случае, более доступны, чем информация, необходимая для любой методики иного типа. Так, если требуется определять себестоимость проектируемого судна водоизмещением 1760 т, а известно, что себестоимость аналогичного судна водоизмещением 1600 т

составляет 10,9 млн. руб., то себестоимость проектируемого судна определяется в соответствии с формулой (3.15) следующим образом:

$$c_s = \frac{10,9 \text{ млн. руб.}}{1990 \tau} = 6800 \text{ руб./}\tau$$

$$C_{\text{пр}} = 6800 \text{ руб./}\tau \cdot 1760 \tau = 11,97 \text{ млн. руб.}$$

Иными словами, метод удельных показателей сводится к пропорциональному пересчету себестоимости с близкого прототипа.

Некоторые данные по удельным ценам различных средств освоения Мирового океана представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Удельные цены на средства освоения Мирового океана

Тип судна, назначение	Государство, год постройки	Водоизмещение (тонна), т	Удельная цена 1 т, тыс. руб.
1. Подводный аппарат для работы в средних глубинах «Алканалу»	США, 1964	68,0	44,3
2. Подводный аппарат для работы в средних глубинах «Алканалу»	США, 1964	13,2	33,1
3. Подводный аппарат для глубины до 300 м «Марина-III»	ФРГ, 1975	13,0	79,2
4. Подводный аппарат ТОВРС-420/300	ФРГ	80,0	46,3
5. Подводный аппарат для больших и средних глубин «Ай-стро-6»	Канада, 1975	11,0	9,4
6. Судно снабжения буровых платформ Т-704	Норвегия, 1976	1 100	7,5
7. Судно снабжения	Великобритания, 1976	2 000	6,5 (по данным)
8. Судно снабжения буровых платформ	Нидерланды, 1977	2 200	2,00 (по данным)
9. Буровое судно «Пелликан»	Нидерланды, 1977	16 450	0,8
10. Исследовательское судно «Позейдон»	ФРГ, 1976	1 320	6,2

Использование удельных показателей позволяет весьма быстро и просто определить ожидаемую себестоимость проектируемого объекта, однако полученные значения себестоимости могут во многом значительно отличаться от реальных, но и показать соотношения между себестоимостью проработанных

вариантов, что в известной мере подтверждается разбросом удельных стоимостей, приведенных в табл. 3.2.

Для установления границ допустимого использования удельных показателей полезно проанализировать экономическую природу разброса значимых показателей и недостатков этого метода, во многом близкие по характеру к недостаткам удельных показателей экономической эффективности, рассмотренных в гл. 2.

Первая причина ошибок при использовании этого метода заключается в том, что в отличие от допущения, лежащего в его основе, в действительности зависимость себестоимости от определяющего параметра, в частности от водоизмещения, имеет нелинейный характер. Себестоимость растет медленнее, чем водоизмещение, т. е. справедлива была бы зависимость

$$C = aD^b, \quad (3.16)$$

где $a < 1$.

Нетрудно видеть, что в этом случае, удельный показатель имеет вид

$$c_s = \frac{C}{D} = \frac{aD^b}{D} = \frac{a}{D^{1-b}}, \quad (3.17)$$

где $1 - b > 0$, т. е. с ростом определяющего параметра, в данном случае водоизмещения, значение удельного показателя падает.

Геометрическая интерпретация ошибок пропорционального пересчета приведена на рис. 3.3. В результате расхождения действительной зависимости и аппроксимации пропорциональной зависимости возникает ошибка Δ , тем большая, чем больше разница в водоизмещении прототипа и проекта.

Стоит отметить, что это явление имеет место во всем судостроении. Многочисленные графики, иллюстрирующие сказанное, приводит С. П. Логинов и М. П. Толкачев [30, с. 84—90, табл. 15—28].

Однако основной причиной ошибок при использовании удельных показателей все же не в линейном характере зависимости себестоимости от определяющего параметра.

Мы уже упоминали о том, что в судах, в аппараты представляют собой сложные инженерные сооружения, сложные системы, состоящие из множества подсистем. Естественно, что удельные показатели се-



Рис. 3.3. Показывает пропорционального пересчета себестоимости судна. D — водоизмещение; C — себестоимость; D₁ — водоизмещение прототипа; D₂ — водоизмещение проекта; C₁ — себестоимость прототипа; C₂ — себестоимость проекта; Δ — ошибка пересчета себестоимости; Δ₁ — ошибка при определении себестоимости.

стоимости различных подсистем весьма различны. Одна тонна водосистемы «шарпус» значительно дешевле одной тонны подсистемы «авангазисное оборудование и связи». Да и удельные стоимости самих водосистем в зависимости от того, из какого материала, на какой элементной базе они выполнены, колеблются в очень широких пределах. Поэтому при изменении структуры водозмещения, т. е. доли каждой подсистемы в нагрузке масс и изменении технико-экономических решений, на которых выполнены важнейшие водосистемы, стоимость одной тонны водозмещения или дебарта резко меняется. Сказанному определяется допустимая область определения себестоимости по удельному показателю стоимости одной тонны. Применение этого метода допустимо лишь для одинаковых по техническим решениям судов и аппаратов, незначительно отличающихся по водозмещению. В остальных случаях использование этого метода может привести к серьезным ошибкам. Все сказанное о показателе себестоимости одной тонны можно с таким же успехом отнести к себестоимости единицы мощности и т. д.

Меньшую ошибку в расчетах обеспечивает так называемый балльный метод определения себестоимости. Строгого математического обоснования балльного метода не имеет, но, как будет показано ниже, баллы могут быть определены с помощью регрессионного анализа, и вследствие этого сам балльный метод определения себестоимости может рассматриваться как своеобразная экономическая модель, которая в идеальном случае должна совпадать со статистической моделью.

В основе балльного метода лежит предварительное оценивание проектируемого объекта по нескольким важнейшим технико-эксплуатационным элементам.

Такими элементами могут быть: для бурового судна — глубина моря, из которой возможно проведение буровых работ и предельная глубина бурения, автономность, водозмещение и т. д.; для подводного аппарата — водозмещение, предельная глубина погружения, мощность энергетической установки и т. д. В наилучшем варианте каждый элемент характеризует одну определяющую подсистему проектируемого объекта. Каждому технико-эксплуатационному элементу, в зависимости от его значения, присваивается определенный балл. Зависимость балла от значения технико-эксплуатационного элемента определяется экспертным путем. Далее баллы суммируем, а произведение суммы баллов на некоторый коэффициент определяет себестоимость. Таким образом, выражение для себестоимости, определенной по балльному методу:

$$C = c_0 \sum_{i=1}^n B_i(x_i), \quad (3.18)$$

где c_0 — удельная себестоимость одного балла; B_i — балл, соответствующий данному значению технико-эксплуатационного

элемента; x_i — значение i -го технико-эксплуатационного элемента.

Нетрудно видеть, что если зависимость $B_i(x_i)$ для всех i линейна относительно x_i , то и выражение (3.18) представляет собой линейную форму и может рассматриваться как линейная модель себестоимости, выраженной через технико-эксплуатационные элементы.

Определенное удобство балльного метода заключается в том, что он не требует обязательно количественной оценки для технико-экономического элемента или параметра технического решения. Так, в необходимых случаях баллы могут иметь лишь несколько дискретных значений. Например для бурового судна, балл, характеризующий способ бурения, может иметь всего два значения: одно — для бурения разборной колонной, другое — для шланго-кабельного.

Система балльных оценок решает две задачи: учитывает масштаб влияния технико-эксплуатационных элементов, т. е. определяет вклад каждого из них в себестоимость проектируемого объекта, и характеризует, как изменится этот вклад с ростом значения самого элемента.

По сути, что точность определения себестоимости по балльному методу непосредственно связана с точностью задания зависимостей $B_i(x_i)$. Поскольку баллы определяются экспертным путем, то качество задания зависит от квалификации экспертов и сложности задачи, в частности, от количества согласных в выражении (3.18), что, в свою очередь, определяется сложностью проектируемого объекта.

Наиболее строго обоснованы статистические модели себестоимости, содержащие корреляционные зависимости себестоимости от некоторого набора определяющих параметров. Рассмотрим основную идею этого метода. Обычно в науке мы имеем дело с так называемыми функциональными зависимостями, которые чаще всего описываются аналитическими функциями. Такие зависимости предполагают, что каждому значению определяющего параметра (аргумента) соответствует определенное значение (или несколько значений, если функция многозначна) исследуемой величины — функции:

$$y = f(x). \quad (3.19)$$

Такое описание реальных процессов — некоторая абстракция. В действительности на исследуемую величину помимо основного фактора, рассматриваемого в качестве аргумента, влияет множество второстепенных факторов. В результате реальные значения исследуемой величины в той или иной степени отклоняются от значений аналитической функции, соответствующих тем же значениям аргумента. Это в полной мере относится к задачам ценообразования, где на цену или себесто-

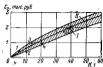


Рис. 3.4. Зависимость средних стоимостей эксплуатационных затрат C_p от среднего значения аппарата M .

1 — возможная зависимость; 2 — по аналогичной зависимости; 3 — по формуле ГИС (рис. 3.5); 4 — по формуле ГИС; 5 — по формуле ГИС; 6 — по формуле ГИС; 7 — по формуле ГИС.

ной величины. Этот расход возможен для определения ожидаемого значения собственности использовать аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Напомним читателю некоторые основные понятия этих научных дисциплин, необходимые для ясности дальнейшего изложения, следуя в основном Е. С. Венгцарь [12].

Случайной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем какое именно, заранее неизвестно. В нашем случае в качестве опыта выступает процесс образования собственности в конкретных условиях под влиянием определенного сочетания второстепенных факторов. Возможные значения случайной величины мы будем называть ее реализациями.

Каждое из возможных значений случайной величины (реализаций) может появиться с определенной вероятностью. Обычно вероятность определяют как количественную меру степени объективной возможности появления этого значения случайной величины в результате опыта. Если появление данного значения невозможно, то ему присписывается вероятность 0. Если появление определенного значения случайной величины достоверно, то ему присписывается вероятность 1.

Случайная величина полностью описана с вероятностной точки зрения, если задан закон ее распределения, т. е. соотношение, устанавливающее связь между значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Простейшая форма задания закона распределения случайной величины — ряд распределения — таблица, в которой перечислены реализации и соответствующие им вероятности:

Реализация собственности	C_1	C_2	C_3	C_n
Вероятности	P_1	P_2	P_3	P_n

мость кроме основного определяющего фактора имеет множество второстепенных, скрупулезный учет которых в рамках модели не только крайне затруднителен, но и просто нецелесообразен. Пример аналогичной и реальной зависимости приведен на рис. 3.4.

В соответствии со сказанным целесообразнее рассматривать собственность как случайную величину, а каждое ее реальное значение в определенных конкретных условиях как реализацию этой случай-

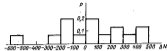


Рис. 3.5. Распределение отклонений средней стоимости аппаратуры ИИС от прямой регрессии $N=0,32$.

ной величины. Этот расход возможен для определения ожидаемого значения собственности использовать аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Неудобно видеть, что для непрерывных случайных величин ряд распределения построить нельзя. Для характеристики непрерывных случайных величин используют функцию распределения, устанавливающую вероятность того, что значение случайной величины окажется меньше некоторой текущей переменной:

$$F(x) = P(X < x). \quad (3.20)$$

Функцию распределения $F(x)$ иногда называют интегральным законом распределения. График функции распределения представляет собой график неубывающей функции (рис. 3.6), значения которой начинаются от 0 и доходят до 1, причем в отдельных точках могут иметь место скачки (разрывы).

Другая форма задания закона распределения непрерывных величин — плотность распределения. Под плотностью распределения понимается производная функция от интегральной функции $F(x)$:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Наиболее распространенный закон распределения непрерывных случайных величин — нормальный. Можно показать, что

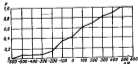


Рис. 3.6. Функция распределения отклонений от прямой регрессии $N=0,32$.

сумма достаточно большого числа независимых случайных величин, подчиненных любому закону, распределена по нормальному закону.

Большинство встречающихся в практике, в том числе и экономической, величин — трудоемкость, себестоимость и т. д. — могут быть представлены как суммы большого числа сравнительно небольших слагаемых. Колебания в значениях этих слагаемых вызваны действием своих факторов, которые во влияю на колебания значений остальных слагаемых, чем и определяется распределение данных величин по нормальному закону.

Нормальный закон характеризуется плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (3.21)$$

где μ_x — математическое ожидание и σ_x — дисперсия случайной величины — параметры нормального распределения.

В моделях ценообразования чаще всего нет необходимости характеризовать случайную величину полностью; оказывается достаточно указать только некоторые характеристики закона ее распределения, например, какое-то среднее значение, вокруг которого группируются ее реализации, характеристику степени разброса и т. д. Такие характеристики называются числовыми характеристиками случайной величины.

Из множества числовых характеристик случайной величины наиболее важны для нас две: математическое ожидание и дисперсия.

Математическим ожиданием случайной величины называют сумму произведений реализаций случайной величины на вероятности этих реализаций. Это определение справедливо для прерывных (дискретных) случайных величин, которые чаще всего встречаются в экономических задачах:

$$\mu_x = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (3.22)$$

где μ_x — математическое ожидание случайной величины; x_i — i -я реализация случайной величины; p_i — вероятность этой реализации.

Легко показать, что статистическое (т. е. вычисленное по опыту или наблюдениям) математическое ожидание совпадает со средним арифметическим значением случайной величины:

$$\mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} x_i \quad (3.23)$$

где μ_x^* — среднее арифметическое случайной величины; n — общее число опытов для наблюдений; x_i — значение случайной величины в i -м опыте или наблюдении.

Поскольку статистическая вероятность появления величины обратно пропорциональна числу опытов или наблюдений и равна $\frac{1}{n}$, то статистическое математическое ожидание, вычисленное по формуле (3.22) и среднее арифметическое, вычисленное по формуле (3.23), совпадают.

Таким образом, математическое ожидание геометрически характеризует центр распределения реализаций случайной величины.

Вторая важная числовая характеристика случайной величины, дисперсия, связана с разбросом реализаций относительно центра — математического ожидания:

$$D = \sum_{i=1}^n p_i (x_i - \mu_x)^2 = \sum_{i=1}^n p_i x_i^2 - 2\mu_x \sum_{i=1}^n p_i x_i + \mu_x^2 \sum_{i=1}^n p_i$$

а так как

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1; \quad \sum_{i=1}^n p_i x_i = \mu_x$$

то

$$D = \sum_{i=1}^n p_i x_i^2 - 2\mu_x^2 + \mu_x^2 = \sum_{i=1}^n p_i x_i^2 - \mu_x^2 \quad (3.24)$$

а статистическая дисперсия

$$D^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\mu_x^*)^2 \quad (3.25)$$

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины. Для характеристики разброса удобнее пользоваться величиной, размерность которой совпадает с размерностью самой случайной величины. Эту характеристику называют среднеквадратичным отклонением и определяют как

$$\sigma_x = \sqrt{D} = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i x_i^2 - \mu_x^2} \quad (3.26)$$

Следует отметить, что для построения закона распределения случайной величины нужно располагать очень значительным статистическим материалом — сотнями наблюдений. В практике определения себестоимости средств освоения Мир-

ного океана этого обычно нет. В лучшем случае экономист располагает двумя-тремя десятками данных по построенным или спроектированным и имеющим адекватно калькуляцию объектам. Поэтому статистические характеристики случайной величины, получаемые по совокупности выходящих данных, так как ее называют, статистической выборке, являются лишь оценками истинных числовых характеристик, их приближенными значениями. Поэтому к выборочным оценкам математического ожидания и дисперсии предъявляются некоторые требования, обеспечивающие их достоверность.

Оценки числовых характеристик случайных величин должны быть состоятельными, несмещенными и эффективными.

Оценка называется состоятельной, если при увеличении числа наблюдений или статистических данных она приближается (как говорит, складывается по вероятности) к истинному значению числовой характеристики.

Оценка называется несмещенной, если математическое ожидание этой оценки (а она тоже случайна) равно ее значению:

$$\mu(\bar{a}) = a, \quad (3.27)$$

где \bar{a} — выборочная оценка этой характеристики; a — истинное значение числовой характеристики.

Если несмещенная оценка обладает наименьшим разбросом (дисперсией) по сравнению с остальными, то она называется эффективной.

Можно показать, что среднее арифметическое является состоятельной и несмещенной оценкой математического ожидания, а в широком классе экономических задач эта оценка эффективна.

Статистическая дисперсия D^* — состоятельная оценка истинной дисперсии D , однако оценка не является несмещенной. Такое же величина

$$D^* = \frac{\sigma}{n-1}.$$

Стоит отметить, что при больших n поправочный коэффициент $\frac{n}{n-1}$ теряет смысл вследствие его близости к единице.

Мы упоминали выше, что в реальных задачах значения зависимой величины группируются с некоторыми отклонениями около «основной» функции, отражающей влияние определяющего параметра-аргумента. Поскольку характер такой зависимости заранее неизвестен, а зачастую и выбор определяющего параметра несет характер рабочей гипотезы, то в процессе построения всяких зависимостей, построения модели себестоимости, оказывается необходимым решить две задачи: вы-

брать определяющий параметр и доказать правомочность этого выбора; определить характер зависимости между определяющим параметром и себестоимостью, т. е. найти функцию, описывающую эту зависимость, и определить параметры этой функции.

Выбор определяющего параметра лежит вне математической модели, рабоче гипотезы формируются, исходя из технико-технологических и экономических соображений. Чаще всего в качестве определяющего параметра принимают либо массу всего проектируемого объекта, либо массы отдельных его подсистем. Выбор массовой измерителя в качестве определяющего параметра легко объяснить: масса объекта как подсистемы характеризует расход материалов, с увеличением массы, вообще говоря, растет трудоемкость и стандартизм изделия. Не менее важным мотивом в пользу выбора массы в качестве определяющего параметра служит и сравнительная доступность информации. Практически все данные по массам могут быть получены из загрузок, а в случае ее отсутствия — с помощью решения уравнения водонизменения и разработки ориентировочной загрузки.

Однако не только масса подсистем или конструкций может служить определяющим параметром. В ряде случаев могут использоваться мощностные характеристики и некоторые другие.

Выдвинутые по экономическим и техническим соображениям определяющие параметры, как упоминалось выше, — лишь рабочие гипотезы, нуждающиеся в проверке и доказательстве правотности сделанного выбора. С этой целью используется величина, называемая коэффициентом корреляции и характеризующая тесноту связи между двумя случайными величинами. Оговорим, что в силу сделанного ранее допущения себестоимость рассматривается как случайная величина, а значения аргумента, ее определяющего, можно и целесообразно без ущерба для строгости подхода и результатов также рассматривать как случайные.

Коэффициент корреляции определяется выражением

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_i - \mu_x)(y_j - \mu_y) p(x_i, y_j)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.28)$$

где x_i — i -я реализация случайной величины x ; y_j — реализация случайной величины y ; μ_x — математическое ожидание случайной величины x ; μ_y — математическое ожидание случайной величины y ; $p(x_i, y_j)$ — вероятность того, что случайная величина x примет значение x_i , а y_j значение y_j ; σ_x, σ_y — среднеквадратичные отклонения случайных величин x и y соответственно.

Коэффициент корреляции для независимых случайных величин равен нулю. Действительно, если величинам x и y независимы, то

$$p(x_i, y_j) = p(x_i) p(y_j)$$

и тогда с учетом того, что

$$\sum_{j=1}^n p(y_j) x_i = \mu_y \sum_{j=1}^n p(y_j) = \mu_y;$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \mu_x)(y_j - \mu_y) p(x_i, y_j) =$$

$$= \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) p(x_i) \sum_{j=1}^n (y_j - \mu_y) p(y_j) =$$

$$= \sum_{i=1}^n p(x_i) (x_i - \mu_x) \left[\sum_{j=1}^n p(y_j) y_j - \mu_y \sum_{j=1}^n p(y_j) \right] = 0$$

$$r_{xy} = 0.$$

Таким образом, отличие коэффициента корреляции от нуля свидетельствует о том, что между двумя случайными величинами существует определенная взаимосвязь. Можно с известными оговорками сделать и более сильное предположение: чем выше коэффициент корреляции, тем теснее связь между величинами, тем больше выражена зависимость между ними, тем ближе она к функциональной.

Потому величина r_{xy} представляет собой средство проверки рабочих гипотез о характере параметра, определяющего себестоимость: чем выше значение коэффициента корреляции между себестоимостью и выбранным определяющим параметром, тем ближе к истине рабочая гипотеза. К сожалению, здесь следует сделать довольно существенную оговорку. С помощью методов математической статистики может быть установлено наличие зависимости, измерена теснота связи, но не может быть вскрыт механизм и причинный характер этой зависимости. Наличие высокого коэффициента корреляции — неизбежно следствие прямой причинной связи. Гуд и Маккол [74] приводят тому анекдотический пример. Для 73-летнего периода, относящегося к XIX в., коэффициент корреляции между рождаемостью и количеством звестов в Стокгольме превышал 0,9, что доказывало безусловное наличие тесной связи между ними. Разумеется, никто всерьез не стал бы искать в этом подтверждение старой сказки о том, что детей приносит звесты. Причиной высокой корреляции были в яном. И количество звестов, и уровень рождаемости были непосредственно связаны с масштабом города, с его экономическим благосостоянием. Эта зависимость от одних и тех же факторов и определяла высокий коэффициент корреляции.

Случаи сложного характера встречаются и при технико-экономическом обосновании средств освоения Мирового океана. В частности, отмечается, что для дизелей с близкими числами оборотов коэффициент корреляции между массой дизеля и частым расходом топлива достаточно высок. Причина этого очевидна: оба эти показателя, масса и расход топлива, линейно зависят от мощности.

Надо также указать, что коэффициент корреляции характеризует не всякие зависимости, а только те, у которых основная зависимость линейна, т. е. описывается прямой линией, вокруг которой с некоторым разбросом группируются статистические данные (реализации):

$$y = ax + b. \quad (3.29)$$

Легко видеть, что если зависимость последующего величина от аргумента носит в точности линейный характер, т. е. все точки лежат на прямой без разброса, то коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = 1$$

$$\begin{aligned} r_{xy} &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \mu_x)(y_j - \mu_y) p(x_i, y_j)}{\sigma_x \sigma_y} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) (ax_i + b - a\mu_x - b) p(x_i)}{\sigma_x \sigma_y} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n p(x_i) (x_i - \mu_x)^2 \cdot a}{\sigma_x^2 \sigma_y} = \frac{a \sigma_x^2}{\sigma_y^2} = 1. \end{aligned}$$

При $a < 0$, $r_{xy} = -1$ корреляция отрицательна: с возрастанием аргумента (определяющего параметра) функция убывает по строгой линейной зависимости.

Таким образом, $-1 \leq r_{xy} \leq 1$. Если между величинами существует тесная линейная связь, коэффициент корреляции близок к 1 (рис. 3.7), если связь отсутствует или очень слаба, коэффициент корреляции близок к нулю (рис. 3.8).

Вследствие всего сказанного, первым из названных задач — выбор определяющего себестоимость параметра и доказательство правомерности этого выбора — решается разумным сопоставлением качественного (смыслового) анализа и определения коэффициентов корреляции между себестоимостью и возможными вариантами определяющих параметров.

Решение второй задачи — построение зависимости себестоимости от определяющего параметра также связано с вероятностной трактовкой. Поскольку себестоимость рассматривается нами как случайная величина, зависящая от некоторого

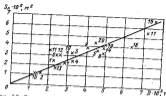


Рис. 3.7. Зависимость количества лабораторий НИС от продолжительности:

1 — «Академик И»; 2 — «Киев»; Галица; 3 — «Академик»; 4 — «Великий»; 5 — «Академик»; 6 — «Академик»; 7 — «Академик»; 8 — «Академик»; 9 — «Академик»; 10 — «Академик»; 11 — «Академик»; 12 — «Академик»; 13 — «Академик»; 14 — «Академик»; 15 — «Академик»; 16 — «Академик»; 17 — «Академик»; 18 — «Академик»; 19 — «Академик».

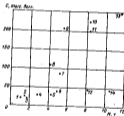


Рис. 3.8. Зависимость стоимости малых расходов от их числа.

1 — «Средняя»; 2 — «Средняя»; 3 — «Средняя»; 4 — «Средняя»; 5 — «Средняя»; 6 — «Средняя»; 7 — «Средняя»; 8 — «Средняя»; 9 — «Средняя»; 10 — «Средняя».

аргумента, то целесообразно для описания этой зависимости искать такую функцию, чтобы распределение относительно ее имело статистических данных было бы наиболее нормальным. Обозначим функцию, которой описывается зависимость от определяющего параметра, через $\varphi(x)$. Распределение отклонений от нее по различным причинам должно описываться нормальным законом.

Вероятность каждого отклонения $y_i - \varphi(x_i)$ будет пропорциональна

$$p(y_i - \varphi(x_i)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(y_i - \varphi(x_i))^2}{2\sigma^2}}$$

где $p(y_i - \varphi(x_i))$ — вероятность того, что $y_i - \varphi(x_i)$ при условии, что $x = x_i$, σ — среднеквадратичное отклонение.

Вероятность того, что отклонения всех точек в имеющемся статистическом материале будут равны $y_i - \varphi(x_i)$ для всех $i = 1, 2, \dots, n$, будет пропорциональна величине

$$u = e^{-\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \varphi(x_i))^2}{2\sigma^2}}$$

Для обеспечения наибольшей вероятности распределения статистических данных вокруг функции $\varphi(x)$ необходимо, чтобы $\varphi(x_i)$ были такими, чтобы величина и достигала максимума. А для этого, в свою очередь, нужно, чтобы

$$V = \sum_{i=1}^n (y_i - \varphi(x_i))^2 = \min. \quad (3.30)$$

Этим обосновывается с вероятностных позиций принцип наименьших квадратов, предложенный Лапласом.

Функция $y = \varphi(x)$, удовлетворяющая условию (3.30), называется функцией регрессии y по x , построенной по способу наименьших квадратов. Определение параметров функции регрессии $\varphi(x)$ проводится исходя из условия (3.30).

Действительно, если характер функции $\varphi(x)$ определяется параметрами a, b , то необходимые условия минимума функции V :

$$V = \sum_{i=1}^n (y_i - \varphi(x_i, a, b, \dots))^2 = \min_{a, b}$$

могут быть записаны

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial a} &= \sum_{i=1}^n (y_i - \varphi(x_i, a, b, \dots)) \left[\frac{\partial \varphi(x_i, a, b, \dots)}{\partial a} \right]_i = 0; \\ \frac{\partial V}{\partial b} &= \sum_{i=1}^n (y_i - \varphi(x_i, a, b, \dots)) \left[\frac{\partial \varphi(x_i, a, b, \dots)}{\partial b} \right]_i = 0; \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

т.е.

$$\frac{\partial \varphi(\dots)}{\partial a}, \quad \frac{\partial \varphi(\dots)}{\partial b}$$

— значения частных производных от функции φ для $x = x_i$ по параметрам a, b, \dots соответственно.

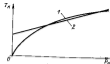


Рис. 39. Характер зависимости коэффициента вариации от его массы: P_0

1 — функция регрессии; 2 — действительная зависимость.

функции, приводимые к линейным. Объясняется это рядом обстоятельств. Класс, к которому должна принадлежать функция регрессии (линейная, степенная, показательная и т. п.), выбирается экономистом, исходя по-прежнему из физических и экономических соображений. Поэтому, если нет явных мотивов отдать предпочтение какой-либо определенной зависимости, выбирают наиболее простую — линейную.

Во многих случаях оказывается возможным свести нелинейную зависимость к линейной. Действительно, если $\varphi(x) = -ax^b + b$, то $x = x^b$ рассматривается в качестве аргумента, и зависимость $\varphi(x) = ax + b$ линейна.

Естественно задаться вопросом, ведет ли разность линеаризации к большим ошибкам. Опыт показывает, что в большинстве практических случаев линеаризация допустима. Попробим это на примере (рис. 39).

Трудность построения кривой научно-исследовательского судна приблизительно зависит от его массы P в степени $1/3$ (кривая 1):

$$T = kP^{1/3}.$$

Замена этой зависимости линейной $T \approx aP + b$ (кривая 2) дает в интервале (P_0, P_1) , практически важном для расчета, достаточно удовлетворительную точность.

Поскольку в подавляющем большинстве случаев зависимость наиболее важных составляющих себестоимости от массовых измерителей имеет вид

$$c_i = aP^m + b, \quad (3.32)$$

где $0 < m \leq 1$, замена более сложных зависимостей линейными оказывается допустимой.

Рассмотрим процедуру определения параметров линейной функции регрессии способом наименьших квадратов.

Пусть в собранном статистическом материале имеется n реализаций, т. е. n пар значений аргумента x_i и соответствующих им значений функций y_i . Функция, которой будет описываться зависимость, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} y &= \varphi(x, a, b) = ax + b; \\ \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x=x_i} &= x_i; \quad \left(\frac{\partial y}{\partial b} \right)_{x=x_i} = 1. \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

Подставляя (3.33) в (3.31), получим:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)] x_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)] &= 0 \end{aligned} \right\}$$

или

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i y_i - a \sum_{i=1}^n x_i^2 - b \sum_{i=1}^n x_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i - b n &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.34)$$

Решая (3.34) относительно a и b , получим:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \\ b &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.35)$$

Выражение (3.35) может быть представлено в более простой форме. Разделив оба уравнения (3.34) на n :

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - a \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i &= 0; \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - a \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - b &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.36)$$

Проведем некоторые предварительные выкладки. Преобразуя формулу для статистической дисперсии (3.25), получим

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} = \sigma_x^2 + \mu_x^2. \quad (3.37)$$

Представим выражение в формуле (3.28) следующим образом:

$$\begin{aligned} r_{xy} \sigma_x \sigma_y &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \mu_x \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \\ &- \mu_y \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + \mu_x \mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \mu_x \mu_y + \mu_x \mu_y = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \mu_x \mu_y \end{aligned}$$

откуда

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} = r_{xy} \sigma_x \sigma_y + \mu_x \mu_y \quad (3.35)$$

Подставляя (3.37) и (3.38) в (3.35), получим

$$\begin{aligned} r_{xy} \sigma_x \sigma_y + \mu_x \mu_y - a(\sigma_x^2 + \mu_x^2) - b\mu_x &= 0; \\ \mu_y - a\mu_x - b &= 0, \end{aligned}$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} (a^2 + \mu_x^2)a + \mu_x b - r_{xy} \sigma_x \sigma_y + \mu_x \mu_y \\ \mu_x a + b - \mu_y \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

Решая эту систему относительно a и b , можно получить:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{r_{xy} \sigma_x \sigma_y + \mu_x \mu_y - \mu_x \mu_y}{\sigma_x^2} = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}; \\ b &= \mu_y - r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \mu_x \end{aligned} \right\} \quad (3.40)$$

а само уравнение прямой регрессии может быть записано

$$y = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} x + \mu_y - r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \mu_x \quad (3.41)$$

или

$$y - \mu_y = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \mu_x).$$

Иногда уравнение прямой регрессии записывают в виде

$$\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} = r_{xy} \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}.$$

Соотношения (3.41) позволяют получить важную трактовку коэффициента линейной корреляции.

Определим дисперсию исследуемой случайной величины относительно прямой регрессии:

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i)]^2,$$

где σ_0^2 — дисперсия относительно функции регрессии (остаточная дисперсия).

$$y_i - \varphi(x_i) = y_i - \left[\mu_y + r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - \mu_x) \right];$$

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[(y_i - \mu_y) - r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - \mu_x) \right]^2 = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}{n} + r_{xy}^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \\ &- 2r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)(x_i - \mu_x)}{n}. \end{aligned}$$

С учетом (3.25) и (3.28) получим

$$\sigma_0^2 = \sigma_y^2 + r_{xy}^2 \sigma_x^2 - 2r_{xy}^2 \sigma_x^2 = \sigma_y^2 (1 - r_{xy}^2).$$

откуда

$$r_{xy} = \pm \sqrt{1 - \frac{\sigma_0^2}{\sigma_y^2}}. \quad (3.42)$$

Иными словами, тем меньше разброс имеющихся данных относительно прямой регрессии по сравнению с разбросом исследуемой величины относительно ее математического ожидания, или, что то же, чем лучше прямая регрессия описывает реальную зависимость, тем выше коэффициент корреляции, тем ближе его значение к единице.

Выше нами была рассмотрена пара корреляции, в которой устанавливалась зависимость исследуемой величины от одного аргумента. Все сказанное может быть распространено на функцию нескольких переменных, т. е. на те случаи, когда себестоимость зависит не от одного, а от нескольких определяющих параметров.

В этом случае зависимость записывается в виде

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k, a_1, a_2, \dots, a_k, b) = \\ = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k + b, \quad (3.43)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k — определяющие параметры; a_1, a_2, \dots, a_k, b — коэффициенты уравнения регрессии.

Определение коэффициентов a_1, \dots, a_k, b также проводится по способу наименьших квадратов:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, a_1, a_2, \dots, a_k, b)]^2 = \\ = \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n [y_i - a_1 x_{i1} - a_2 x_{i2} - \dots - a_k x_{ik} - b]^2 = 0; \\ j = 1, 2, \dots, k; \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n [y_i - a_1 x_{i1} - a_2 x_{i2} - \dots - a_k x_{ik} - b]^2 = 0, \\ j = 1, 2, \dots, k. \end{aligned} \right\} \quad (3.44)$$

В системе (3.44) принята двуиндексная индексация аргументов x_{ij} . Первый индекс i соответствует порядковому номеру аргумента, второй j — номеру наблюдения в статистическом материале.

Уравнения (3.44) могут быть приведены к системе так называемых нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i1} + \dots + a_1 \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_{ik} x_{i1} + \\ + b \sum_{i=1}^n x_{i1} = \sum_{i=1}^n y_i x_{i1}; \quad j = 1, 2, \dots, k; \\ a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_k x_{ik} + b = y_i. \end{aligned} \right\} \quad (3.45)$$

Здесь μ_j — по-прежнему статистическое математическое ожидание аргумента x_j .

В системе (3.45) уравнений столько же, сколько неизвестных, и она всегда может быть решена относительно неизвестных коэффициентов a_j и b .

Для характеристики тесноты связи между исследуемой величиной и определяющими параметрами служит коэффициент множественной корреляции.

При зависимости исследуемой величины от двух определяющих параметров коэффициент множественной корреляции определяется по формуле

$$r_{y, x_1, x_2} = \sqrt{\frac{r_{y, x_1}^2 + r_{y, x_2}^2 - 2r_{y, x_1} r_{y, x_2} r_{x_1, x_2}}{1 - r_{x_1, x_2}^2}}. \quad (3.46)$$

Здесь r_{y, x_1, x_2} — коэффициент множественной корреляции между исследуемой величиной y и определяющими параметрами x_1 и x_2 ; r_{y, x_1} — коэффициент парной корреляции между исследуемой величиной y и определяющим параметром x_1 ; r_{y, x_2} — коэффициент парной корреляции между исследуемой величиной y и определяющим параметром x_2 ; r_{x_1, x_2} — коэффициент парной корреляции между определяющими параметрами x_1 и x_2 .

Однако когда число определяющих параметров больше двух, коэффициент множественной корреляции определяется по более простой формуле (3.42).

Стоит отметить, что выражение (3.42) используется для измерения тесноты связи и при нелинейной зависимости исследуемой величины от определяющего параметра, но в этом

случае величина $\sqrt{1 - \frac{\sigma_y^2}{\sigma_y^2}}$ называется корреляционным отношением.

Необходимо напомнить, что все полученные в процессе обработки статистического материала величины, как их иногда называют, статистики, — коэффициенты уравнений регрессии, коэффициенты корреляции — суть лишь оценки, полученные на основании оценок исходного материала, а не истинные их значения.

Уже упоминалось, что вследствие ограниченности статистического материала, числовые характеристики случайных величин и их связи между собой случайны. Поэтому нужно оценить вероятность того, что полученная оценка лежит в некоторой ϵ — окрестности истинного значения статистики:

$$p = p \{x - \epsilon \leq \hat{x} \leq x + \epsilon\}. \quad (3.47)$$

Эта вероятность p называется доверительной, а интервал $(x + \epsilon, x - \epsilon)$ — доверительным интервалом (здесь \hat{x} — оценка статистики; x — ее истинное значение).

Для коэффициентов корреляции проверяется значимость, т. е. проверяется гипотеза о том, что связь между определяющим параметром и исследуемой величиной действительно существует, или, что то же, истинный коэффициент корреляции

не равен нулю. Альтернативная гипотеза — связь есть, а полученная оценка коэффициента корреляции оказалась не равной нулю в результате случайного выброса. Под уровнем значимости понимается вероятность того, что гипотеза о наличии связи неаприори. Пятипроцентный уровень значимости соответствует положению, когда вероятность отсутствия связи $P(r_{xy} = 0) = 0,05$.

Подробнее изложены процедуры определения достоверных вероятностей и проверки гипотез можно найти в курсах математической статистики [55 и 71].

Важно отметить, что в качестве аргументов не обязательно должны выступать сами определяемые параметры, а могут быть использованы некоторые функции этих параметров, например широко распространенный в судостроении показатель — подвожмание в степени $2/3$ и т. п.

В этом случае (для одного определяющего параметра) функция регрессии ищется в формуле

$$\varphi(x) = a\varphi(x) + b. \quad (3.48)$$

Здесь $\varphi(x)$ — элементарная функция определяющего параметра x , например x^m или e^{kx} , где v задано и т. п., или в форме

$$\varphi(x) = \sum_{j=1}^k a_j \varphi(x_j) + b \quad (3.49)$$

для нескольких определяющих параметров. Во всех этих случаях функция $\varphi(x)$ линейна относительно подлежащих определению коэффициентов a_j и b .

Функции $\varphi(x_j)$ могут быть определены предварительно, и построение уравнения регрессии от определяющих параметров выполняется в соответствии с методом, рассмотренным выше.

Задача заметно усложняется, когда при построении уравнения регрессии определению подлежат параметр, обуславливающий нелинейность зависимости. Рассмотрим определение неизвестных параметров a и b в выражении

$$y = q(x, a, b) = ae^{bx}. \quad (3.50)$$

Обычно для таких случаев рекомендуется использование способа наименьших квадратов после логарифмирования зависимости (3.50):

$$\ln y = \ln a + bx. \quad (3.51)$$

Действительно, уравнение (3.51) линейно относительно коэффициентов $\ln a$ и b , и они определяются способом, описанным выше, после чего вычисляется линеаризованный коэффициент a . Однако такой подход недостаточно строг.

Величины a и b , доставляющие минимум функции

$$V = \min_{a,b} \left\{ \sum_{i=1}^n (\ln y_i - \ln a - bx_i)^2 \right\},$$

в общем случае могут не совпадать с a и b , доставляющими минимум другой функции

$$V = \min_{a,b} \left\{ \sum_{i=1}^n (y_i - ae^{bx_i})^2 \right\}.$$

Поэтому отыскание параметров регрессии лучше выполнять так, как это рекомендовано в [12], а именно: задать некоторым набором значений a и b , построить для них семейство кривых (рис. 3.16). Та пара (a, b) , которая обеспечит наименьшее значение V , и принимается в качестве коэффициентов уравнения регрессии.

Построение регрессионной модели для себестоимости судна или подводного аппарата сложно. Себестоимость упомянутых объектов зависит от многих определяющих параметров. Поэтому перед экономистом стоит выбор между альтернативными вариантами: либо строить одну общую модель, учитывая влияние всех определяющих факторов, либо разбить себестоимость на определяемые элементы, зависящие от одного-двух параметров, и искать для каждого из этих элементов самостоятельную зависимость. Во втором случае из полученных зависимостей формируется общее выражение для себестоимости, либо суммирование переносится непосредственно на стадии практических расчетов. Несмотря на распространенность первого подхода — построения одной модели, второй подход представляется более предпочтительным. Повятой, что с ростом числа определяющих параметров растет объем необходимого статистического материала. Если при однопараметрической зависимости, т. е. при двух неизвестных a и b , можно удовлетвориться $N_0 = 15$ реализациями, то для сохранения той же достоверности при увеличении числа параметров необходимый объем материала растет, как показывает опыт, примерно пропорционально выражению:

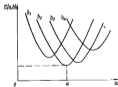


Рис. 3.16. Графическое нахождение параметров линейной зависимости.

$$N_k = N_0 \sqrt{\frac{k+1}{2}}$$

где k — число определяющих параметров; N_k — число наблюдений, необходимое при k -параметрах.

Известно, что количество проектов средств освоения Мирового океана одного типа (судов одного назначения, глубоководных аппаратов близкой архитектуры и назначения) сравнительно невелико. Поэтому сбор необходимого статистического материала для построения единой многопараметрической модели часто превращается в практически неразрешимую задачу.

К сожалению, не свисает положение и получившее широкое распространение использование блочных переменных. Идея этого приема сводится к следующему. В одну регрессионную модель объединяется статистический материал, относящийся к разным типам судов. Для того чтобы учесть различия в типах, вводится блочная переменная δ_i ($0; 1$), принимающая для одного типа судов значение 0, а для другого — значение 1. Таким образом, для линейной модели такая зависимость будет иметь вид

$$y = a_1x + a_2\delta + b. \quad (3.52)$$

По существу, уравнение (3.52) содержит две зависимости: — для судов первого типа

$$y = a_1x + b; \quad (3.52a)$$

— для судов второго типа

$$y = a_1x + (a_2 + b). \quad (3.52b)$$

Геометрическая интерпретация этих зависимостей — параллельные прямые (рис. 3.11). Выгоднее этого приема в том, что если для двух уравнений (3.52a) и (3.52b) необходимо определить четыре коэффициента регрессии, то для уравнения (3.52) достаточно только трех при том же статистическом материале. Однако выигрыш этот кажущийся и связан с жесковольными допущением о том, что уравнения (3.52a) и (3.52b) различаются только свободным членом, а угловой коэффициент a_1 последующей зависимости величина от определяющего параметра — один и тот же. В общем случае это может быть и не так, и в действительности чаще всего различия содержатся именно в угловых коэффициентах, отражающих наиболее важную сторону модели. Учет же названного обстоятельства лишает этот прием каких-либо преимуществ, кроме безусловного удобства записи.

Стоит отметить, что «блокомента-



Рис. 3.11. Графики уравнений регрессии с блочной переменной.

ные» модели при равной достоверности исходных материалов обеспечивают меньшую погрешность. Действительно, среднеквадратичная погрешность модели определяется выражением

$$\Delta = \frac{\sigma_0}{C} - \frac{1}{C} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2},$$

где C — себестоимость объекта; Δ — среднеквадратичная погрешность модели; σ_0 — среднеквадратичная ошибка по себестоимости объекта; σ_i — среднеквадратичная ошибка по себестоимости объекта; n — число элементов.

Представим

$$\sigma_i = C_1 \Delta_i,$$

где Δ_i — погрешность в определении себестоимости i -го элемента; $\frac{C_1}{C} = \alpha_i$ — доля i -го элемента в себестоимости всего объекта; c_i — себестоимость i -го элемента, получим

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \Delta_i^2}. \quad (3.53)$$

Поскольку все $\alpha_i < 1$, то среднеквадратичная погрешность в определении себестоимости всего объекта с увеличением числа элементов уменьшается. В простейшем случае, когда $\alpha = \frac{1}{n}$, среднеквадратичная погрешность суммы убывает обратно пропорционально \sqrt{n} .

Имеется немаловажное значение еще одно соображение против построения многопараметрических моделей. Экономист никогда не должен забывать о том, что любой математический аппарат, в том числе и способ наименьших квадратов, всегда формален. С его помощью можно построить функцию наилучшего приближения, но было бы чрезмерным нести в этом аппарате специального алгоритма проведения содержательного анализа, заменяющего интуитивно исследователя. Это очень важно потому, что большинство определяющих параметров, даже, казалось бы, независимых, в статистическом материале оказываются коррелированными. Действительно, из суднобольшого водоизмещения, а следовательно, взявшего большую массу корпуса, обычно устанавливают более дорогие средства связи и навигации, цена которых в действительности не должна зависеть от массы корпуса. Таких примеров можно привести много. Поэтому при построении многопараметрических статистических моделей часто оказывается, что коэффициенты урав-

нений регрессии, хотя и обеспечивают наилучшее приближение в области, где лежат данные по собираемому статистическому материалу, не отражают реального вклада в себестоимость каждого из определяющих параметров, а нередко и противоречат здравому смыслу.

И, наконец, последние «элементарные» модели более живучи. В ходе научно-технического прогресса используются новые технические решения и варьируются старые. При изменении типа энергетической установки, элементной базы радиоэлектроники и т. п. многопараметрическая модель себестоимости для всего объекта в целом устаревает полностью, а в «элементарных» — требуется замена только одной зависимости для того элемента, который и претерпел существенные изменения. Это, разумеется, намного проще.

Из сказанного очевидно, что второй способ — разбивка себестоимости на элементы и построение для каждого элемента сравнительно простой зависимости — оказывается предпочтительнее и, что очень важно, несравненно более обзорным и интерпретируемым.

Себестоимость судна или аппарата целесообразно разбить на составляющие, использовать одновременно и экономическую классификацию по калькуляционным статьям, и разделение проектируемого объекта по подсистемам. Элементы себестоимости представляются матрицей, где строки соответствуют подсистемам, столбцы — калькуляционным статьям. Такую модель себестоимости называют матричной. Приводим матричную модель себестоимости научно-исследовательского судна (табл. 3.3).

Приведенная матричная модель нуждается в некоторых пояснениях. Себестоимость материалов исчисляется по каждой подсистеме отдельно. В качестве определяющего параметра по статье «материалы и покупные полуфабрикаты» используются массовые измерители. В статье «работы верфи» учитываются ее структурой себестоимости, приведенной в табл. 3.1, включаются следующие калькуляционные статьи: заработан платя основных производственных рабочих; дополнительная заработная плата; расходы на содержание и эксплуатацию оборудования; основные и заводские косвенные расходы; расходы на подготовку производства и прочие прямые расходы.

Основой для определения этой величины служат технологическая трудоемкость по каждой подсистеме, определяемая по статистическому материалу. Исчисление затрат по этой статье производится по формуле

$$C_{0i} = C_{0i} T_i (1 + k_1 + k_2) (1 + k_3) \quad (3.54)$$

где C_{0i} — себестоимость работ верфи по i -й подсистеме; T_i — трудоемкость работ по этой подсистеме; C_{0i} — среднестатистическая тарифная ставка; k_1, k_2, k_3 — коэффициенты всех косвенных песто-

Таблица 3.3. Матричная модель себестоимости научно-исследовательского судна

Подсистема	Материалы и покупные полуфабрикаты и пр.	Работы верфи	Контрагентские поставки	Себестоимость работ
Корпус, окраска, окладка, шпарты, оборудование, дельные вещи	C_{01}	C_{12}	C_{13}	\sum_1^3
Судовые системы	C_{02}	C_{22}	C_{23}	\sum_2^3
Судовые устройства, пилотные механизмы	C_{03}	C_{32}	C_{33}	\sum_3^3
Энергетическая установка с трубопроводами	C_{04}	C_{42}	C_{43}	\sum_4^3
Электрооборудование	C_{05}	C_{52}	C_{53}	\sum_5^3
Навигационное и радиооборудование	C_{06}	C_{62}	C_{63}	\sum_6^3
Специальные системы и устройства	C_{07}	C_{72}	C_{73}	\sum_7^3
Специальные научные оборудование	C_{08}	C_{82}	C_{83}	\sum_8^3
Всего затрат	\sum_1^8	\sum_2^8	\sum_3^8	$\sum \sum$

вых и заводских расходов; k_3 — коэффициенты специальных расходов.

Стоимость материалов определяется по каждой подсистеме в зависимости от массы системы. В статье «контрагентские поставки» вводят стоимость поставляемого оборудования и монтажных работ, составляющих около 15% стоимости оборудования.

Таким образом, после разбивки себестоимости на элементы объектом статистического моделирования становится не вся себестоимость в целом, а элементы матрицы C_{ij} , причем для работ верфи моделируется не вся себестоимость, а трудоемкость; себестоимость исчисляется по формуле (3.54).

Величина $C = \sum \sum$ выражает производственную себестоимость объекта.

Полная себестоимость может быть получена в соответствии с ее структурой (см. табл. 3.1) по формуле

$$C_a = (1 + k_4) C, \quad (3.55)$$

где k_4 — коэффициент непроизводственных (коммерческих) расходов.

Суммы элементов матрицы по строкам представляют собой стоимость изготовления и монтажа подсистем, сумми по столбцам — калькуляционные статьи по объекту в целом.

Определение цены осуществляется в соответствии с формулой (3.5):

$$Ц = C_0(1 + r), \quad (3.56)$$

где r — рентабельность продукции.

Принята в модели разбивка на подсистемы диктуется определенными соображениями. Каждый из элементов модели зависит от «своего» определяющего параметра (или параметров). Работы верфи по подсистеме «корпус, окраска, изоляция, вентиляция...» зависят от массы конструкций как водоизмещения; стоимость работ верфи по подсистеме «судовые системы» — от массы систем; стоимость материалов по этой подсистеме — от массы систем и марки основного материала; контрактные поставки по статье «энергетическая установка» — от мощности главного двигателя и т. п. Стоит отметить, что ардоложенная модель, так же, как и перечень определяющих параметров, имеет ориентировочный характер.

Описанный способ определения себестоимости иногда называют агрегатным, в том смысле, что себестоимость или цена проектируемого объекта рассчитываются как суммы себестоимостей или цен агрегатов (подсистем).

В качестве примера приведем разработанную приблизительно по такому принципу Ю. Б. Мосутиным методику определения себестоимости научно-исследовательского судна [38].

Итоговая формула для полной себестоимости научно-исследовательского судна имеет вид

$$C_0 = a_1 D_k + a_2 N + a_3 P_k + a_4 P_{\text{ра}} + a_5, \quad (3.57)$$

где D_k — водоизмещение судна в порожнем рейсе, т; N — мощность энергетической установки, л. с., кВт; P_k — масса по разделу нагрузки «электрооборудование, навигационное и радиооборудование», т; $P_{\text{ра}}$ — масса по разделу нагрузки «навигационное и радиооборудование», т; a_1 ; a_2 ; a_3 ; a_4 ; a_5 — статистические коэффициенты, зависящие от особенностей судна; C_0 — полная себестоимость головного судна, тыс. руб.

Структура матричных моделей для иных типов судов, предназначенных для освоения Мирового океана, будет мало отличаться от приведенной. Несколько иначе выглядит модель для подводных аппаратов (табл. 3.4) и исследовательских подводных лодок.

Отличие структуры этой матричной модели от модели для надводных судов в основном заключается в следующем: расходы, связанные с изготовлением корпуса аппарата, разделены на две статьи — зависящий от глубины погружения прочный корпус и не зависящий от нее наружный. Прочный и наружный

Таблица 3.4. Матрица полной себестоимости глубоководного аппарата

Подсистема	Материалы и погрузка на верфи	Работа верфи	Контрактные поставки	Себестоимость подсистем
Прочный корпус и прочные конструкции	C_{11}	C_{12}	C_{13}	\sum_1
Наружный корпус	C_{21}	C_{22}	C_{23}	\sum_2
Источники энергии	C_{31}	C_{32}	C_{33}	\sum_3
Энергетическая установка и электрооборудование	C_{41}	C_{42}	C_{43}	\sum_4
Системы жизнеобеспечения	C_{51}	C_{52}	C_{53}	\sum_5
Устройства обороны	C_{61}	C_{62}	C_{63}	\sum_6
Навигационное оборудование и средства связи	C_{71}	C_{72}	C_{73}	\sum_7
Оборудование командной и системы жизнеобеспечения	C_{81}	C_{82}	C_{83}	\sum_8
Специальное и вспомогательное оборудование	C_{91}	C_{92}	C_{93}	\sum_9
Обеспечение жизни и дифферентовки	C_{01}	C_{02}	C_{03}	\sum_0
Элементы затрат	\sum_1^0	\sum_2^0	\sum_3^0	$\sum \sum$

корпуса чаще всего выполняются из различных материалов. Целим конструктивных материалов для них различны, различна удельная трудоемкость их обработки и сварки.

Выделение систем жизнеобеспечения в отдельную статью связано со значительной ее ролью в себестоимости подводного аппарата. Разделение на статьи «энергетическая установка» и «источники энергии» объясняется различием определяющих параметров: себестоимость двигательного-двигательного комплекса зависит от мощности, себестоимость источников энергии — от энергоёмкости.

Структура себестоимости глубоководного аппарата «Дель Джин» приведена в табл. 3.5.

Определение полной себестоимости и цены подводного аппарата выполняется так же, как и для надводного судна по формулам (3.55) и (3.56).

Таблица 3.5. Структура себестоимости подводного аппарата «Дель Диван»

Подсистема	Структура себестоимости	
	Стоимость, тыс. долл.	Процент от себестоимости
Прочный корпус	6,0	60,6
Наружные системы и приборы	0,6	6,1
Сеть и приборы	2,0	20,2
Двигательно-двухтактный комплекс	0,9	9,1
Источники энергии	0,4	4,0
Всего	9,9	100,0

По-видимому, аналогичный подход к определению себестоимости и цены подводных аппаратов имеет место и за рубежом. В частности, в [18] для определения стоимости сферических прочных корпусов приводится формула, имеющая в метрической системе вид

$$C = 3,9 \frac{ND^3}{\sigma_t}, \quad (3.58)$$

где C — стоимость прочного корпуса, млн. долл.; N — рабочая глубина погружения, м; D — средний диаметр прочного корпуса, м; σ_t — предел текучести материала, кг/см².

Интересно отметить, что в соответствии с формулой (3.58) стоимость прочных корпусов примерно пропорциональна их массе. Действительно, используя для грубой оценки формулу примерной зависимости толщины обшивки прочного корпуса от диаметра сферы и глубины, получим

$$t \approx k \frac{ND}{\sigma_t},$$

откуда масса полусферы прочного корпуса будет пропорциональна

$$P \approx \frac{\pi D^3 t}{2} \approx k_2 \frac{ND^3}{\sigma_t}$$

или

$$C \approx k_3 P,$$

Стоимость некоторых конструкционных материалов, применяемых для изготовления прочных корпусов подводных аппаратов, приводится в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Стоимость конструкционных материалов, применяемых для изготовления прочных корпусов подводных аппаратов

Тип и марка материала	Стоимость, долл./кг
Сталь HY-80	2,2
Сталь HY-100	2,5
Сталь HY-140	2,2—2,4
Сталь 12Ni	2,9—3,5
Сталь MAR-200	2,2—6,5
Сталь 18Ni	2,2—8,6
Титановые сплавы	22—29
Алюминиевый сплав 7079 T6	4,4—7,5
Спекциалит	4,4—11,0

Стоимость источников энергии определяется пропорциональным пересчетом, исходя из удельной стоимости 1 кВт·ч энергии. Данные по удельной стоимости энергии для источников различного типа приводятся в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Удельная стоимость энергии для различных источников

Тип аккумуляторной батареи	Удельная стоимость энергии, долл./кВт·ч	Жизнеспособность, часы
Свинцово-кислотная	65	500—2000
Никель-кадмиевая	150	500—1000
Серебряно-цинковая	460	100—250

Сказанное позволяет предложить следующую последовательность построения модели себестоимости и цены плавучих технических средств: 1) построение предварительной матричной модели и выбор определяющего параметра для каждого элемента матрицы; 2) сбор статистических данных и корректировка собранных данных для получения однородной выборки; 3) построение функций регрессии для каждого элемента и разработка алгоритма расчета производственной себестоимости, полной себестоимости и цены; 4) оценка работоспособности и точности методики и расчет контрольного примера.

Первым этапом — основной. Успешность формирования методики во многом зависит от того, насколько хорошо разработана предварительная матричная модель и выбраны определяющие параметры для каждого ее элемента. Поэтому обычно разрабатывается несколько вариантов разбивки на подсистемы и рассматриваются несколько определяющих параметров для каждого из элементов. Разбивка на подсистемы диктуется в ряде случаев не только физическими и экономическими соображениями, но и возможностью получения статистических материалов в соответствии с определенными вариантами разбивки.

Наибольшие трудности представляет второй этап. Основная часть статистического материала собирается по объектам, для которых разрабатывается методика. Однако, как упоминалось, статистический материал, по средствам освоения Мировой океана весьма ограничен, и оказываются полезными некоторые искусственные приемы расширения выборки. При разработке матричной модели себестоимости требования к статистическому материалу оказываются менее жесткими, чем при построении многопараметрической модели. Так, если для многопараметрической модели научно-исследовательского судна статистику необходимо подбирать именно по этим судам, то для определения себестоимости работ корфа по подсистеме «корпус» могут быть дополнительно включены в выборку

материалы по судам со сложными корпусами. Сказанное относится и к другим подсистемам.

Недостаточность статистического материала привела к появлению своеобразного метода его накопления. По интересующему типу объектов в объеме, достаточном для составления приближенной сметной калькуляции, разрабатываются проекты в основном аналитическими методами. Для каждого из проектов поэлементно калькулируются затраты. Результаты этих расчетов и складуют в некоторой мере искусственной статистической материал. Такой прием вполне правомерен, однако точность и достоверность такого материала заметно уступают данным отчетным и сметным калькуляций.

Процедура выполнения третьего этапа — построение функций регрессии, исчисление коэффициентов корреляции и разработка алгоритма определения полной себестоимости и цены — подробно изложены выше. Остается еще раз подчеркнуть, что аппарат математической статистики не открывает новых закономерностей, а лишь подтверждает или отвергает гипотезы и позволяет найти числовые коэффициенты для зависимостей, характер которых задан априори. Поэтому при разработке гипотез об определяющих параметрах и характере зависимости элементов себестоимости от этих параметров целесообразно использовать контрольные тесты, позволяющие проверить, в какой мере предлагаемая гипотеза удовлетворяет сложившимся представлениям.

В частности, при двух и более определяющих параметрах оказывается эффективной проверка значимости себестоимости при различных значениях определяющего параметра, например при равенстве определяющего параметра нулю.

Применяемые модели себестоимости можно с некоторыми оговорками разбить на два класса: аддитивные виды

$$C = a_1 R_1^n + a_2 R_2^n + \dots \quad (3.59)$$

где C — себестоимость; R_1, R_2, \dots — определяющие параметры; a_1, a_2, \dots и α_1, α_2 — статистические коэффициенты в мультипликативных видах

$$C = a R_1^{\alpha_1} R_2^{\alpha_2} \dots \quad (3.60)$$

Для того чтобы проверить гипотезу на соответствие сложившимся представлениям, достаточно задать вопросом, какова будет себестоимость, если один из определяющих параметров будет равен нулю.

Рассмотрим в качестве примера зависимость стоимости грузовых теплоходов типа «река—морь» от некоторых массовых измерителей, приводимой в [39, с. 117]:

$$C_2 = 1,83 P_2^{0,45} P_3^{0,20} P_4^{0,25} \quad (3.61)$$

где C_2 — строительная стоимость (цена) теплохода; P_2 — масса конструкций и оборудования в общесудовых системах; P_3 — масса главного двигателя и оборудования машинной отделения; P_4 — масса электрооборудования, радио- и радиолокационной аппаратуры.

Естественно задаться вопросом, какова будет себестоимость теплохода при стремлении к нулю массы P_2 . Нетрудно видеть, что в соответствии с формулой (3.61) себестоимость судна также будет стремиться к нулю, а это в действительности места иметь не будет. Аддитивная модель [формула (3.57)] эту проверку выдерживает. Таким образом, можно считать, что гипотеза, заложенная в основу зависимости (3.61), недостаточно фактична. Из сказанного можно не следует, что формула (3.61) вообще не верна, однако указанное противоречие с физическим смыслом сужает область ее применения и обуславливает ее использование с оговорками.

Конечно, аддитивные модели не всегда лучше мультипликативных: в ряде случаев именно мультипликативные модели выдерживают проверку, подобную проведенной. Поэтому в каждом отдельном случае необходимо выяснить, какой именно класс моделей удовлетворяет характеру описываемого процесса.

Четвертый этап — проверка работоспособности и оценки точности методики — разбивается на два подэтапа. Первый подэтап имеет характер качественной проверки. В нем рассматривается, насколько результаты применения методики отвечают накопленному опыту. Используем для иллюстрации ту же формулу (3.61).

Пусть на судне установлен двойной комплект электро-, навигационного и радиолокационного оборудования. Тогда определяющий параметр P_2 — масса по этой статье нагрузки — увеличится вдвое, и по формуле (3.61) стоимость судна увеличится пропорционально $(2)^{0,45} = 1,66$, т. е. примерно на 5%. С другой стороны, известно, что стоимость названного оборудования составляет от 15 до 30% стоимости судна, и установка двойного комплекта электрооборудования увеличивает стоимость судна не менее, чем на 12%.

Увеличение массы корпуса вдвое при той же энергетике и электрооборудовании приводит в соответствии с формулой (3.61) к увеличению стоимости примерно на 77%. В то же время известно, что доля стоимости корпусных конструкций с оборудованием в общесудовых системах не превышает 50%, и, следовательно, увеличение массы корпуса вдвое не может увеличивать стоимость судна более чем на 50%. Таким образом, не определяя среднеквадратичной погрешности модели, только путем качественной проверки можно установить, в каких случаях она будет давать завышенные значения себестоимости и цены и в каких случаях заниженные. В рассмотренном случае это связано с тем, что формула (3.61) справе-

лишь при определенных соотношениях между стоимостью корпуса, энергетика, электро- и радионавигационного оборудования, точнее, при соотношениях, измененных в статистическом материале, на котором была построена модель.

В том случае, когда разработанная модель поддерживает качественную проверку, выполняется второй подпункт — определяется ожидаемая погрешность и достоверность модели. Эта задача сводится к определению доверительного интервала при заданной доверительной вероятности. Иными словами, оцениваются пределы, за которые с некоторой заданной вероятностью не выйдет погрешность модели.

Погрешность модели определяется как

$$\Delta = \frac{C - C_m}{C},$$

где C — фактическое значение себестоимости; C_m — себестоимость того же объекта, определенная по модели.

Погрешность модели — случайная величина, закон распределения которой описывается основными числовыми характеристиками: статистическим математическим ожиданием μ_Δ и среднеквадратичной погрешностью σ_Δ :

$$\mu_\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i; \quad \sigma_\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \mu_\Delta)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 - n\mu_\Delta^2}{n-1}}, \quad (3.62)$$

где n — количество объектов в контрольной выборке (реализация); Δ_i — погрешность i -й реализации.

Для определения статистического математического ожидания погрешности в среднеквадратичной погрешности модели, должна использоваться контрольная выборка, т. е. совокупность данных по уже построенным или имеющим достоверные калькуляции объектам, не вошедшим в статистический материал, на основании которого построена модель. Оценивать точность модели на основании уже использованного материала нельзя — таким образом можно получить только достоверность аппроксимации, а не погрешность модели. К сожалению, чаще всего бывает так, что весь имеющийся материал используется для построения модели. В этом случае лучше всего в качестве контрольной выборки использовать не весь материал, а часть его, причем выравную случайным образом.

Естественно предположить, что все погрешности, полученные в результате проверки, образуют однородную выборку, или, как

говорят, принадлежат к одной генеральной совокупности, и распределены по нормальному закону.

Строго говоря, это допущение не очевидно. Действительно, серьезные основания полагать, что относительные ошибки должны быть одинаковы и при больших, и малых значениях определяющих параметров, у нас нет. Однако допущение о независимости погрешности от значений определяющего параметра — фундамент, на котором стоит сама классическая и использование модели.

Исходя из допущения о нормальном распределении погрешности Δ , можно показать, что соотношения

$$t = \frac{\Delta - \mu_\Delta}{\sigma_\Delta} \quad (3.63)$$

распределено по закону Стьюдента, предложенному в 1908 г. английским статистиком Госсетом:

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\nu}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\left(1+\frac{t^2}{\nu}\right)^{\frac{\nu+1}{2}}}, \quad (3.64)$$

где $f(t)$ — плотность распределения величины; $\Gamma(\quad)$ — гамма-функция; ν — число степеней свободы (в данном случае число степеней свободы определяется разностью между числом реализаций в контрольной выборке n и числом наложенных условий, таких, как, например, условие равенства истинного математического ожидания погрешности статистическому, полученным по данной выборке).

Распределение Стьюдента для $\nu \leq 30$ табулировано, таблиц имеются в большинстве курсов математической статистики [55, 71 и др.].

Для $\nu > 30$ распределение Стьюдента мало отличается от нормального.

Определение доверительного интервала проводится следующим образом: исчисляются по формулам (3.62) статистическое математическое ожидание и среднеквадратичная погрешность модели; исходя из заданной доверительной вероятности p и числа степеней свободы ν определяется по таблице распределения Стьюдента величина t и далее отыскивается доверительный интервал — пределы, в которых с вероятностью p будет находиться ожидаемая погрешность.

Повсем сказанное применимо. При проверке одной из моделей себестоимости на контрольной выборке из 10 реализаций были получены следующие погрешности:

$$\Delta_1 = 0,06; \Delta_2 = 0,11; \Delta_3 = 0,08; \Delta_4 = 0,03; \Delta_5 = -0,09;$$

$$\Delta_6 = -0,11; \Delta_7 = 0,06; \Delta_8 = -0,04; \Delta_9 = -0,07; \Delta_{10} = 0,01.$$

Требуется оценить предельную погрешность модели, соответствующую 90 %-ной доверительной вероятности.

Решение. По формулам (3.62) определяются: статистическое математическое ожидание погрешности

$$\mu_{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} = \frac{-0,03}{10} = -0,003$$

и среднеквадратичная погрешность

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 - 0,003^2}{10-1}} = \sqrt{\frac{0,0027}{9}} = 0,076.$$

Заданная доверительная вероятность $p = 0,9$, $1 - p = 0,1$ и 9 степеней свободы, по таблице распределения Стьюдента можно найти $t = 2,26$.

Далее определяется доверительный интервал:

$$-0,003 - 2,26 \cdot 0,076 \leq \Delta \leq -0,003 + 2,26 \cdot 0,076.$$

Таким образом, в 90 % случаев использования методики погрешность будет лежать в пределах:

$$-17,4\% \leq \Delta \leq 16,8\%$$

В промышленности установилось существование процесса динамики освоения производства, вследствие которого с увеличением количества единиц в серии снижается среднесерийная себестоимость единицы продукции по сравнению с головной.

Увеличение количества судов для подводных аппаратов в серии в первую очередь снижает трудоемкость их постройки. Помимо абсолютного снижения трудоемкости за счет роста навыков рабочих, увеличение количества судов в серии обуславливает применение прогрессивного оборудования, специальных приспособлений и оснастки, прогрессивных технологических процессов.

Кроме того, увеличение серии непосредственно ведет к экономии материалов благодаря более рациональному их использованию, сокращению сроков постройки, а вследствие этого к снижению специальных расходов, условно постоянной части накладных расходов и ускорению оборачиваемости оборотных средств.

При этом затраты по различным статьям калькуляции изменяются различно. Обычно в наибольшей степени снижаются трудоемкость и зависящая от нее стоимость собственных работ

верфи [см. формулу (3.54)], в наименьшей степени — стоимость контрагентских поставок и шефмонтажных работ (рис. 3.12).

В основе этого лежат следующие причины. Снижение трудоемкости объясняется факторами, описанными выше. Снижение себестоимости материалов вследствие более рационального их использования ограничено. Оборудование, поступающее по контрагентским поставкам, изготавливается, как правило, для нескольких проектов, серийно, большими, чем строится влаучие технические средства. Поэтому на большую часть проектов поступает в основном освоения продукция, и какова бы ни была динамика освоения у предприятия-изготовителя, снижение себестоимости оборудования, устанавливаемого контрагентами, чаще всего, хотя далеко не всегда, невелико. Обычно для описания процесса снижения себестоимости вследствие освоения пользуются зависимостью для себестоимости всего судна или аппарата в целом:

$$W(i) = \frac{C(i)}{C(1)} \quad (3.65)$$

Здесь $W(i)$ — функция динамики освоения; i — порядковый номер объекта в серии; $C(i)$ — себестоимость i -го судна в серии.

Это соотношение может быть представлено в виде, позволяющем прогнозировать ее характер и зависимость от структуры себестоимости:

$$W(i) = \omega_1 W_1(i) + \omega_2 W_2(i) + \omega_3 W_3(i) + \omega_4 W_4(i). \quad (3.66)$$

Здесь $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ — доли затрат на материалы, стоимость собственных работ верфи, контрагентских поставок и прочих прямых расходов в структуре производственной себестоимости соответственно; $W_1(i); W_2(i); W_3(i); W_4(i)$ — функции динамики освоения для названных элементов себестоимости.

Характер функции динамики освоения зависит от класса, к которому принадлежит проектируемый объект. От структуры его себестоимости, т. е. от величины ω_1 доли контрагентских поставок и шефмонтажных работ, мало меняющихся от судна к судну, зависит скорость относительного снижения себестоимости. Чем меньше доля контрагентских поставок, тем больше доля собственных работ в себестоимости, тем интенсивнее она убывает от судна к судну. Характер функции динамики освоения меняется и с ростом лодозамещения, в связи с уменьшением доли контрагентских поставок в себестоимости ω_2 . Однако это



Рис. 3.12. Характер зависимости освоения по статьям калькуляции:

1 — контрагентские поставки и шефмонтажные работы; 2 — материалы; 3 — заработная плата и прочие прямые расходы; 4 — прочие прямые расходы.

изменение характера функции освоения невелико и практически лежит в пределах точности аппроксимации (рис. 3.13).

Для описания динамики освоения используются различные классы функций.

1. Логарифмическая функция

$$\mathbb{W}(i) = 1 - a \lg i.$$

2. Экспонента $\mathbb{W}(i) = e^{-ai}$, или, что то же, $\mathbb{W}(i) = a^{-i/a}$.

3. Сумма экспоненты и некоторой константы

$$\mathbb{W}(i) = ae^{-ai} + b; (a + b = 1).$$

4. Равнобочная гиперболы, отнесенная к осям координат (смещенная):

$$\mathbb{W}(i) = \frac{a}{i} + b; (a + b = 1). \quad (3.67)$$

Во всех приведенных формулах i — по-прежнему порядковый номер судна или аппарата в серии; a, b, a — некоторые коэффициенты, свои в каждой формуле.

Нетрудно видеть, что только третья и четвертая зависимости выдерживают проверку на концах интервала. Действительно, при достаточно большой серии, т. е. при $i > 10^{\frac{1}{a}}$, себестоимость в зависимости (1) становится отрицательной, а в зависимости (2) с ростом i неограниченно стремится к нулю. И то, и другое действительно, разумеется, не соответствует.

Обработка многочисленных данных по различным типам судов свидетельствует, что наилучшее приближение обеспечивает четвертая зависимость [см. формулу (3.67)]. Величина b в зависимости от технической сложности проекта, от степени его новизны, от типа средств освоения Маркова осана принимает значения в пределах от 0,4 до 0,7.

Формула (3.67) может быть интерпретирована следующим образом: $bC(1)$ — установленная себестоимость судна при хороши освоении производств.

Слагаемое $C(1) \frac{a}{i}$ может рассматриваться как убывающее



Рис. 3.13. Характер зависимости для судна разного вооружения.

от заказа к заказу затраты на освоение, а величина $a = 1 - b$ — как показатель, характеризующий техническую новизну проекта.

Исходя из формулы (3.67), так же, впрочем, как из остальных приведенных выше, можно получить приближенное выражение для стоимости всей серии.

Для этого следует воспользо-

ваться известным пределом Эйлера для суммы гармонического ряда:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right) - \ln n \right] = \zeta$$

где $\zeta = 0,577$ — постоянная Эйлера;

$$C_{сер} = \sum_{i=1}^N C(1) \left(\frac{a}{i} + b \right) \approx [bN + a(\ln N + \zeta)] C(1). \quad (3.68)$$

где $C_{сер}$ — стоимость серии; N — число судов в серии; $C(1)$ — стоимость головного судна.

Средняя стоимость судна в серии определится формулой

$$\bar{C} \approx \left[b + a \frac{\ln N + \zeta}{N} \right] C(1). \quad (3.69)$$

Поскольку $\ln N$ возрастает медленнее, чем N , с ростом N средняя стоимость судна в серии убывает, что соответствует практическому опыту.

3.5. Определение стоимости разработки

Стоимость разработки в большинстве отраслей промышленности подразделяется на две большие статьи: научно-исследовательские работы (НИР) и опытно-конструкторские работы (ОКР). Прототипирование объекта является частью ОКР, включающей также изготовление и испытание опытного образца. Эти работы предшествуют производству и составляют его начальную стадию. Поэтому затраты на НИР и ОКР называют *предпроизводственными затратами*.

В формировании предпроизводственных расходов для судов и больших подводных аппаратов есть существенная особенность: опытный образец не изготавливается, а само проектирование объекта, судна или аппарата, выделяется в самостоятельную работу, заказываемую и оплачиваемую отделом (за исключением рабочих чертежей). В обеспечении проекта, как правило, выполняется ряд ОКР и НИР, как самим проектантом, так и по его заказу или рекомендации другими организациями.

В стоимость разработки включаются:

1. Материалы, основные и вспомогательные, покупные полуфабрикаты и изделия с учетом транспортно-заготовительных расходов.

2. Затраты на установки, стенды, макеты и прочее оборудование, необходимое для разработки проекта или НИР и ОКР.

выполненные в обеспечение этого проекта, а также затраты на эксплуатацию этого оборудования. В том случае, если оборудование создается или приобретается только для одного проекта, НИР или ОКР, стоимость его полностью относится на проект. В противном случае в себестоимость работы включаются только амортизационные отчисления.

3. Основная и дополнительная заработная плата научно-технического персонала и отчисления на социальное страхование.

4. Расходы на научно-техническую информацию, включая лицензии и патенты, приобретаемые за рубежом.

5. Оплата контрактных работ.

6. Прочие расходы: оплата услуг других организаций, расходы по аренде и др.

7. Накладные расходы (содержание зданий, расходы по оплате труда и пр.).

Доля предпроектных затрат в стоимости создания средств освоения океана различна: с ростом геометрических размеров и водоизмещения она падает, с ростом сложности — возрастает. В некоторых случаях она может быть на порядок больше стоимости постройки самого объекта. Так, затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, включая изготовление опытных образцов и нестандартного оборудования по глубоководному аппарату «Дип Дивинг», более чем в 10 раз превысила стоимость самого аппарата [18].

Нужно отметить, что в судостроении НИР и ОКР, выполняемые в обеспечение проекта, не всегда оплачиваются как контрагенты основным разработчиком. Иногда их оплата осуществляется непосредственно заказчиком. В тех случаях, когда исследование выполняется не только для данного проекта, но и имеет большое значение для научно-технического прогресса вообще, оно финансируется из государственного бюджета. В некоторых случаях часть опытных работ финансируется за счет средств, отпускаемых на постройку судна по статье «подготовка производства».

Понятно, что неодинаковость характера финансирования, затруднения в выборе измерителя, который бы убедительно характеризовал конструктивную сложность и новизну проекта, создают серьезные препятствия в сборе однородного статистического материала, который мог бы лечь в основу модели затрат на разработку. Поэтому для прогнозирования этой технико-экономической характеристики проектируемого объекта пользуются ориентировочными оценками, ставя ее в зависимость от стоимости головного объекта либо от водоизмещения:

$$C_p = k_p C_o, \quad (3.70)$$

где C_p — стоимость разработки проекта; C_o — стоимость голов-

ного судна или аппарата коэффициент, зависящий от сложности проекта и от стадии его разработки (обычно экспертной оценкой).

Так, для научно-технических судов C_p при как результат расчета по ф. (3.57), а k_p лежит в и $0,1 \leq k_p \leq 0,5$ в зависимости от сложности проекта и степени новизны оборудования, предполагается, что в проекте.

Зависимость стоимостной вид

$$C_p = \bar{k}_p f(D),$$

где \bar{k}_p имеет тот же смысл коэффициента, учитывающего поправки технических решений (за их новизну), что и выше, а характер зависимости $f(D)$ представлен на рис. 3.14.

3.6. Среднегодовая стоимость эксплуатации

Показатель среднегодовых затрат на эксплуатацию плавающего средства имеет весьма существенное значение для оценки его экономической эффективности. Эксплуатационные затраты за срок службы плавающего средства сопоставимы со стоимостью его постройки, а в ряде случаев существенно превышают ее.

Эксплуатационные расходы определяются либо непосредственно прямыми счетом по статьям сметы, либо приближенно, с помощью нормативно-параметрического метода по соотношениям, выражающим зависимость статей затрат от основных технико-эксплуатационных элементов плавающего средства (водоизмещения, мощности энергетической установки, численности экипажа и т. п.).

Смета прямых затрат на эксплуатацию состоит из следующих основных статей:

1. Амортизационные отчисления, производимые в соответствии с установленными нормами. Амортизация представляет собой плановое погашение стоимости плавающего средства путем переносения на стоимость выполняемых работ. Амортизационные отчисления складываются из отчислений на ремонтные, т. е. на полное восстановление стоимости изношенного судна для приобретения нового, и отчислений на капитальный ремонт.

отчислений определяется по стоимости средства:

$$(3.72)$$

амортизационных отчис-

ленные заемы, как оборудования $C_{об}$. Эта активные и ремонтные капитального ремонта, и из источников финансируются ли работы судового ремонта или ти и трудоемкости точности, расходы по этой амортизационных отчислений.

Расходы на судовое снабжение включают затраты на приобретение малоценного инвентаря и эксплуатационных расходов материалов. Обычно эта статья определяется в долях от стоимости судна. Важно отметить, что для средств освоения океана эта статья не включает специального снабжения для технологических нужд.

4. Специальное снабжение для технологических нужд $C_{ст}$. Расходы по этой статье определяются специальным расчетом.

5. Расходы на содержание экипажа $C_{э}$. В эту статью включаются заработная плата экипажа и экспедиционного состава, начисления на заработную плату, стоимость рациона бесплатного питания и др. Затраты по этой статье определяются обычно по формуле

$$C_{э} = \sum_{i=1}^n \lambda_i n_i, \quad (3.73)$$

где λ_i — среднегодовая стоимость содержания одного члена i -й категории экипажа (ИТР, радисты, экспедиционный состав), руб./год-чел.; n_i — численность i -й категории экипажа.

6. Навигационные расходы $C_{н}$. Основную роль в этой статье расходов играют затраты на среднюю воду, портовое обслуживание, оплата в необходимых случаях буксиров и ледокольного обслуживания.

7. Расходы на топливо и судовые материалы. Затраты по этой статье зависят от режима эксплуатации плавучего технического средства (на стоянке, на переходе, работа в море), от используемой при этом мощности потребителей и от стоимости тонны топлива и масла. Затраты по этой статье определяются по формуле

$$C_{т} = \sum (\omega_i N_i k_i g_i \cdot 24 \cdot 10^{-6} + G_{в} \omega_0) t_i, \quad (3.74)$$

где t_i — индекс режима использования двигателя; ω_i — цена тонны топлива, используемого главной силовой установкой, руб./т; N_i — мощность установки на i -м режиме, д.с. (кВт); k_i — коэффициент использования мощности на i -м режиме; g_i — удельный расход топлива главной силовой установкой, г/кВт-ч, г/д.с.-ч; t — среднегодовая длительность i -го режима, сут; $G_{в}$ — не зависящий от мощности расход топлива на общесудовые нужды на i -м режиме, т/сут; ω_0 — цена тонны топлива, используемого на общесудовые нужды, руб./т.

Помимо этих статей прямых затрат, которые можно считать непосредственно в расчете на осознание, на решение определенной задачи, существуют и косвенные расходы, которые складываются из затрат на содержание организации, который подчинен двигателю. Поскольку строго разделить эти расходы нельзя, их распределяют пропорционально какому-либо экономическому показателю, характеризующему работу двигателя и его затраты. В морском флоте эти затраты распределяются пропорционально сумме прямых затрат за вычетом расходов на горюче-смазочные материалы.

Для двигателей, используемых при освоении Мирового океана, эти расходы часто распределяются пропорционально всей сумме прямых расходов. Иными словами, косвенные расходы определяются по формуле

$$C_{к} = k_k \sum_{i=1}^n C_{пр_i}, \quad (3.75)$$

где k_k — коэффициент косвенных расходов.

Величина и удельный вес расходов по этим статьям различны в зависимости от того, находится ли судно на стоянке, на переходе или при работе в море. Ремонты, особенно капитальный, проводят далеко не каждый год. Это учитывается показателем среднегодовой стоимости эксплуатации — в нем отражаются все виды затрат в той мере, в которой эти затраты в среднем приходятся на год эксплуатации.

Часто вместо показателя среднегодовой стоимости эксплуатации применяют показатель стоимости суточной эксплуатации, различающиеся по режимам и этапам использования двигателя. В этом случае все статьи расходов рассчитывают не за год, а за сутки в зависимости от характера эксплуатации судна на каждом этапе. Иногда расчет через показатель стоимости суточной эксплуатации оказывается наиболее удобным.

Для правильного определения среднегодовой стоимости эксплуатации (это особенно важно для средств освоения Мирового океана) необходимо предварительное построение календаря — графического описания последовательности этапов использования проектируемого объекта в соответствии с организационно-технологической схемой его использования.

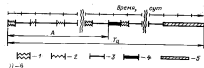


Рис. 3.15. Примерное циклограмма использования судна снабжения:
 T_a — продолжительность автономной работы судна; A — автономность;
 1 — переход в базу; 2 — частичная разгрузка; 3 — arrival; 4 — автономной работы; 5 — высадка разгрузки; 6 — разрыв в циклограмме.

Циклограмма строится либо за весь срок службы объекта, либо на эксплуатационный цикл. Под эксплуатационным циклом понимается совокупность этапов эксплуатации от сдачи судна в эксплуатацию или от окончания капитального ремонта до окончания следующего такого же ремонта.

Структура цикла и его элементы зависят от назначения проектируемого объекта. Общими для подавляющей части средств освоения Мирового океана являются следующие элементы: переход в район проведения работ и возвращение в базу; межрейсовый период, включающий ремонт, капитальный, большой, малый ремонты и докование. Остальные элементы цикла определяются характером использования судна.

Циклограмму строят вдоль оси, на которую нанесены временная шкала (в месяцах, сутках или часах). Примеры циклограмм использования судна обслуживания морских нефтепрямых и подводных аппаратов приведены на рис. 3.15 и 3.16.

По циклограмме определяют: общее ходовое время; общее стояночное время; суммарное время выполнения различных элементов работ; число ремонтов различного вида и их длительность.

Поскольку эксплуатационные расходы на стоянке, на ходу и т. п. различны, то циклограмма служит основой расчета сред-

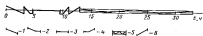


Рис. 3.16. Примерная циклограмма использования подводного аппарата:
 1 — подготовка к погружению; 2 — спуск на глубину; погружение на глубину; 3 — работа на глубине; 4 — подъем к поверхности; 5 — прибытие в базу; 6 — наблюдение объекта наблюдения.

негодовых эксплуатационных затрат. Выражение для этой величины имеет вид:

$$C_0 = \frac{365}{T_a} \left(c_1 t_1 + c_2 t_2 + \sum c_{0j} l_{0j} + \sum c_{0i} n_{0i} \right), \quad (3.76)$$

где: C_0 — среднегодовая стоимость эксплуатации; T_a — длительность эксплуатационного цикла (определяется по циклограмме), сут; t_1 — суммарная длительность ходового времени (определяется по циклограмме), сут; c_1 — суточные эксплуатационные затраты на ходу; t_2 — суммарная длительность стояночного времени (определяется по циклограмме), сут; c_2 — суточные эксплуатационные затраты на стоянке; c_{0j} — суточные эксплуатационные затраты при выполнении j -го вида работ; l_{0j} — суммарная длительность работ j -го вида (определяется по циклограмме), сут; c_{0i} — стоимость i -го вида ремонта; n_{0i} — количество ремонтов i -го вида в течение одного эксплуатационного цикла.

3.7. Формирование показателя затрат

Итак, рассмотрев содержание, структура, способы прогнозирования технико-экономических характеристик средств освоения Мирового океана — стоимости разработки, постройки и среднегодовой стоимости эксплуатации.

Как сформировать из них показатель приведенных затрат на достижение требуемого полезного эффекта с учетом сопутствующих и сопряженных затрат?

Ответ на этот вопрос должен быть дан отдельно для автономных объектов, т. е. используемых самостоятельно, — исследовательских, буровых судов и т. п.; и для средств, нуждающихся в носителях, в первую очередь для подводных аппаратов.

Для автономных средств показатель приведенных затрат на достижение заданного полезного эффекта при выполнении комплекса работ судами одного типа может быть представлен в виде:

$$Z_{\text{оп}} = \left(C_0 + E_0 \left(\frac{C_p}{N_c} + C_{0,н} \right) \right) \frac{n_0 l_0}{365} + (E_0 K_c + C_{0,н}) \frac{n_0 l_0}{365}, \quad (3.77)$$

где: C_0 , C_p , $C_{0,н}$ — среднегодовая стоимость эксплуатации, стоимость разработки и среднесерийная стоимость постройки соответственно; E_0 — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; N_c — количество судов в серии; n_0 — количество однотипных судов, необходимых для выполнения комплекса работ, обеспечивающих достижение заданного полезного эффекта; l_0 — время выполнения комплекса работ; K_c — величина сопряженных капитальных затрат на создание инфраструктуры; $C_{0,н}$ — среднегодовая стоимость эксплуатации объектов инфраструктуры; n_0 — коэффициент, учитывающий

должно использоваться сопряженных капитальных затрат судна обосновываемого проекта.

Принцип построения выражения (3.77) может быть распространяем на случай, когда в выделенный комплекс работ участвуют разнородные различные технические средства:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_i \left\{ C_{\text{ин}} + E_{\text{н}} \left(\frac{C_{\text{пр}}}{N_{\text{с}}} + C_{\text{ин}} \right) \right\} \frac{a_{\text{н}}/a_{\text{с}}}{365} + \frac{a_{\text{г}}/a_{\text{с}}}{365} (C_{\text{н}} + E_{\text{н}} K_{\text{с}}). \quad (3.78)$$

Здесь все обозначения прежнее, а индекс i соответствует типу судна, используемого при выполнении комплекса работ.

Понятно, что при обосновании судовых аппаратов какого-либо одного проекта величина $Z_{\text{пр}}$ в выражении (3.78) рассматривается как сложная функция числа обосновываемых объектов и их технико-эксплуатационных характеристик.

Для неавтономных объектов, нуждающихся в ежедневном обеспечении, в выражение приведенных затрат добавляется следующее, характеризующее сопутствующие затраты, в частности затраты на создание и эксплуатацию судна-носителя:

$$Z_{\text{с}} = C_{\text{н}} + E_{\text{н}} \left(\frac{C_{\text{пр}}}{N_{\text{с}}} + C_{\text{пр}} \right) \frac{a_{\text{с}}}{365}. \quad (3.79)$$

где $C_{\text{н}}$, $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{ин}}$ — технико-экономические характеристики судна-носителя; $N_{\text{с}}$ — число судов-носителей в серии; $Z_{\text{с}}$ — величина сопутствующих затрат. Остальные обозначения те же, что и в формуле (3.77).

Глава 4

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

4.1. Технико-экономическое обоснование проекта бурового судна для геолого-геофизических исследований на континентальном шельфе

В соответствии со сложившейся методологией морских геолого-геофизических исследований буровое судно предназначается для выполнения трех типов задач: региональные исследования; среднemaшштабное геологическое картирование; детальные инженерно-геологические исследования. Принимают следующую схему проведения исследований. При региональных

исследованиях изучают значительный район акватории площадью в несколько тысяч квадратных километров. В районе выделяют несколько ключевых участков, на каждом из которых бурят глубокую опорную скважину и несколько скважин меньшей глубины. Между ключевыми участками проводят геофизические профили, характеризующие геологический разрез изучаемой толщи по определенному направлению с периодическим отбором проб грунта для интерпретации результатов геофизических наблюдений.

Региональные исследования носят предварительный характер. Их цель — составление обзорной карты района.

По результатам региональных исследований выбирают участки акватории площадью несколько сотен кв. км. каждой, перспективные на геологические объекты промышленного значения (нефтегазовские структуры, рудные месторождения и др.) для среднemaшштабного картирования. Среднemaшштабное картирование носит поисковый характер. В процессе его выбирают площади для дальнейших разведочных работ. На выбранных участках бурят несколько неглубоких скважин, а в пределах выбранного участка проводят телевизионные и геофизические наблюдения.

По результатам среднemaшштабного картирования выбирают участки площадью 1—2 км², и на них проводят детальные геолого-геофизические исследования с целью разведки промышленного геологического объекта (оценка запасов, определение характеристик полезного ископаемого и пр.). На этих участках бурят несколько скважин малой глубины, а на участке, выбранном под установку бурового сооружения, бурят глубокую опорную скважину и вокруг нее несколько скважин малой глубины.

Практикой выработались определенные соотношения между работами каждого из выдел.

В соответствии со сказанным предполагается, что просверливаемое буровое судно будет использоваться для выполнения всех трех видов исследовательских работ в соотношении, задаваемом на условный вне модели, т. е. исходя из накопленного опыта, откорректированного на особенности района исследования.

Предполагается следующая схема использования судна. С началом навигационного периода судно выходит из базы и направляется в район проведения работ. В районе последовательно проводит подготовительные работы и бурение каждой скважины, переезд к новой скважине и т. д. до тех пор, пока позволяет погода или до окончания автономности судна. В случае нехватки автономности после стоянки в порту, связанной с межрейсовым ремонтом и восполнением запасов, судно вновь возвращается в район и продолжает прежние работы.

В дальнейшем логика модели зависит от принятого способа бурения. В настоящем примере рассматриваются два способа бурения: разборной колонной или, точнее, колонковым набором из штагалов, и бурение с помощью шланго-кабеля.

Суть первого способа заключается в следующем: для бурения формируют вертикальную колонну из труб, оканчивающую внизу буровым инструментом и колонковой трубой, предназначенной для взятия пробы (верна). После каждого кювета пробы всю колонку труб поднимают, извлекают пробу, колонку парашютируют, опускают вновь, и бурение продолжается. Вращение колонны осуществляют буровым станком, установленным на судне.

При шланго-кабельном бурении буровая колонна представлена набором утяжеленных буральных труб (УБТ), создающих нагрузку на забой, и сплошной гибкой трубой, намотанной на барабан достаточно большого диаметра. Буральный инструмент приводит во вращение зубным двигателем, а засоску к нему и телекоманды передают по кабелю, смонтированному в единое целое с гибкой трубой (шлангом). Преимущество шланго-кабельного бурения — некоторая экономия времени на отдельных операциях, большая балльность моря, при которой допустимо бурение.

Принято, что при шланго-кабельном способе бурения предусматривают повторный ввод инструмента в скважину. Для этого устьевую воронку оборудуют акустическим маяком. При бурении разборной колонной повторный ввод инструмента в скважину не предусмотрен.

Поэтому в зависимости от способа бурения при приращении бурения вследствие окончания автономности или по погодным условиям, возможны два исхода. При шланго-кабельном способе бурения судно покидает скважину, а после возвращения продолжает ее бурение. При бурении разборной колонной скважину бросают, и после возвращения бурение проводят заново. Предельное состояние ветра и моря для проведения подготовительных работ и бурения определяют спецификационными данными судна в зависимости от принятого способа бурения и системы стабилизации судна над точкой бурения.

В соответствии с соображениями, изложенными в гл. 2, в обосновании варианта бурового судна решающую роль играет выбор критерия экономической эффективности и показателя функциональной эффективности и для этого — определение категории и измерителя полезного эффекта. Обычно в качестве измерителя полезного эффекта буровых судов принимают количество скважин (или метров), которое судно может пробурить за определенное время.

В данном случае эти измерители полезного эффекта неприменимы. Количество пробуренных скважин или метров не является основной целью использования бурового судна. Целью

его использования служит качественное комплексное геолого-геофизическое обследование района, а бурение скважин служит средством получения информации при комплексных исследованиях. Поэтому данные показателя прямо не отражают основного назначения судна.

Логический анализ показывает, что в качестве заданного полезного эффекта использования бурового судна для геолого-геофизических изысканий по всем сравниваемым вариантам должен быть принят минимальный законченный объем комплексной работы судна.

Известно, что результаты геолого-геофизических изысканий на континентальном шельфе оформляют комплексами геодатических карт, которые составляют за определенный район. Поэтому в качестве заданного полезного эффекта целесообразно принять объем работ по проведению комплекса исследований, необходимых и достаточных для разработки комплекта карт по этому району.

Определение категории полезного эффекта позволяет обосновать выбор критерия экономической эффективности. В качестве частных показателей экономической эффективности бурового судна в соответствии с ранее обоснованным принципом приведения затрат принимают приведенные затраты на решение каждой из указанных выше задач: региональные исследования (первая задача), среднемащштабное геологическое картирование (вторая задача), детальные инженерно-геологические исследования (третья задача).

В качестве общего критерия экономической эффективности принимают приведенные затраты на выполнение всего комплекса задач при определенном их соотношении. Понято, что введение этого соотношения представляет собой определенный произвол, но без него невозможно обойтись. Отрицательное влияние произвольности соотношения в значительной степени снимается тем, что соотношение диктуется сложившейся практикой.

Приведенные затраты на достижение названного полезного эффекта включают: эксплуатационные расходы; нормативную прибыль, определенную востребованностью судна и единым нормативным коэффициентом эффективности.

Поскольку буровое судно работает практически автономно, сопутствующие затраты отсутствуют:

$$Z = C_1 + \frac{I_0 \cdot T}{360} C_0, \quad (4.1)$$

где Z — приведенные затраты на выполнение комплекса морских инженерно-геологических изысканий в определенном районе; C_0 — эксплуатационные расходы на выполнение комплекса работ; I_0 — длительность проведения комплекса работ;

E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; C_n — стоимость постройки бурового судна, включая специальное оборудование.

Поправочный коэффициент $\frac{E_n}{300}$ к нормативному коэффициенту эффективности, как было показано выше (см. гл. 3), учитывает, что нормативная прибыль исчисляется не за год, а за всю продолжительность комплекса исследований.

Исчисление значений выбранного критерия приведенных затрат для всех вариантов приводится в следующем порядке: строго формулируют каждую задачу и устанавливают по ней объем работ, обеспечивающий достижение заданного полезного эффекта; определяют время, необходимое для выполнения требуемого объема работ по каждой задаче. Следует отметить, что в задаче обоснования бурового судна временные показатели играют очень важную роль — время выполнения комплекса работ по существу, промежуточным показателем эффективности судна, аналогом показателя функциональной эффективности.

Затраченное время классифицируют по характеру функционирования судна:

- на ходу, на стоянке в порту, подготовительные работы, бурение. Необходимость такого разбивки диктуется тем, что эксплуатационные затраты на каждом режиме различны;
- в зависимости от района выполнения работ и характера оборудования судна определяют ожидаемые потери времени вследствие непогоды;
- определяют суточные эксплуатационные затраты и капитальные затраты (стоимость постройки судна);
- определяют суммарные эксплуатационные затраты и включают в зависимости от времени выполнения комплекса работ по каждой задаче приведенные затраты на выполнение каждой задачи;
- исчисляют приведенные затраты на выполнение всего комплекса работ по картированию района.

В изложенном порядке рассмотрим выполнение расчетов по технико-экономическому обоснованию бурового судна.

Первый этап — точная формулировка типовых задач — дает возможность перейти к разработке неформальной модели использования сравниваемых вариантов. В основе разработки неформальной модели лежат организационно-технологические схемы использования судна, представляющие собой подробный последовательный перечень операций как работ, связанных с передвижением морских инженерно-геологических экспедиций.

При разработке организационно-технологических схем рассматривается возможность выполнения задач с помощью различных технических средств. Так, возможно, как уже упоминалось, два способа бурения: разбурной колонной труб и

шпалы-кабелей; различные системы удержания судна над точкой бурения: якорная система (постановка на якоря с заволом из катером или самостоятельная отдача якорей), система динамической стабилизации; возможно использование различного оборудования для проведения других операций, например проведение гидрогеологических * исследований скважины может осуществляться с помощью различного оборудования.

Совокупность установленных средств определяет, по существу, вариант судна, его постройочную стоимость, эксплуатационные затраты и время выполнения всего комплекса работ, а следовательно, и его экономическую эффективность.

В соответствии со сказанным в количественных показателях, иллюстрирующих расхождение, будем рассматривать следующие варианты бурового судна (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Технические решения, характеризующие различные варианты проекта судна

Варианты проекта судна	Способ бурения	Система удержания судна над точкой бурения
1	Разбурной колонной	Якорная (постановка с катером)
2	То же	Якорная (постановка без катера)
3	„	Динамическая стабилизация
4	Шпалы-кабели с вторым вводом инструмента в скважину	Якорная (постановка с катером)
5	То же	Якорная (постановка без катера)
6	„	Динамическая стабилизация

Второй этап — определение времени, необходимого для выполнения работ по каждой типовой задаче в комплексе задач в целом. Понятно, что эффективность судна зависит от его мореходных качеств, от способности выполнять буровые работы в постановку на точку в неблагоприятной гидрометеорологической обстановке.

Чистое время (без потерь на заводской ремонт) на выполнение работ по задаче определяют по циклограмме, которую строят в соответствии с организационно-технологической схемой.

Циклограмма состоит из следующих элементов: время перехода, подготовительные работы, время бурения, стоянка в порту, возвращение в порт, переход от точки к точке, переход на другой ключевой участок.

* Гидрогеологические исследования проводят для установления гидрогеологических свойств горных пород (пористости, проницаемости и др.). Они нужны для оценки перспективности исследуемой точки на нефть или газ.

Методику построения циклограммы и потребного времени проиллюстрируем на примере 1-й задачи — региональных исследований. Построение циклограммы и определение потребного времени на выполнение остальных задач проводят аналогично приведенному примеру.

Время, необходимое на выполнение каждой из упомянутых операций, составляющих элементы циклограммы, рассчитывают исходя из следующих соображений.

Время перехода определяют по формуле

$$t_k = \frac{L}{24(v - \Delta v_1 - \Delta v_2)}, \quad (4.2)$$

где t_k — время перехода к ключевому участку или время возвращения в базу; L — расстояние от базы до ключевого участка, м/дн; v — техническая скорость, уз; Δv_1 — потери скорости от обростания в зависимости от бассейна, уз; Δv_2 — потери скорости от ветра и волнения, в зависимости от района, водоизмещения, скорости хода судна, уз.

Во время перехода научно-исследовательский и технический персонал проверяет и готовит оборудование и аппаратуру к работе. После выхода на ключевой участок производится определение места судна в точке бурения опорной скважины и постановка судна на точку. Время постановки на точку в зависимости от принятого способа характеризуется следующими величинами: при якорной постановке с катером 6 ч (0,25 сут); при якорной постановке без катера 24 ч (1 сут); при динамической стабилизации 1 ч (0,04 сут).

После постановки судна на точку производится отбор проб грунта. В среднем продолжительность этой операции составляет около 2 ч (0,083 сут). На основе анализа полученной пробы разрабатывается конструкция скважины, что занимает около 3 ч (0,125 сут).

Затем производится обследование места заложения устья скважины с помощью подводных телекамер. Продолжительность этой операции определяется глубиной моря и в некоторой степени сложностью строения морского дна. При глубине моря 20—30 м продолжительность обследования 2—3 ч, при глубине 70—80 м 3—4 ч, при глубине 150—200 м 5—6 ч.

Совокупность работ по постановке на точку, отбору проб грунта, разработке конструкции скважины и обследованию места заложения устья скважины определяет длительность подготовительных работ в сутках:

$$t_{\text{инт}} = t_1^0 + t_2 + t_3 + t_4(H) \approx t_1^0 + t_4(H) + 0,21, \quad (4.3)$$

где t_1^0 — длительность постановки на точку в зависимости от i -го способа постановки; t_2 — время отбора проб грунта; t_3 —

длительность разработки конструкции скважины; $t_4(H)$ — длительность обследования места заложения скважины; H — глубина моря в месте заложения скважины.

Следующая операция — бурение.

Время проходки скважины с отбором керна:

$$t_{60} = \frac{h}{v_{60}},$$

где t_{60} — время проходки скважины, сут; h — глубина скважины, м; v_{60} — скорость проходки, м/сут.

Обычно при бурении разборной колонной принимают скорость бурения 10—15 м в смену, для шланго-кабельного — 15—30 м в смену.

В процессе бурения производятся следующие работы: контроль за неизменностью места; отбор проб; описание, анализ и упаковка керна (проб).

Время инженерно-геологических исследований при применении типового оборудования составляет один сутка.

Далее ствол скважины цементуют и скважину ликвидируют с наращиванием обсадных труб и подъемом стояка (при шланго-кабельном бурении — приливной планты).

Время ликвидации скважины зависит от глубины скважины и способа бурения. При бурении разборной колонной оно составляет при 30 м — 2 ч, 50 м — 3 ч, 70 м — 4 ч, при 200 м — 8—9 ч. При шланго-кабельном бурении для глубины 30—50 м — 2 ч, 70 м — 3 ч, до 200 м — 5—6 ч.

После ликвидации скважины судно снимается с точки. Время съема принимается равным времени постановки на точку. Далее судно отправляется к следующей точке.

Таким образом, продолжительность операции бурения может быть определена по формуле

$$t_6 = t_6^0 + t_6^1 + t_6 + t_6 + t_6^1 + t_6^1, \quad (4.4)$$

где t_6^0 — время подготовки бурового оборудования в зависимости от j -го способа бурения; t_6^1 — время проходки скважины в зависимости от j -го способа бурения; t_6 — время каротажа; t_6 — продолжительность инженерно-геологического исследования; t_6^1 — время ликвидации скважины; t_6^1 — время съема с точки в зависимости от i -го способа постановки.

Время подготовки бурового оборудования зависит от глубины моря и различно для разных способов бурения. Для шланго-кабельного способа оно составляет: при глубинах до 70 м — 1 ч, при больших глубинах — 1,5 ч. При бурении разборной колонной при глубинах до 70 м — 2 ч; при глубинах от 70 до 200 м от 2 до 4 ч.

Время перехода от точки к точке или на другой ключевой участок определяют по формуле, аналогичной формуле (4.2).

Полученные значения длительностей каждой операции позволяют построить циклограмму использования бурового судна и определить чистое время, необходимое на выполнение каждой задачи. Циклограмму строят на арматурной шкале, за единицу принимают сутки. Примеры циклограмм использования двух различных вариантов бурового судна при решении первой задачи приведены на рис. 4.1, 4.2. Циклограммы использования

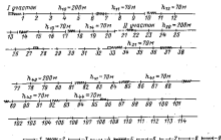


Рис. 4.1. Циклограмма использования жесткого варианта бурового судна (вспомогательные бурение с постоянным выходом инструмента в скважину, динамическая стабилизация).

Первая задача — установка и использование жесткого варианта бурового судна. 1 — начало; 2 — мобилизационные работы; 3 — бурение; 4 — casing в баше; 5 — цементация в баше; 6 — перевод от точки к точке; 7 — работа на другой ключевой участок; 8 — демонтаж оборудования; 9 — relocation оборудования.

Операции	Время, сут
На ходу	4,5
В баше	86,5
Подготовительные работы	3,5
Бурение	75,5
Итого	170,5
Потери	30,5
Итого	201,0

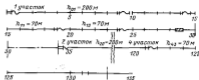


Рис. 4.2. Циклограмма использования жесткого варианта бурового судна (бурение разборной колонной без постоянного выхода инструмента в скважину, работа постоянная с кустом).

Первая задача — рационализация использования. Балтийское море. (Основная таблица — см. рис. 4.1).

Операции	Время, сут
На ходу	5
В баше	110
Подготовительные работы	10
Бурение	181
Итого	306
Потери	410
Итого	716

бурового судна при решении второй и третьей задачи — на рис. 4.3 и 4.4.

Суммарное время на стоянке, на ходу, в порту и во время производства работ определяют простым суммированием по циклограмме*.

Третий этап — определение потерь вследствие неблагоприятных гидрометеорологических и прочих условий на выполнение комплекса работ.

Поскольку наличие или отсутствие благоприятной погоды — событие случайное, то целесообразно определить математическое ожидание потерь времени из-за неблагоприятной обстановки. Различие в потерях времени по вариантам связано со способом бурения и принятыми допущениями. При шлангово-бурном бурении работы допускаются при волнении до 4 баллов по шкале Вюфорта (включительно), при бурении разборной колонной — только до трех. Но не это главное. Как отмечалось

* Все расчеты для иллюстративного примера и построение циклограмм выполнены инж. Л. В. Рубиной.

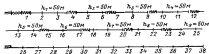


Рис. 4.3. Циклограмма использования первого варианта бурового судна (бурение разборной колонной без повторного входа инструмента в скважину, воздушная поставка с катером).

Третья задача — исследование влияния метеорологических факторов. Балтийское море. (Условные обозначения см. рис. 4.1).

Операции	Время, сут
На воду	0,7
В бак	—
Подготовительные работы	2,4
Бурение	19,4
Итого	22,5
Потери	30,0
Всего	52,5

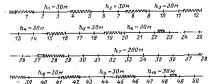


Рис. 4.4. Циклограмма использования второго варианта бурового судна (бурение разборной колонной без повторного входа инструмента в скважину).

Третья задача — детальное метеорологическое исследование. Балтийское море.

Операции	Время, сут
На воду	0,7
В бак	4,7
Подготовительные работы	11,0
Бурение	20,0
Итого	46,4
Потери	12,7
Всего	59,1

а постановке задачи, при бурении разборной колонной при неблагоприятных условиях скважины бросают и впоследствии их бурят снова. Иными словами, при бурении разборной колонной потери времени складываются из длительности неблагоприятной погоды и затрат времени на начатую и прерванную работу. При шланго-кабальном способе бурения скважины остаются на время непогоды и после установления благоприятной погоды заканчивают. Таким образом, в этом варианте потери, связанные с качеством и брошенной работой, нет.

Потери времени определяются вероятностью неблагоприятных гидрометеорологических условий; вероятность эта может быть принята по табличам обеспеченности состояния ветра и моря [13]. Данные по вероятности неблагоприятной погоды в Балтийском море, использованной для иллюстративного примера расчета, приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Вероятность неблагоприятных для бурового судна гидрометеорологических условий в Балтийском море

Время года	Возможное море (облачность)	Балтийское море		
		1-й район	2-й район	3-й район
Весна	3 и выше	0,39	0,46	0,30
	4 "	0,15	0,30	0,16
Лето	3 и выше	0,27	0,12	0,30
	4 "	0,10	0,04	0,08
Осень	3 и выше	0,50	0,52	0,39
	4 "	0,32	0,33	0,20

Примечание: 1 район — район Калининграда; 2 район — Февральский залив; 3 район — Рижский залив.

Полное время, необходимое для проведения работ по I-II задаче, с учетом потерь, определяют по формуле

$$T_1 = T_2 + T_{пр} + T_{л} \quad (4.5)$$

где T_2 — время работы в районах исследований при благоприятных гидрометеорологических условиях; $T_{л}$ — потери времени вследствие повторения брошенной работы; $T_{пр}$ — время простоев вследствие неблагоприятных условий; T_1 — общее время выполнения работ по I-II задаче с учетом простоев и потерь.

При шланго-кабальном бурении потери состоят только из времени простоев ($T_{л} = 0$)

$$T_{пр} = pT, \quad (4.6)$$

где p — вероятность неблагоприятных условий.

$$T_p = (1 - \rho)T$$

$$T = \frac{T_p}{1 - \rho}; \quad T_{w_j} = T_p \frac{\rho^j}{1 - \rho}. \quad (4.7)$$

Потери времени, связанные с необходимостью бросить неоконченную работу и впоследствии ее проделать заново, определяются следующим образом. В пределах каждого интервала от окончания бурения одной скважины и до окончания бурения следующей математическое ожидание потерь времени может быть определено по формуле

$$M[T_{w_j}] = \\ = 1 \cdot \rho + 2(1 - \rho)\rho + \dots + i(1 - \rho)^{i-1}\rho + \dots + T_j(1 - \rho)^{T_j-1}\rho, \quad (4.8)$$

где T_{w_j} — потери времени в j -м интервале, связанные с повторением брошенной работы; T_j — длительность j -го интервала; $(1 - \rho)^{i-1}\rho$ — вероятность возникновения событий, т. е. того, что в течение $(i - 1)$ дня погода была благоприятна, а на i -й день — обстановка препятствует проведению работ и судно вынуждено бросить скважину.

Выражение (4.8) можно упростить путем почленного интегрирования ряда, суммирования полученного ряда и дифференцирования суммы по аргументу $x = (1 - \rho)$:

$$M[T_{w_j}] = \rho \frac{d}{dx} \left[\int_0^x (1 + 2x + \dots + ix^{i-1} + \dots + T_j x^{T_j-1}) dx \right] = \\ = \rho \frac{d}{dx} [x + x^2 + \dots + x^i + \dots + x^{T_j}] = \\ = \rho \left[\frac{1 - x^{T_j} - T_j x^{T_j-1}(1 - x)}{(1 - x)^2} \right],$$

а так как $x = 1 - \rho$, зависящих окончательно

$$M[T_{w_j}] = \frac{1 - (1 - \rho)^{T_j}}{\rho} - T_j(1 - \rho)^{T_j-1}. \quad (4.9)$$

Рассматривая время, затрачиваемое на весь комплекс работ, как состоящее из интервалов, можно записать

$$M[T_w] = \sum_j M[T_{w_j}]. \quad (4.10)$$

Суммируя потери, связанные с простоями, и потери, связанные с необходимостью повторять брошенную работу, можно получить выражение для математического ожидания потерь

времени при бурении разборной колонной. При этом надо иметь в виду, что однодневные потери с вероятностью ρ учтены в выражениях (4.8) и (4.9). Поэтому математическое ожидание потерь:

$$T_w = M[T_{w_p} + T_w] = (T_p - 1) \frac{\rho}{1 - \rho} + \\ + \sum_j \left[\frac{1 - (1 - \rho)^{T_j}}{\rho} - T_j(1 - \rho)^{T_j-1} \right]. \quad (4.11)$$

Таким образом, по формулам (4.5) с учетом формулы (4.7) для шлюк-кабельного или для бурения разборной колонной (4.11) исчисляют время работы судна в районе с учетом потерь при выполнении каждой задачи. Общее время выполнения всего комплекса работ определяют как сумму затрат времени по задачам:

$$T_w = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (4.12)$$

где T_w — время выполнения всего комплекса работ.

Доля времени, затрачиваемая на ремонт, учитывается коэффициентом

$$k_r = \frac{T_w - \sum T_p}{T_w}, \quad (4.13)$$

где T_w — длительность цикла; $\sum T_p$ — суммарная длительность ремонтов.

Тогда общие затраты времени, необходимые на выполнение всего комплекса работ, определяются выражением

$$T = \frac{T_w}{k_r}. \quad (4.14)$$

Затраты времени на выполнение каждой задачи, рассчитанные по вариантам проставленного судна с учетом потерь времени вследствие непогоды и затрат времени на стоянке, построении по циклограммам, аналогичным приведенным на рис. 4.1—4.4, представляются для удобства обозначения в табличной форме. В табл. 4.3 приведены затраты времени для выполнения первой задачи, в табл. 4.4 и 4.5 — затраты времени на выполнение второй и третьей задачи.

Время T_j выполнения каждой задачи служит промежуточным показателем — через этот показатель исчисляют приведенные затраты, связанные с выполнением всего комплекса работ.

Четвертый этап. На этом этапе исчисляют суточные эксплуатационные расходы по всем вариантам проекта судна. Постопытный расчет прямых эксплуатационных расходов

Таблица 43. Структура затрат времени на решение задачи Балтийское море, 3-й район

3-я задача

Решим	Время прохода судна					
	1	2	3	4	5	6
Время работы	131	109	123	110	126	96
	В том числе					
На стоянке	15	21	16	16	17	11
На переезде	36	5	3	5	3	4
В море	113	143	104	89	116	81
	Потери времени					
Всего	119	152	108	25	44	23
	В том числе					
На стоянке	14	19	14	20	37	17
На переезде	2	5	3	6	7	6
Работа в море	103	128	91	—	—	—
	Затраты времени с учетом потерь					
Всего	290	321	231	135	180	119
	В том числе					
На стоянке	29	40	30	35	54	28
На переезде	5	10	6	11	10	10
Работа в море	216	271	195	89	116	81
Время вне эксплуатации	31	40	29	17	23	15

Таблица 44. Структура затрат времени на решение задачи Балтийское море, 3-й район

3-я задача

Решим	Время прохода судна					
	1	2	3	4	5	6
Время работы	35	44	22	20	39	15
	В том числе					
На стоянке	0	5	0	0	3	0
На переезде	1	2	1	1	2	1
Работа в море	25	37	21	19	32	15
	Потери времени					
Всего	30	49	22	9	17	7

Продолжение табл. 44

Решим	Время прохода судна					
	1	2	3	4	5	6
	В том числе					
На стоянке	0	6	0	0	12	0
На переезде	1	2	1	0	5	7
Работа в море	29	41	21	0	0	0
	Затраты времени с учетом потерь					
Всего	53	93	44	29	56	23
	В том числе					
На стоянке	0	11	0	0	17	0
На переезде	2	4	2	10	7	8
Работа в море	54	78	42	19	32	15
Время вне эксплуатации	7	22	6	4	7	3

Таблица 45. Структура затрат времени на решение задачи Балтийское море, 2-й район

3-я задача

Решим	Время прохода судна					
	1	2	3	4	5	6
Время работы	29	49	25	24	45	20
	В том числе					
На стоянке	0	5	0	0	5	0
На переезде	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5
Работа в море	28,5	43	24,5	23,5	39	19,5
	Потери времени					
Всего	7	14	6	1	2	1
	В том числе					
На стоянке	0	2	0	0	2	0
На переезде	0	0	0	1	0	1
В море	7	12	6	0	0	0
	Затраты времени с учетом потерь					
Всего	35	63	31	25	47	21
	В том числе					
На стоянке	0	7	0	0	7	0
На переезде	0,5	1	0,5	1,5	1	1,5
Работа в море	35,5	55	30,5	23,5	39	19,5
Время вне эксплуатации	5	8	4	3	6	3

ведется в соответствии с общим методическим подходом, изложенным в § 3.6. В основу расчета наряду с нормативной базой положены некоторые проектные данные по судну. Так, принято, что используемая мощность энергетической установки составляет: на переходе 2400 кВт, на стоянке 300 кВт, при работе в море для вариантов с якорной системой удержания на токе 1600 кВт, для вариантов с динамической системой стабилизации 2000 кВт. При этом заданы коэффициенты использования мощности: на стоянке и на переходе — 0,80; при работе в море — 0,85. Расход топлива — 224 г/кВт·ч. Кроме того, на отопление расходуется котельное топливо: на стоянке 1,25 т/сут, на переходе и при работе в море 2,5 т/сут.

Экипаж судна состоит из 65 человек, в том числе: 18 человек ИТР, 19 человек рядового состава и 28 человек эксплуатационного состава. Данные нормативной базы приводятся в коде изложения последовательности расчета.

Прямые эксплуатационные расходы по судну для удобства расчета целесообразно разбить на три группы: одинаковые по всем вариантам (расходы на содержание экипажа, зависящие от режима использования, и расходы на судовое снабжение и навигационные расходы, одинаковые на всех режимах использования); различные по вариантам проекта и одинаковые на разных режимах использования судна (амортизационные отчисления и расходы на текущий ремонт); расходы, различные по вариантам и по режимам использования (расходы на топливо и смазочные материалы).

Результаты расчетов по каждой из групп статей расходов сведены для удобства обзора и анализа в таблицы, однако сама процедура расчета требует некоторых пояснений.

Расчет суточных расходов на содержание экипажа проводят по формуле (3.73), варианты используют в расчете не на год, а на одну сутки. Эти нормативы приведены в табл. 4.6.

Первая группа — расходы на судовое снабжение и навигационные расходы принимают по опытным данным; затраты, одинаковые по вариантам, приведены в табл. 4.7.

Вторая группа статей расходов — различные по вариантам проекта, но одинаковые на всех режимах использования. Результаты расчетов по этим статьям приведены в табл. 4.8.

Амортизационные отчисления рассчитывались, исходя из нормы 12,1% от стоимости судна в год, т.е., что то же, 0,00033 1/сут.

Базой исчисления амортизационных отчислений служит стоимость судна по вариантам проекта (табл. 4.11).

Расходы на текущий ремонт исчисляют в расчете на каждые сутки пребывания судна в эксплуатации. Для определения среднегодовой длительности эксплуатации используют формулу (4.13). Принимают, что судно проходит за 10 лет три малых ремонта и докования суммарной длительностью по

Таблица 4.6. Нормативы затрат на содержание одного члена экипажа (руб./сут)

Категория	Режим использования			
	на стоянке	на переходе	при работе в море	вне эксплуатации
ИТР	14,75	15,10	15,10	8,57
Рядовой состав	9,50	9,75	15,10	5,25
Эксплуатационный состав	11,80	14,70	14,70	—

Примечание. В расходы на содержание одного члена экипажа по категориям ИТР и рядового состава включены затраты на содержание перееда и оплаты отпусков в размере 25%.

Таблица 4.7. Статьи суточных эксплуатационных расходов, общие для всех вариантов (руб./сут)

Статья	Режим			
	на стоянке	на переходе	при работе в море	вне эксплуатации
Содержание экипажа	776,4	869,7	869,7	103,6
Судовое снабжение эксплуатационное	136,4	136,4	136,4	—
Навигационные расходы	22,9	22,9	22,9	—
Итого	935,7	1029,0	1029,0	103,6

Таблица 4.8. Статьи суточных амортизационных расходов, различные по вариантам (руб./сут)

Статья	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Амортизационные отчисления	3491	2428	2698	2522	2460	2635
Расходы на текущий ремонт	409	487	491	476	464	497
Итого	3900	2915	3189	2998	2924	3132

90 сут каждый и один большой ремонт с докованием длительностью 180 сут. Тогда

$$K_2 = \frac{380 - 3 \cdot 90 - 180}{380} = 0,875,$$

в среднегодовая длительность нахождения в эксплуатации составляет 320 сут. Норматив годовых затрат на текущий ремонт принят в размере 2% от стоимости судна в год, или, что то же, 0,0006625 1/сут нахождения в эксплуатации.

Третья группа статей расходов — на топливо и смазочные материалы — раздана и по вариантам и по режимам использования (табл. 4.9). Расчет затрат проводят по формуле,

Таблица 4.9. Статьи суточных эксплуатационных расходов, различие по вариантам и режимам использования (руб./сут) (топливо и смазочные материалы)

Варианты проекта судна	Режим		
	на стоянке	в портах	при работе в море
1	165	911	531
2	165	911	531
3	165	911	580
4	105	911	631
5	105	911	632
6	105	911	560

аналогичной по структуре формуле (3.74). Исходя из приведенных выше проектных данных и цен на топливо, определяют затраты по этой статье. В настоящем расчете приняты: цена на дизельное топливо с учетом расходов на смазочные материалы 81,4 руб./т; цена котельного топлива 28 руб./т. Пропиллюстри-

Таблица 4.10. Суточные эксплуатационные расходы по вариантам проекта на различных режимах эксплуатации (руб./сут) (без специального снабжения)

Режим	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
На стоянке	5159	5083	5334	5210	5115	5383
На яду	6216	6221	6491	6286	6271	6332
При работе в море	5923	5961	6280	6006	5911	6023
Вне эксплуатации	3836	3206	3481	3377	3207	3322

руем сказанное примером. Для первого варианта судна затраты на топливо и смазочные материалы на переходе составят

$$c_{17} = 81,4 \cdot 2400 \cdot 0,8 \cdot 224 \cdot 24 \cdot 10^{-6} + 2,5 \cdot 28 = 911 \text{ руб./сут.}$$

Суточные эксплуатационные расходы за вычетом затрат на специальное снабжение, исчисляемое на заделу в целом, определяют для каждого режима по вариантам проекта суммированием элементов всех трех групп затрат и косвенных расходов. Косвенные расходы определяют по формуле (3.75). Коэффициент косвенных расходов принимают $K_2 = 0,286$. Результаты расчетов сведены в табл. 4.10.

Пятый этап — завершающий. На этом этапе определяют приведенные затраты по вариантам проекта. Сначала определяют полные эксплуатационные затраты на решение каждой задачи:

$$c_n = \sum_{j=1}^m c_{nj} f_{nj} (1 + K_{nj}) + c_{nj} K_{nj} \quad (4.15)$$

где c_{nj} — суточные расходы на n -м режиме эксплуатации; f_{nj} — длительность n -го режима; c_{nj} — расходы на специальное снабжение; K_{nj} — коэффициент, учитывающий потерю времени.

Необходимые для этих расчетов исходные данные содержатся в табл. 4.3, 4.4, 4.5 и 4.10. Следует специально отметить особенности расчета потерю времени по режимам. Понятно, что сделать это достаточно точно без специального моделирования процесса работы судна затруднительно. Поэтому целесообразно принять допущение о том, что потери распределяют пропорционально распределению рабочего времени. При этом для вариантов проекта, где не предусмотрен повторный ввод инструмента в связку (1—3 варианты), потери распределяют пропорционально всем элементам рабочего времени (время на стоянке, на переходе, работа в море). Для остальных вариантов проекта, где потери времени состоят лишь из переходов и стоянок, распределение проводится пропорционально затратам рабочего времени по этим элементам.

При расчете расходов на специальное снабжение принято допущение о том, что эти затраты для 4—6 вариантов, где предусмотрен повторный ввод инструмента в связку, определяются техникоэкономической потребностью, для остальных вариантов она увеличивается пропорционально отношению суммы чистого времени работы в море и потерю к чистому времени работы в море. Расходы на специальное снабжение в соответствии с технологической потребностью составляют: на первую задачу 6700 руб., на вторую 1550 руб., на третью — 780 руб.

Расчет приведенных затрат ведется по формуле (4.1). Для расчета нормативной прибыли в этом выражении в качестве капитальных затрат выступает цена судна по вариантам проекта. Ее значения с разбивкой по подсистемам приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11. Ориентировочная цена бурового судна с разбивкой по подсистемам (тыс. руб.)

Цифры условные

Подсистема	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Корпус с оборудованием, энергетическая установка с системами, судные системы и устройства	4379	4379	4379	4379	4379	4379
Специальное геологическое оборудование и буровое оборудование	962	962	962	3088	3088	3088
Специальные системы и устройства	784	597	1125	784	597	1125
Комплекс средств навигации и связи	1356	1356	1356	1356	1356	1356
Всего	7511	7324	7852	7908	7420	7949

Расчеты суммарных эксплуатационных затрат и приведенных затрат на решение каждой из трех задач сведены в табл. 4.12—4.14.

В заключение суммированием приведенных затрат на выполнение каждой из задач определяются общие приведенные затраты на выполнение всего комплекса работ для разработки комплекта карт по району исследований. При этом в соответствии с моделью принято, что на одну задачу региональных исследований приходится две задачи среднемасштабного геологического картирования, и на каждую вторую задачу — по три задачи детальных инженерно-геологических исследований.

Иными словами, приведенные затраты на общий комплекс работ могут быть записаны в виде

$$Z = Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3,$$

где Z_1 , Z_2 , Z_3 — приведенные затраты по первой, второй и третьей задаче соответственно; λ_2 — соотношение между количеством задач второго и первого типа; λ_3 — соотношение между количеством задач третьего и второго типа.

Таблица 4.12. Сводный расчет приведенных затрат (млн. руб.)

Балтийское море, 2-й район

1-я задача

Составляющие затрат	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Эксплуатационные расходы по режимам						
На стоянке	0,149	0,200	0,160	0,188	0,276	0,151
На переезде	0,022	0,022	0,020	0,020	0,063	0,026
При работе в море	1,287	1,588	1,283	0,535	0,696	0,537
Вне эксплуатации	0,103	0,130	0,101	0,167	0,076	0,053
Эксплуатационные расходы на задание						
Всего (без стандартных)	1,571	1,982	1,583	0,890	1,112	0,806
Скорректированное с учетом количества расходов	0,036	0,016	0,016	0,0086	0,0086	0,0086
Всего	1,547	1,968	1,566	0,890	1,120	0,815
Расчет приведенных затрат						
$Z_{\text{пр}} = \frac{Z_{\text{эксп}}}{0,65}$	0,108	0,132	0,095	0,058	0,075	0,049
Капитальные затраты	7,510	7,320	7,850	7,610	7,420	7,930
Приведенные затраты	2,300	2,960	2,340	1,285	1,680	1,200

Таблица 4.13. Сводный расчет приведенных затрат (млн. руб.)

Балтийское море, 2-й район

2-я задача

Составляющие затрат	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Эксплуатационные расходы по режимам						
На стоянке	0	0,099	0	0	0,087	0
На переезде	0,023	0,025	0,023	0,064	0,014	0,022
При работе в море	0,322	0,457	0,276	0,114	0,182	0,089
Вне эксплуатации	0,023	0,029	0,021	0,014	0,023	0,011

Составляющие затрат	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Эксплуатационные расходы на заделку						
Всего (без спец. слабых)	0,368	0,577	0,310	0,191	0,343	0,362
Специальные с учетом косвенных расходов	0,004	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002
Всего	0,362	0,581	0,314	0,193	0,345	0,364
Расчет приведенных затрат						
$E_{\text{пр}} \frac{t_p}{365}$	0,023	0,036	0,018	0,012	0,021	0,0094
Капитальные затраты	7,510	7,320	7,850	7,610	7,420	7,960
Приведенные затраты	0,536	0,844	0,402	0,206	0,516	0,229

Таблица 4.14. Сравнительный расчет приведенных затрат (млн. руб.) Балтийское море, 2-й район 3-й вариант

Затраты на отдельные элементы затрат	Варианты проекта судна					
	1	2	3	4	5	6
Эксплуатационные расходы по режимам						
На стоянке	0	0,035	0	0	0,036	0
На переходах	0,060	0,060	0,060	0,0935	0,060	0,010
При работе в море	0,211	0,322	0,204	0,141	0,230	0,129
Все эксплуатационные	0,067	0,028	0,024	0,010	0,020	0,011
Эксплуатационные расходы на заделку						
Всего (без спец. слабых)	0,231	0,360	0,218	0,160	0,252	0,149
Специальные с учетом косвенных расходов	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Всего	0,233	0,362	0,220	0,161	0,253	0,150
Расчет приведенных затрат						
$E_{\text{пр}} \frac{t_p}{365}$	0,0147	0,0399	0,0127	0,0103	0,0153	0,0066
Капитальные затраты	7,530	7,320	7,850	7,610	7,420	7,960
Приведенные затраты	0,343	0,582	0,230	0,239	0,436	0,216

Итоговые данные по рассмотренным вариантам сведены в табл. 4.15.

Анализ данных, содержащихся в табл. 4.15, позволяет сопоставить варианты по их экономической эффективности и выбрать лучший из них. Результаты расчета, подобного приведенному, могут быть использованы и для другой цели — для приблизительной оценки потребности в судах определенного типа для выполнения заданного объема работ в течение планового периода.

Таблица 4.15. Приведенные затраты на картографический район (млн. руб.) Балтийское море

Варианты проекта судна	На работу в море	На все работы в море	На работу в портах	Всего на картографический район
1	2,300	1,070	2,000	5,49
2	2,960	1,688	3,400	8,14
3	2,340	0,950	1,920	5,17
4	1,285	0,572	1,434	3,29
5	1,680	1,012	2,616	5,33
6	1,200	0,478	1,308	2,99

Вначале рассмотрим эту задачу для одного бассейна. Расчет определит оптимальный вариант судна, позволяющий провести картографирование района акватории площадью S за время $T_{\text{с}}$. Если на этом бассейне подлежат картографированию районы общей площадью $S_{\text{б}}$, а длительность планового периода $T_{\text{пл}}$, то потребность в судах для этой цели определится формулой

$$n = \frac{S_{\text{б}}}{S T_{\text{с}}} \cdot T_{\text{пл}}$$

В разных бассейнах различны площади $S_{\text{б}}$, различны условия проведения работ, в том числе и погоды, а потому различно и время проведения работ $T_{\text{с}}$. Приспавшая величина, связанным с бассейном, индекс i , для общей потребности в судах можно записать формулу

$$N = \frac{1}{S T_{\text{с}}} \sum_i S_{\text{б}} T_{\text{с}i}$$

4.2. Технико-экономическое обоснование проекта обитаемого подводного аппарата

При формировании методики обоснования проекта обитаемого подводного аппарата мы будем исходить из того, что аппараты не заменяют, а дополняют арсенал исследования глубин и решают другие задачи, связанные с освоением океана,

и при этом удается выделить и четко ограничить задачу, решение которой возлагается на средства определенного типа.

Рассмотрим случай обоснования проекта обитаемого подводного аппарата, с помощью которого решается задача отыскания подводного или затонувшего объекта. Целью обоснования служит выбор варианта аппарата, т. е. выбор некоторых его базисных технико-эксплуатационных элементов.

В первую очередь при обосновании выбирается и формулируется критерий. Довольно широко распространяется предположение об использовании при обосновании подводных аппаратов критерия в виде отношения затрат к количеству полученной информации информации. Основные причины этого изложены в гл. I (полезнейшая зависимость и самой информации и затрат на ее получение от ТЭЭ аппарата). Играет немалую роль в то, что существующие способы измерения информации связаны с затратами, т. е. с изменением неопределенности изучаемой системы, и совершенно не учитывают экономической ценности полученной информации.

В данном случае задача проще: цель поиска очевидна, функциональная эффективность аппарата определяется его способностью обнаружить объекты поиска. В соответствии с соображениями, изложенными в п. 2.2, полезный эффект будет измеряться количеством обнаруженных объектов, функциональная эффективность — количеством обнаруженных объектов и вероятностью их обнаружения за один рейс.

Рассмотрим наиболее простой случай поиска единственного объекта. В этом случае уровень функциональной эффективности может быть представлен требуемой вероятностью обнаружения объекта поиска, а в качестве критерия экономической эффективности выступают приведенные затраты на обнаружение объекта с заданной вероятностью.

В соответствии со сложившейся практикой эксплуатации обитаемых аппаратов приведем следующую схему их использования.

Судно-носитель, имеющее автономность A_0 и скорость v_0 , направляется в район поиска площадью S . На борту судно-носителя могут находиться один (два или три) аппарата. В течение времени автономности судно-носителя при благоприятной погоде производится погружения аппаратов для осуществления ими поиска.

Длительность погружений определяется автономностью аппарата A_1 . В случае, когда время автономности судно-носителя заканчивается, с объектом поиска не обнаружено, оно возвращается в базу и после окончания межрейсового периода вновь выдвигается в район поиска для продолжения работ. Общая длительность работ определяется заданной вероятностью обнаружения объекта поиска и технико-эксплуатационными элементами аппарата, непосредственно осуществляющих поиск.

Величина приведенных затрат, принятых за критерий экономической эффективности, числится в зависимости от общего времени поиска, от величины прямых затрат на разработку, постройку и эксплуатацию аппаратов в соответствующих — на разработку, постройку и эксплуатацию судно-носителя.

Стоит отметить, что приведенные затраты будут существенно зависеть не только от технико-эксплуатационных элементов самого аппарата, но и от элементов судно-носителя. Это объясняется тем, что аппарат и судно-носитель представляют собой одно взаимосвязанный комплекс, так что элементы носителя и аппаратов в известных аспектах дополняют друг друга. Так, масса и габариты подводного аппарата лимитируются возможностями носителя и его спуско-подъемного устройства; системы навигации и связи аппарата и судно-носителя также взаимосвязаны.

Из сказанного может быть сформулирован порядок проведения технико-экономического обоснования в соответствии с изложенной выше схемой (нормальной моделью) использования аппаратов:

1. В зависимости от технико-эксплуатационных элементов аппарата определяют интенсивность, потенциал поиска и вероятность обнаружения объекта в течение одного погружения.
2. Определяют число погружений, необходимое для обнаружения объекта с заданной вероятностью.
3. В зависимости от числа аппаратов на судно-носителе и вероятности неблагоприятной погоды определяют необходимое время пребывания судна в районе поиска.
4. В зависимости от удаления района поиска и скорости судно-носителя определяют общее время использования судно-носителя для достижения требуемого полезного эффекта.
5. Определяются технико-экономические показатели — стоимость разработки, постройки, суточных эксплуатационных затрат для аппарата и судно-носителя в зависимости от их технико-эксплуатационных элементов.
6. В зависимости от затраченного на решение задачи времени судно-носителем и количества погружений аппаратов с учетом технико-экономических показателей судно-носителя и аппаратов определяют приведенные затраты на достижение требуемого полезного эффекта — обнаружения объекта с заданной вероятностью.

Рассмотрим в изложенной последовательности этапы проведения обоснования.

Первый этап — определение вероятности обнаружения объекта в течение одного погружения. Поиск объекта представляет собой процесс, протекающий во времени, и вероятность его успешного завершения можно рассматривать как некоторую функцию времени. Характер этой функции определяется технико-эксплуатационными элементами аппарата, осу-

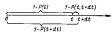


Рис. 4.5. К раскату вероятности обнаружения.

Определим вероятность обнаружения объекта в зависимости от времени поиска, следуя в основном И. Я. Динеру.

Пусть аппарат за время t может обнаружить объект с вероятностью $P(t)$, а за время $t + \Delta t$ — с вероятностью $P(t + \Delta t)$. Рассмотрим вероятность противоположного события — обнаружения объекта за время $t + \Delta t$ (рис. 4.5). Это может быть, если объект не был обнаружен ни в интервале времени от 0 до t , ни в интервале от t до $t + \Delta t$:

$$1 - P(t + \Delta t) = [1 - P(t)][1 - P(t, t + \Delta t)] \quad (4.16)$$

Здесь $P(t, t + \Delta t)$ — условная вероятность того, что объект обнаружен в интервале $(t, t + \Delta t)$, если за предшествующий интервал $(0, t)$ объект обнаружен не был. Эта условная вероятность может быть названа элементарной. Элементарная вероятность обнаружения с точностью до бесконечно малой высшего порядка малости $O\Delta t$ пропорциональна длительности промежутка Δt :

$$P(t, t + \Delta t) = \gamma(t)\Delta t + O(\Delta t), \quad (4.17)$$

где $\gamma(t)$ — коэффициент пропорциональности.

Подставляя (4.17) в (4.16), получим

$$P(t + \Delta t) = P(t) + [1 - P(t)][\gamma(t)\Delta t + O(\Delta t)],$$

или

$$\frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t} = \left[\gamma(t) + \frac{O(\Delta t)}{\Delta t} \right] [1 - P(t)], \quad (4.18)$$

Устремляя Δt к нулю и пренебрегая бесконечно малой высшего порядка, получим дифференциальное уравнение с разделимыми переменными

$$\frac{dP(t)}{dt} = \gamma(t)[1 - P(t)]. \quad (4.19)$$

В соответствии с формулой (4.17) за бесконечно малый промежуток времени dt в поле зрения попадает один объект с вероятностью $\gamma(t)dt$ и ни одного объекта с вероятностью $1 - \gamma(t)dt$.

шестнадцатого поиска, в том числе дальностью действия его приборов, определяющей ширину просматриваемой полосы, скоростью, с которой осуществляется поиск, а также площадью района, в которой может находиться объект поиска.

Легко видеть, что $\gamma(t)dt$ есть математическое ожидание числа обнаружений за время dt . Действительно,

$$M_{\Delta t} = \alpha[1 - \gamma(t)dt] + 1\gamma(t)dt = \gamma(t)dt.$$

Величина $\gamma(t)$ равна математическому ожиданию числа обнаружений в единицу времени. Мы будем называть ее интенсивностью поиска. Поскольку число обнаружений не может быть меньше нуля, интенсивность поиска — величина неотрицательная.

Положим вероятность обнаружения в момент начала поиска равной нулю и проинтегрируем уравнение (4.19) при начальных условиях $P(0) = 0$:

$$\frac{dP(t)}{1 - P(t)} = \gamma(t)dt;$$

$$\ln[1 - P(t)] = - \int_0^t \gamma(t)dt + C_1;$$

$$1 - P(t) = Ce^{-\int_0^t \gamma(t)dt},$$

где $C = e^{C_1}$.

Используя начальное условие, определим постоянную интегрирования C :

$$1 - P(0) = 1 - 0 = Ce^{-\int_0^0 \gamma(t)dt} = Ce^0 = C, \\ C = 1,$$

откуда

$$P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \gamma(t)dt}. \quad (4.20)$$

Далее будем полагать, что эффективность средства поиска подводного аппарата и условия его использования поиска не меняются. Тогда интенсивность поиска неизменна:

$$\gamma(t) = \gamma = \text{const}$$

и

$$P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \gamma dt} = 1 - e^{-\gamma t}. \quad (4.21)$$

Величину $P(t)$ называют в отличие от элементарной накопленной или интегральной вероятностью обнаружения. Про-

величине $\mu = \gamma t$ называется потенциалом поиска. В силу неотрицательности интенсивности поиска γ потенциал поиска — возрастающая функция времени. Накопленная вероятность обнаружения — также неотрицательная функция времени. Действительно, при $t_2 > t_1$

$$P(t_2) - P(t_1) = e^{-\mu_1} - e^{-\mu_2} \geq 0.$$

Отметим важное свойство интенсивности поиска. Интенсивность поиска единичная, т. е. если в поиске участвует несколько подводных аппаратов, то накопленная вероятность обнаружения есть функция суммарной интенсивности поиска:

$$P_2(t) = 1 - e^{-\sum \gamma_i t}. \quad (4.22)$$

Формула (4.22) описывает вероятность обнаружения объекта хотя бы одним из участвующих в поиске аппаратов. Рассмотрим произвольное событие — такое, когда объект не обнаруживается за одним из подводных аппаратов. Вероятность этого события будет равна

$$1 - P_1(t) = [1 - P_1(t)] [1 - P_2(t)] \dots [1 - P_n(t)].$$

Подставляя вместо $P_i(t)$ его выражение из (4.21), получим

$$P_2(t) = 1 - [1 - 1 + e^{-\gamma_1 t}] [1 - 1 + e^{-\gamma_2 t}] \dots [1 - 1 + e^{-\gamma_n t}] = 1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n) t} = 1 - e^{-\sum \gamma_i t}.$$

Определим интенсивность поиска. Будем полагать, что место нахождения объекта поиска распределено по закону равномерной плотности, т. е. объект может с одинаковой вероятностью находиться в любом месте района поиска. Будем также полагать, что поиск осуществляется по хаотичной траектории, т. е. с одинаковой вероятностью обследуются и те участки, которые уже просмотрены, и те, которые не просматривались. При этих допущениях элементарная вероятность обнаружения объекта за промежуток dt равна отношению площади просмотренного за dt участка района S к общей его площади S :

$$\gamma dt = \frac{dS}{S}. \quad (4.23)$$

В начальный момент времени средства поиска облетаемого аппарата позволяют обойти участок ACB

Рис. 4.6. К определению интенсивности обнаружения.



(рис. 4.6), площадью $\frac{\pi D_p^2}{2}$, где D_p — дальность действия средства обнаружения.

За промежуток dt аппарат перемещается на $v_0 dt$, и с учетом площади, просмотренной в начальный момент, оказывается просмотренным участок $AA_1C_1B_1B$. Так как площадь полуокруга $A_1C_1B_1$ равна площади полуокруга ACB , то

$$S = S_{AA_1C_1B_1B} = S_{AA_1C_1B_1} + S_{ACB} = 2D_p v_0 dt,$$

а интенсивность поиска с учетом (4.22) будет равна

$$\gamma = \frac{2D_p v_0}{S} p_0. \quad (4.24)$$

где p_0 — зависящая от качества средства обнаружения вероятность обнаружения объекта, поданного в просматриваемую площадь.

При одновременном использовании двух средств обнаружения интенсивность поиска запишется в виде

$$\gamma = \frac{2v_0}{S} [(D_p^{(1)} - D_p^{(2)}) p_0^{(1)} + D_p^{(2)} [1 - (1 - p_0^{(1)})(1 - p_0^{(2)})]]. \quad (4.25)$$

где $D_p^{(1)}$, $D_p^{(2)}$ — дальности действия первого и второго средства обнаружения соответственно; $p_0^{(1)}$, $p_0^{(2)}$ — вероятность обнаружения объекта, поданного и просматриваемую площадь первым и вторым средством соответственно.

Первое слагаемое относится к полосе, просматриваемой только первым поисковым средством, второе — к полосе, где действительно оба средства обнаружения и выражение в квадратных скобках описывает вероятность того, что объект будет обнаружен хотя бы одним из этих средств.

Стоит отметить, что формула (4.21) может быть получена из более простых соображений. Пусть весь район поиска S разделен на равные элементарные участки s . Вероятность обнаружения на каждом из участков определяется произведением двух вероятностей: безусловной вероятности того, что объект поиска находится на этом элементарном участке, и условной вероятности, того, что находящийся на элементарном участке объект будет обнаружен. Легко заметить, что условная вероятность обнаружения на элементарном участке равна вероятности контакта p_0 . Выбирая элементарный участок равным

$$s = 2D_p v_0 dt,$$

получим из геометрических соображений безусловную вероятность нахождения объекта на участке s :

$$\frac{s}{S} = \frac{2Dp_0M}{S}$$

Полная вероятность обнаружения на каждом участке:

$$\frac{s}{S} p_0 = \frac{2Dp_0M}{S} p_0 = \gamma \Delta t.$$

Теперь можно записать вероятности того, что при последовательном просмотре участков объект поиска будет обнаружен: на первом участке $\gamma \Delta t$; на втором участке $(1 - \gamma \Delta t) \gamma \Delta t$; на i -м участке $(1 - \gamma \Delta t)^{i-1} \gamma \Delta t$ и хотя бы на одном из n просматриваемых участков, на которые разделен район S :

$$\begin{aligned} P(n) &= \gamma \Delta t + (1 - \gamma \Delta t) \gamma \Delta t + (1 - \gamma \Delta t)^2 \gamma \Delta t + \\ &+ \dots + (1 - \gamma \Delta t)^{n-1} \gamma \Delta t = \\ &= \gamma \Delta t \frac{1 - (1 - \gamma \Delta t)^n}{1 - (1 - \gamma \Delta t)}. \end{aligned}$$

Учитывая, что если на просмотр одного участка затрачивается Δt , а общее время на просмотр всех n участков t_n , то $n = \frac{t_n}{\Delta t}$ и вероятность обнаружения хотя бы на одном из n элементарных участков

$$P(t_n) = 1 - (1 - \gamma \Delta t)^{\frac{t_n}{\Delta t}}.$$

Устремляя Δt к нулю и используя хорошо известный предел, получим

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t_n) = 1 - e^{-\gamma t_n}.$$

Формула (4.21) справедлива при постоянной интенсивности поиска, т. е. в том случае, когда нет оснований для перемены в процессе поиска вероятности заложения объекта поиска на каждом из элементарных участков. Это справедливо в двух случаях: при хаотическом поиске (при недостаточном навигационном обеспечении) и при поиске подвижного объекта. В первом случае участок может просматриваться неоднократно или при просмотре один участок может «навалить» на другой. Во втором случае нет уверенности, что объект не появился на одном из просмотренных участков. При поиске неподвижного объекта вторая причина исключена, а при достаточно надежном навигационном обеспечении имеет место систематический

поиск — каждый элементарный участок просматривается один, и только один раз за проход всего района.

При систематическом поиске оценка вероятности заложения объекта на каждом элементарном участке будет меняться. Вероятность того, что объект находится на просмотренном участке и не обнаружен, равна $1 - p_0$. Соответственно вероятность того, что после просмотра i участков объект окажется на одном из непросмотренных участков, увеличится приблизительно пропорционально

$$\frac{S}{1 - i p_0} \quad (4.25)$$

Обозначая

$$\frac{2Dp_0}{S} = \gamma,$$

а время обхода всех n участков через t_n , причем

$$t_n = \frac{S}{2Dp_0} = \frac{1}{\gamma},$$

можно записать

$$\frac{S}{S - i \frac{2Dp_0 p_0}{S} \Delta t} = \frac{1}{1 - i \gamma p_0 \Delta t}.$$

Текущая интенсивность поиска при переходе от участка k участку i в процессе поиска непрерывно возрастает и равна

$$\gamma(i) = \frac{\gamma p_0}{1 - i \gamma p_0 \Delta t}. \quad (4.27)$$

Вероятность обнаружения объекта поиска при последовательном обходе всех участков составит

$$\begin{aligned} P_0(n) &= \gamma_1 p_0 \Delta t + (1 - \gamma_1 p_0 \Delta t) \frac{\gamma_2 p_0 \Delta t}{1 - \gamma_2 p_0 \Delta t} + \\ &+ (1 - \gamma_1 p_0 \Delta t) \left(1 - \frac{\gamma_2 p_0 \Delta t}{1 - \gamma_2 p_0 \Delta t}\right) \frac{\gamma_3 p_0 \Delta t}{1 - \gamma_3 p_0 \Delta t} + \dots + \\ &+ (1 - \gamma_1 p_0 \Delta t) \dots \left(1 - \frac{\gamma_{(n-2)} p_0 \Delta t}{1 - \gamma_{(n-2)} p_0 \Delta t}\right) \frac{\gamma_{(n-1)} p_0 \Delta t}{1 - \gamma_{(n-1)} p_0 \Delta t} = \\ &= \gamma_1 p_0 \Delta t + \gamma_2 p_0 \Delta t \frac{1 - \gamma_1 p_0 \Delta t}{1 - \gamma_1 p_0 \Delta t} + \gamma_3 p_0 \Delta t \frac{(1 - \gamma_1 p_0 \Delta t)(1 - \gamma_2 p_0 \Delta t)}{(1 - \gamma_1 p_0 \Delta t)(1 - \gamma_2 p_0 \Delta t)} + \\ &+ \dots + \gamma_n p_0 \Delta t \frac{(1 - \gamma_1 p_0 \Delta t)(1 - \gamma_2 p_0 \Delta t) \dots (1 - \gamma_{(n-1)} p_0 \Delta t)}{(1 - \gamma_1 p_0 \Delta t)(1 - \gamma_2 p_0 \Delta t) \dots (1 - \gamma_{(n-1)} p_0 \Delta t)} = \\ &= \gamma_1 p_0 \Delta t + \gamma_2 p_0 \Delta t + \dots + \gamma_n p_0 \Delta t. \end{aligned}$$

Поскольку $p \Delta t = \rho$, то вероятность обнаружения объекта за один обход будет равна

$$P_0 = \gamma \rho_0 t_0 = \rho_0 \quad (4.28)$$

Вероятность обнаружения объекта за m обходов составит

$$P(m) = 1 - (1 - \rho_0)^m$$

Для получения приближенной зависимости накопленной вероятности обнаружения от времени поиска воспользуемся распространенным в теории поиска временем. Эта зависимость записывается в виде показательной функции

$$P(t) = 1 - e^{-\gamma^* t} \quad (4.29)$$

где γ^* — правдоподобная интенсивность поиска, определяемая через математическое ожидание времени, затрачиваемого на поиск $\mu(T_0)$:

$$\gamma^* = \frac{1}{\mu(T_0)} \quad (4.30)$$

Также замена, как правило, не приводит к заметным погрешностям. Математическое ожидание времени, затрачиваемого на обнаружение при систематическом поиске, может быть определено из следующих соображений. Вероятность того, что обнаружение произойдет при i -м обследовании района, равна

$$\rho_0 (1 - \rho_0)^{i-1}$$

При этом деятельность поиска будет состоять из i -го цикла за предшествующие $(i-1)$ циклов и в среднем половина времени, нужного на i -й цикл:

$$(i-1)t_0 + \frac{t_0}{2} = \left(i - \frac{1}{2}\right)t_0$$

Математическое ожидание времени на обнаружение объекта равно

$$\begin{aligned} \mu(T_0) &= t_0 \sum_{i=1}^{\infty} \rho_0 (1 - \rho_0)^{i-1} \left(i - \frac{1}{2}\right) = \\ &= \frac{\rho_0 t_0}{2} \left[2 \sum_{i=1}^{\infty} i (1 - \rho_0)^{i-1} - \sum_{i=1}^{\infty} (1 - \rho_0)^{i-1} \right]. \end{aligned}$$

Ряд под знаком первой суммы суммируется тем же способом, что применялся в § 4.1, после интегрирования в послед-

ующего дифференцирования, вторая сумма — обычная геометрическая прогрессия

$$\mu(T_0) = \frac{\rho_0 t_0}{2} \left(\frac{2}{\rho_0^2} - \frac{1}{\rho_0} \right) = \frac{t_0}{2} \frac{2 - \rho_0}{\rho_0};$$

подставляя вместо $t_0 = \frac{1}{\gamma_0}$, получим

$$\mu(T_0) = \frac{2 - \rho_0}{2 \rho_0 \gamma_0}; \quad \gamma^* = \gamma_0 \rho_0 \frac{2}{2 - \rho_0} \quad (4.31)$$

Приближенное выражение для потенциала поиска будет иметь вид

$$\mu(t) = \gamma^* t = \gamma_0 \rho_0 \frac{2}{2 - \rho_0} t \quad (4.32)$$

а накопленная вероятность обнаружения

$$P_0(t) = 1 - e^{-\gamma^* t} = 1 - e^{-\gamma_0 \rho_0 \frac{2}{2 - \rho_0} t} \quad (4.33)$$

Выражения (4.32) и (4.33) могут использоваться вместо выражений для потенциала поиска и накопленной вероятности в формуле (4.21) в том случае, когда имеет место систематический поиск. Величина $\frac{2}{2 - \rho_0}$ играет роль поправочного коэффициента, учитывающего систематический характер поиска.

Для расчетов по формуле (4.21) или (4.33) необходимо знать еще одну величину — время, в течение которого осуществляется поиск.

Эта величина определяется исходя из автономности аппарата с учетом запасов энергии и психофизиологических возможностей гидронатов. Таким образом, время поиска

$$t_0 = \min \{A_0^E, A_0^P\} = (t_0 + t_0) \quad (4.34)$$

где A_0^E — автономность аппарата по запасам энергии; A_0^P — автономность, определенная по психофизиологическим возможностям акванавтов; t_0 — время спуска на воду аппарата, отхода от борта и погружения на глубину проведения работ; t_0 — время всплытия, подхода к борту и подъема из борта.

Второй этап — определение числа погружений, необходимых для отыскания объекта с заданной вероятностью.

Пусть вероятность обнаружения объекта поиска в течение одного погружения равна P_0 , а заданная вероятность обнаружения P_0 . Для достижения заданной вероятности обнаружения

производится и погружений. Вероятность того, что хотя бы в одном из n погружений будет обнаружен объект:

$$P(n, P) = 1 - (1 - P)^n. \quad (4.35)$$

Приравняв $P(n, P)$ заданной вероятности обнаружения P_0 и подставив в (4.37) выражение $P = P(L_0)$ из (4.21), после некоторых преобразований получим

$$n = \frac{\ln(1 - P_0)}{\ln(1 - P)} = \frac{\ln(1 - P_0)}{\ln(1 - 1 + e^{-\alpha L_0})} = \frac{\ln(1 - P_0)}{\alpha L_0}. \quad (4.36)$$

Стоит отметить, что в знаменателе выражения (4.36) стоит потенциал зонка в течение одного погружения, т. е. математическое ожидание числа обнаружений за время поиска.

Третий этап — определение времени нахождения судна-носителя в районе поиска.

Для определения основного и вспомогательного времени, приходящегося на одно погружение, воспользуемся методом построения циклограмм. В соответствии с [14] и [66] элементами циклограмм использования подводного аппарата будут (см. рис. 3.16): подготовка к погружению ($t_{0,а}$); погружение, включая спуск на воду, и отход от борта, и погружение на глубину проведения работ, время нахождения на глубине, всплытие, подход к борту и подъем на борт ($t_{г,а}$); обслуживание после погружения ($t_{0,б}$); зарядка аккумуляторных батарей ($t_{э}$).

Затраты времени, приходящиеся на погружение одного аппарата (если аппарат на судне один), составят

$$t_{г,а} = t_{0,а} + t_{г,а} + t_{0,б} + t_{э}. \quad (4.37)$$

где $t_{г,а}$ — длительность цикла работ, связанных с одним погружением.

Общие затраты времени, необходимые для обнаружения объекта с заданной вероятностью при благоприятных погодных условиях, составят

$$t_{г,об}(P_0) = n t_{г,а}. \quad (4.38)$$

Поскольку гидрометеорологические условия не всегда благоприятствуют погружениям, необходимо учесть потери времени на простои вследствие неблагоприятной погоды. Для этого воспользуемся формулой (4.7).

Общее время пребывания судна-носителя в районе зонка с учетом влияния гидрометеорологических условий имеет вид

$$T_{г,об} = t_{г,об} \frac{1}{1 - p} = \frac{n t_{г,а}}{1 - p}, \quad (4.39)$$

где p — вероятность неблагоприятных погодных условий, определяемая допустимой балльностью проведения погружений и обеспеченностью волнения в районе проведения работ.

Четвертый этап — определение общего времени использования судна-носителя.

Общее время использования судна зонкима временем пребывания судна в районе включает время, затрачиваемое на переходы, а также время стоянок в порту и в ремонте. Это обстоятельство учитывается с помощью известных коэффициентов использования автономности и использования общего бюджета времени. Коэффициент использования автономности определяется по формуле

$$K_{ав} = 1 - \frac{L}{\Pi_{г,а} A_{г,а}}, \quad (4.40)$$

где L — удаление района проведения работ от базы, миль; $v_{г,а}$ — эксплуатационная скорость судна-носителя на переходах, уз; $A_{г,а}$ — автономность судна-носителя, сут.

Коэффициент использования автономности выражает отношение времени пребывания судна в районе выполнения работ к автономности. Действительно,

$$\frac{T_{г,а}}{A_{г,а}} = \frac{A_{г,а} - T_{г,рем}}{A_{г,а}} = \frac{A_{г,а} - 2 \frac{L}{v_{г,а} \cdot 24}}{A_{г,а}} = 1 - \frac{L}{\Pi_{г,а} A_{г,а}},$$

где $T_{г,а}$ — время пребывания судна в районе работ; $T_{г,рем}$ — длительность перехода из порта в район работ.

Затраты времени на стоянки в порту (межрейсовые периоды) учитываются коэффициентом использования общего бюджета времени, имеющего смысл отношения времени пребывания судна в море к длительности цикла его использования (от ввода в строй или от большого ремонта до следующего большого ремонта). Коэффициент использования общего фонда времени определяется по формуле

$$K_{об} = \frac{n A_{г,а}}{n A_{г,а} + (n - n_{г,рем} - 1) T_{г,рем} + n_{г,рем} T_{г,рем} + T_{г,рем}}, \quad (4.41)$$

где n — число рейсов за цикл; $n_{г,рем}$ — число докований за цикл; $n_{г,рем}$ — число малых ремонтов за цикл; $T_{г,рем}$ — длительность межрейсового периода; $T_{г,д}$ — длительность докования, сут; $T_{г,рем}$ — длительность малого ремонта, сут; $T_{г,об}$ — длительность большого ремонта, сут.

С учетом сказанного, общее время, требующееся для достижения заданного уровня полезного эффекта (обнаружение объекта с некоторой вероятностью), определяется выражением

$$T_{г,об} = \frac{n t_{г,а}}{(1 - p) K_{ав} K_{об}}, \quad (4.42)$$

Этот показатель играет важную роль — он служит базой исчисления приведенных затрат на решение поставленной задачи.

Пятый этап — определение технико-экономических показателей.

Стоимость разработки и постройки обитаемого подводного аппарата и судна-носителя, среднегодовое или среднесуточное эксплуатационные затраты исчисляются в зависимости от технико-эксплуатационных элементов комплекса: подводный аппарат — судно-носитель. При этом в первую очередь рассматривают элементы, которые учтены в модели функциональной эффективности. К ним относятся: зонковая скорость аппарата, дальность действия средств обнаружения, автономность, предельная скорость погружения и всплытия аппарата, скорость, автономность и морозостойкость судна-носителя. Предельная глубина погружения аппарата занимает особое место. Это объясняется пороговым характером функции полезности этого элемента (см. гл. 2). Действительно, если предельная глубина погружения аппарата меньше, чем это необходимо для проведения работ, аппарат просто непригоден для такой задачи; если предельная глубина больше необходимой, никаких дополнительных преимуществ это не приносит.

Хотя модель оценки технико-экономических характеристик аппарата и судна-носителя должна строиться в соответствии с принципом, изложенным в гл. 2, в некоторых случаях для ориентировочных расчетов могут использоваться и приближенные однопараметрические зависимости (например, от водоизмещения). Зависимости такого рода для среднесуточных эксплуатационных затрат по подводному аппарату и судно-носителю приведены в [24]. В результате аппроксимации этих зависимостей могут быть предложены следующие расчетные формулы.

Среднесуточные эксплуатационные расходы:

$$\text{по подводному аппарату} \\ C_{\Sigma, \text{а}} = 0,04D_{\text{а}} + 0,5, \text{ тыс. руб.}, \quad (4.43)$$

где $D_{\text{а}}$ — во-время водоизмещение (масса) аппарата, т; по судно-носителю без аппарата

$$C_{\Sigma, \text{с}} = 0,029D_{\text{с}}^{0,5} + 0,5, \text{ тыс. руб.}, \quad (4.44)$$

где $D_{\text{с}}$ — водоизмещение судна-носителя.

Шестой этап — определение приведенных затрат на достижение заданного полезного эффекта.

В зависимости от общих затрат формулы, определяемых по формуле (4.31) в соответствии с формулами (3.73) и (3.75), исчисляют приведенные затраты, включая прямые и сопутствующие, на обнаружение объекта:

$$Z = [(C_{\Sigma, \text{а}} + C_{\Sigma, \text{с}}) + (C_{\text{пр}} + C_{\text{соп}}) \frac{T_{\text{н}}}{365}] T_{\text{н}}, \quad (4.45)$$

Приведем иллюстративный пример расчета по изложенной методике (цифры условные). Сравним отлаченные только

поисковой скоростью два подводных аппарата, имеющие следующие технико-эксплуатационные элементы и стоимость постройки (табл. 4.16).

Таблица 4.16. Исходные данные для расчета

Элемент	Обозначение	1-й вариант	2-й вариант
Рабочая глубина погружения	H	200 м	300 м
Поисковая скорость воды	$v_{\text{в}}$	1,03 м/с	1,54 м/с
Дальность действия зонковой скорости	$D_{\text{з}}$	300 м	300 м
Вероятность обнаружения объекта, находящегося в пространственной зоне	$P_{\text{н}}$	0,8	0,8
Автономность	$A_{\text{а}}$	8 ч	8 ч
Масса аппарата	$D_{\text{а}}$	18 т	32 т
Стоимость постройки	$C_{\Sigma, \text{а}}$	774 тыс. руб.	1376 тыс. руб.

Заданная вероятность обнаружения объекта $P_{\text{н}} = 0,95$. Удаление района поиска от порта базирования $L = 1000$ миль. Площадь района поиска $S = 100 \text{ км}^2$. Вероятность неблагоприятной погоды в районе поиска $p = 0,2$. Автономность судна-носителя $A_{\text{с}} = 75$ сут. Скорость судна-носителя (эксплуатационная) $v_{\text{с}} = 12$ уз.

Выбор варианта производится в соответствии с ранее изложенным по критерию приведенных затрат на поиск объекта, приводящий с 95 %-ой вероятностью к его обнаружению.

Первый этап п. 1. Определим по формуле (4.24) интенсивность несистематического поиска:

$$Y^{(0)} = \frac{2 \cdot 3,71 \text{ км/ч} \cdot 0,3 \text{ км}}{100 \text{ км}^2} = 0,8 = 0,0178 \text{ ч}^{-1};$$

$$Y^{(2)} = \frac{2 \cdot 5,56 \text{ км/ч} \cdot 0,3 \text{ км} \cdot 0,8}{100} = 0,0266 \text{ ч}^{-1}.$$

2. Примем в соответствии с [14] следующие элементы цикла использования обоих аппаратов в рамках одного погружения.

Спусти на воду, отход от борта, погружение на глубину — $t_{\text{п}} = 1,5$ ч, всплытие, выход к борту, подъем на борт $t_{\text{в}} = 1,5$ ч (для обоих вариантов).

Определим по формуле (4.25) время, в течение которого осуществляется поиск:

$$t_{01} = 8 - (1,5 + 1,5) = 5 \text{ ч};$$

$$t_{02} = 8 - (1,5 + 1,5) = 5 \text{ ч}.$$

3. Определим потенциал поиска и вероятность обнаружения объекта в течение одного погружения по формулам (4.32) и (4.33):

$$m_1 = 0,0178 \frac{2}{2 - 0,8} 5 = 0,148;$$

$$m_2 = 0,0266 \frac{2}{2 - 1,3} 5 = 0,221;$$

$$P_1(t_{01}) = 1 - e^{-0,148} = 0,137;$$

$$P_2(t_{02}) = 1 - e^{-0,221} = 0,198.$$

Второй этап. 4. Определим по формуле (4.38) число погружений, необходимое для обнаружения объекта с заданной 95 %-ой вероятностью:

$$n_1 = \frac{\ln(1 - 0,95)}{-0,137} = 22; \quad n_2 = \frac{\ln(1 - 0,95)}{-0,198} = 15;$$

Третий этап. 5. Определим время, приходящееся на одно погружение. Следуя [14], примем значения элементов цикла использования подводного аппарата (для обоих вариантов):

Этап	Величина	Затраты времени, ч	
		Вариант 1	Вариант 2
Подготовка к погружению	t_{20}	3	3
Погружение	$t_{21} = A_{21}$	8	8
Обслуживание после подъема	t_{22}	2	2
Зарядка аккумуляторных батарей аппарата	t_{23}	20	20

По формуле (4.29) определим длительность цикла

$$t_{c1} = 3 + 8 + 2 + 20 = 33 \text{ ч}; \quad t_{c2} = 3 + 8 + 2 + 20 = 33 \text{ ч}.$$

6. Определим общее время на поиск с учетом неблагоприятной погоды по формуле (4.39):

$$T_{\text{общ1}} = \frac{33 \cdot 22}{(1 - 0,2) \cdot 24} = 38 \text{ сут}; \quad T_{\text{общ2}} = \frac{33 \cdot 15}{(1 - 0,2) \cdot 24} = 25 \text{ сут}.$$

Четвертый этап. 7. Определим коэффициент использования автономности судна-носителя по формуле (4.40):

$$K_{\text{а.1}} = 1 - \frac{1000}{12 \cdot 22 \cdot 75} = 0,91; \quad K_{\text{а.2}} = 1 - \frac{1000}{12 \cdot 15 \cdot 75} = 0,91.$$

8. Примем по опыту эксплуатации следующие значения элементов цикла использования судна-носителя в обоих вариантах.

Длительность межрейсового периода (подготовки к выходу) 15 сут. Через каждые 6 выходов (примерно раз в полтора года) проводится докование, совмещенное с навигационным ремонтом длительностью в 30 сут. Через каждые 12 выходов (примерно 1 раз в 3 года) проводится малый ремонт длительностью 90 сут. Через 36 выходов проводится большой ремонт длительностью 180 сут.

Определим по формуле (4.41) коэффициент использования общего фонда времени судна-носителя.

Нетрудно видеть, что в цикле будет 30 межрейсовых периодов, три докования, два малых ремонта и один большой:

$$K_{\text{в.1}} = K_{\text{в.2}} = \frac{36 \cdot 75}{36 \cdot 75 + (35 \cdot 3 - 2 - 1) \cdot 15 + 3 \cdot 30 + 2 \cdot 90 + 180} = 0,749.$$

9. Определим по формуле (4.42) общее время использования судна-носителя для достижения заданного полезного эффекта, учти при этом результаты расчета по формуле (4.39) в пункте 6 примера:

$$T_{\text{в1}} = \frac{38}{0,91 \cdot 0,75} = 56 \text{ сут}; \quad T_{\text{в2}} = \frac{25}{0,91 \cdot 0,75} = 35 \text{ сут}.$$

Пятый этап. 10. Определим по приближенной формуле, предложенной в [24], водоизмещение судна-носителя. Для судна-носителей, построенных на базе промысловых и научно-поисковых судов, существует зависимость между массой аппарата и водоизмещением судна-носителя:

$$D_{\text{в}} = 55D_{\text{а}} + 600 \text{ т},$$

где D_{01} — водоизмещение судна-носителя; D_{02} — масса аппарата.

$$D_{01} = 55 \cdot 18 + 600 = 1590 \text{ т};$$

$$D_{02} = 55 \cdot 32 + 600 = 2360 \text{ т}.$$

11. Определим примерную стоимость судна-носителя (в тыс. руб.) по формуле

$$C_{0.11} = 25D_{01}^{0.75} + 600, \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{0.11} = 25 \cdot 1590^{0.75} + 600 = 4000 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{0.12} = 25 \cdot 2360^{0.75} + 600 = 5010 \text{ тыс. руб.}$$

12. Определим по формуле (4.43) среднесуточные эксплуатационные расходы по полководному аппарату:

$$C_{0.13} = 0,04 \cdot 18 + 0,5 = 1,22 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_{0.14} = 0,04 \cdot 32 + 0,5 = 1,78 \text{ тыс. руб.}$$

13. Определим по формуле (4.44) среднесуточные эксплуатационные расходы на судно-носителя:

$$C_{0.15} = 0,029 \cdot 1590^{0.75} + 0,5 = 4,45 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{0.16} = 0,29 \cdot 2360^{0.75} + 0,5 = 5,84 \text{ тыс. руб.}$$

Шестой этап. 14. Определим по формуле (4.45) приведенные затраты на выполнение всей работы:

$$Z_1 = \left[(1,22 + 4,45) + (4000 + 774) \frac{0,15}{360} \right] 56 = 427 \text{ тыс. руб.};$$

$$Z_2 = \left[(1,78 + 5,84) + (5010 + 1376) \frac{0,15}{360} \right] 38 = 382 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом (в данном примере при сделанных допущениях и принятых условных значениях исходных данных), увеличение скорости полководного аппарата на один узел оказывается экономически целесообразным.

В приведенном примере варьировались только одни параметр, однако нетрудно видеть, что при варьировании несколькими параметрами порядок расчетов и расчетные формулы не меняются.

4.3. Примененные методы программно-целевого планирования при создании средств освоения Мирового океана

Существующие и создаваемые средства освоения Мирового океана (суда, планерства, обитаемые и необитаемые подводные аппараты) тесно взаимосвязаны. Они связаны совместным использованием в сфере эксплуатации, связаны тем, что в ряде случаев строятся на одних и тех же заводах, а проектируются иногда в одних и тех же проектно-конструкторских организациях. Поэтому проектирование какого-либо аппарата, оторванное от комплексного решения проблемы освоения океана, может привести к существенным ошибкам, а технико-экономическое обоснование объекта изолировано от комплекса средств, совместно с которыми этот объект будет использоваться, вообще не представляется возможным.

Обоснование должно носить системный характер и осуществляться в рамках программно-целевого планирования, где комплекс мероприятий по решению проблемы освоения Мирового океана составляет самостоятельную программу.

Поэтому прежде всего необходимо рассмотреть, что такое программно-целевое планирование, его особенности и представить, как выглядит программа освоения Мирового океана.

Переход на программно-целевое планирование предусмотрен решениями XXIV, XXV и XXVI съездов КПСС, постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 июля 1979 г. «Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности и качества работы».

По существу, программно-целевое планирование — это реализация народнохозяйственным планированием системного подхода, учет ближайших и долгосрочных последствий значимых мероприятий.

На определенной ступени развития народного хозяйства примерно до середины 60-х годов в большинстве случаев специальных мероприятий для реализации целевого системного подхода практически не требовалось. Сигн в экономике были достаточно просты, народнохозяйственные цели легко просматривались в категориальных ресурсах. Действительно, именно наличие основных лимитирующих ресурсов (сталь, нефть, уголь и т. п.) определялась возможность достижения поставленных целей. Важнейшие планируемые мероприятия укладывались в перспективные стратегические планы, а в рамках пятилеток основные народнохозяйственные цели были достаточно стабильны. Планирование строилось на ресурсном принципе и велось только в двух разрезах: отраслевом и территориальном. Схематически логика этого планирования может быть представлена схемой (рис. 4.7).



Рис. 47. Логика ресурсного планирования.

Влияние научно-технического прогресса и рост технической вооруженности народного хозяйства, развитие и расширение масштабов социалистического производства существенно усложнили связь в экономике. Генеральные цели, стоящие перед народным хозяйством, требуют сложного, многообразного ресурсного обеспечения, и для их достижения требуются специальные методы планирования.

В основе программно-целевого планирования лежат система целей, восходящих к генеральным народнохозяйственным целям.

Народнохозяйственное планирование — составная часть системы социального планирования, определяемого концепцией развития общества в целом. В отчетном докладе ЦК на XXIV съезде КПСС тов. Л. И. Брежнев говорил, что высшая цель общественного производства при социализме — наиболее полное удовлетворение материальных и духовных потребностей людей. Исходя из этой высшей цели производства при социализме, определяющей концепции развития страны, формируются генеральные народнохозяйственные цели. В числе генеральных целей могут быть названы следующие: повышение благосостояния трудящихся; улучшение и развитие системы общественных отношений; развитие технической базы коммунизма; обеспечение безопасности развития социалистического общества; создание и поддержание экономического и научно-технического потенциала для будущего.

Цели развития страны служат отправной точкой всей системы социального и народнохозяйственного планирования.

Каждой цели соответствует своя программа. Под программой понимается определенный во времени комплекс мероприятий по достижению генеральной цели. Программы включают

все мероприятия, необходимые для достижения поставленной цели и все организации, участвующие в их реализации.

Программно-целевое планирование имеет некоторые особенности.

1. Программно-целевое планирование построено на ресурсно-целевом принципе. Планирование ведется по народнохозяйственным целям, и в процессе его учитывается потребность во всех видах ресурсов, необходимых для достижения как каждой цели, так и всей их совокупности. Планирование приобретает трехразрядный характер: к двум традиционным разрезам планирования, отраслевому и территориальному, добавляется третий разрез — целевой.

2. Программно-целевое планирование имеет системный характер. Иными словами, в программе предусматриваются не только главные мероприятия по достижению поставленной цели, но и все вспомогательные, обеспечивающие создание и функционирование объектов, решающих основную задачу программы.

Так, например, в подпрограмме «Исследование континентального шельфа» — одной из частных подпрограмм программы освоения Мирового океана, средствами, решающими основную задачу, могут быть научно-исследовательские суда. Однако эти суда не смогут функционировать без соответствующего навигационного обеспечения, без ремонтных баз, без подготовленного специального персонала. Поэтому к моменту начала эксплуатации судов для геолого-геофизических исследований система навигационного обеспечения должна быть соответствующим образом модернизирована, созданы или достроены (если это необходимо) ремонтные базы, подготовлены специалисты для плавания на этих судах.

Системный подход обуславливает решение всех этих задач наряду с созданием основного объекта, причем с учетом необходимых сроков.

3. Программно-целевое планирование должно быть скоординированным. В отчетном докладе Центрального Комитета XXIV съезду КПСС указывалось, что осуществление важнейших экономических и социально-политических задач требует не пяти лет, а гораздо большего срока. В этой связи остается вопрос о перспективном долгосрочном планировании развития народного хозяйства...¹

Действительно, без долгосрочного плана, ориентирующего планировку на перспективу, планирование значительно затрудняется (рис. 48).

При разработке годовых планов имеет место постоянное сокращение планового горизонта. При разработке плана на первый год пятилетия плановый горизонт составляет четыре

¹ Материалы XXIV съезда КПСС. Политиздат, 1971, с. 67.

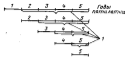


Рис. 48. Планировочный горизонт (Г) при традиционном планировании для разных лет пятилетия.

ним-ориентировка. Пятидесятилетний план-ориентировка был использован при разработке перспективного плана на X пятилетку. При этом, поскольку пятилетний план является главной составной частью пятидесятилетней перспективки, горизонт планирования остался неизменным (рис. 4.9). При разработке плана на второй год пятилетия в планировочный горизонт включается первый год следующей пятилетки, основные наметки которого вырабатываются в пятидесятилетнем плане-ориентировке. Накопленный десятилетний опыт использования программно-целевого метода в социально-экономическом планировании позволил его усовершенствовать — перейти от двузатяжного (15—5 лет) к трехзатяжному (20—10—5-летнему) планированию. Действительно, почему первоначально за долгосрочную перспективу был выбран именно пятидесятилетний план. Этот срок диктовался действительностью инновационного периода — промежутка времени от зарождения крупной технической идеи до ее реализации в серийном производстве.

Однако в процессе освоения программно-целевого метода оказалось, что из двух «сбалансировых» пятилеток (второй и третьей) «работает», по существу, только вторая. Планировочная информация по третьей пятилетке оказывается малопользуемой. Она была важна, поскольку в основном в ее пределах должна была завершаться реализация основных технических новшеств,

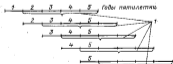


Рис. 49. Планировочный горизонт (Г) для разных лет пятилетия при программно-целевом планировании.

года, на второй год — три года и т. д. Ясно, что уже при разработке плана на четвертый год, когда горизонт планирования составляет всего один год, само понятие перспективного планирования исчезает.

При программно-целевом планировании основой разработки пятилетнего плана служат план-

В соответствии с решениями партии и правительства об улучшении планирования установленной, трехзатяжной порядок разработки комплекса программ и планов, лишенный указанного недостатка.

Перспективны развития науки и техники, разработки новых прогрессивных образцов техники определяются комплексной 20-летней программой научно-технического прогресса, разрабатываемой Академией наук СССР и Государственным комитетом по науке и технике. Эта программа служит основой второго этапа — Проекта основных направлений экономического и социального развития на 10 лет, разрабатываемого Госпланом СССР.

Таким образом, четко разрабатываются задачи 20-летней комплексной программы научно-технического прогресса и 10-летнего плана — основных направлений экономического и социального развития. Применительно к средствам основной Мировой океана в 20-летней программе должны определяться номенклатура, т. е. какие суда и средства могут быть построены, а в «Основных направлениях экономического и социального развития» на десятилетний период — уточняются номенклатура и устанавливаются количество, т. е. решается, сколько единиц каждого типа предположительно построить.

В свою очередь, основные направления десятилетнего развития служат фундаментом для разработки пятилетнего плана и обеспечивают непрерывность процесса планирования.

Однако и двадцатилетняя программа научно-технического прогресса, и основные направления экономического и социального развития на десятилетний период не могут быть неизменными. С течением времени уточняются прогнозы, меняется оценка народнохозяйственной важности отдельных задач, меняются внешнеэкономическая обстановка и конъюнктура на мировом рынке, появляются новые технические идеи и новые образцы техники, что неминуемо ведет к пересмотру эксплуатируемых и выходящих в производство образцов. Поэтому планы должны периодически (через каждые пять лет) пересматриваться и перерабатываться. В связи с этим предусматривается разработка «скользящей» перспективы (рис. 4.10). Порядок разработки пятилетних планов приведен на рис. 4.11.

Важное достоинство программно-целевого метода планирования — возможность сравнительного анализа широкого спектра альтернативных решений и, как следствие, использование для выбора оптимального решения на каждом уровне современных экономико-математических методов.

Логика программно-целевого метода планирования представлена на рис. 4.12.

Процесс подготовки плановых документов проводится в несколько этапов. Он начинается с формирования концепции долгосрочного плана и генеральных целей. Это — первый этап.

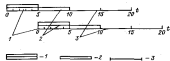


Рис. 4.10. Скользящая перебивка:

1 — основной этап; 2 — основное увеличение законченного и скользящего размера на 10 лет; 3 — скользящая перебивка ежегодного прироста на 20 лет.

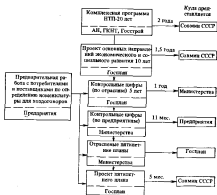


Рис. 4.11. Порядок разработки директивных планов.

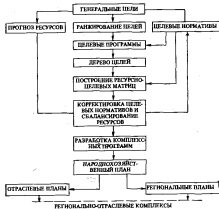


Рис. 4.12. Логика программно-целевого метода планирования.

Второй этап — расширение целей, установление приоритетного ряда генеральных целей, относительной важности каждой из них и назначение целевых нормативов. Под целевым нормативом понимается количественный показатель, характеризующий уровень достижения цели, определяющей программу. Целевые нормативы могут быть различны по своему характеру. В качестве целевого норматива может использоваться показатель уровня потребления на душу населения, общий уровень производства или добычи по стране в целом и т. п.

Решение этих задач — prerogative директивных органов, так как только на высшем уровне, в масштабе всего государства могут быть правильно соотношены по важности стоящие перед обществом задачи и намечены целевые нормативы.

Третий этап — выделение комплекса мероприятий, необходимых для достижения поставленных целей, и упорядочение этих мероприятий расположением их в иерархической последо-



Рис. 4.13. Связный граф (а), несвязный граф (б).

Граф, в котором между любыми двумя вершинами существует маршрут, проходящий только через ребра графа, называется связным (рис. 4.13). Если в графе есть маршрут, проходящий хотя бы через одно ребро, в котором начало и конец совпадают, то такой маршрут называется циклом (рис. 4.14). Связный граф, не содержащий циклов, называется деревом (рис. 4.15). В данном случае вершинами графа служат программы, подпрограммы, их разделы и т. д. Организацию комплекса мероприятий представлением его в форме графа делает материал обзорным и облегчает прослеживание взаимосвязи между ними и установление порядка подчиненности.

Одлако деревом целей описывается простейший случай выполнения первых этапов процесса программно-целевого планирования.

Иерархическая система может быть описана деревом только в том случае, когда каждое мероприятие нижнего уровня направлено на решение не более чем одной цели более высокого уровня. Это и есть условие отсутствия циклов.



Рис. 4.14. Цикл в графе (BCDAB).



Рис. 4.15. Дерево.

ительностью. При этом разложение целей в иерархическом порядке проводится особым образом. На первом уровне разлагаются все комплексные мероприятия, обуславливающие достижение генеральной цели. Для мероприятий третьего уровня целью служат мероприятия второго уровня, а мероприятия второго уровня служат средствами для достижения целей первого уровня. Таким образом, мероприятия каждого уровня служат средством для мероприятия более высокого уровня и целью для более низкого уровня.

Этот процесс называется построением дерева целей. Термин «дерево целей» неточен. Дерево — один из видов графа. Графом называется совокупность точек (вершин) и соединяющих эти вершины ребер.

В практике планирования дело обстоит значительно сложнее. Системы навигационного обеспечения, в которых упоминалось выше, складываются и развиваются не только в интересах научно-исследовательских судов для изучения континентального шельфа, но и для обеспечения судов другого назначения.

Производственные мощности судостроительных предприятий наращиваются с учетом потребностей народного хозяйства в судах и авиационистам самых различных назначений. Условие отсутствия циклов не соблюдается.

Наличие циклов в графе целей обуславливает составительность и взаимозависимость программ. Действительно, циклы возникают вследствие того, что мероприятия более низкого уровня обуславливают по нескольким мероприятиям более высокого уровня. Это означает, что повышение степени выполнения одного мероприятия может быть достигнуто только за счет снижения степени выполнения остальных. В этом проявляется составительность программ. Например, поскольку постройка судов различных типов в ряде случаев осуществляется на одних предприятиях с ограниченными производственными мощностями, увеличение числа судов одного типа неизбежно влечет за собой сокращение заказов по судам других типов. С другой стороны, результаты решения одной задачи часто положительно влияют на решение другой. Так, разработка и использование в авиации газовых турбин существенно облегчили установку и использование их на судах. В этом заключается взаимовыдержка отдельных целей.

В связи с этим наряду с целевыми программами разрабатываются носящие промежуточный характер комплексные программы, обеспечивающие достижение нескольких целей. Объединяющим началом в этих программах служит отраслевая, предметная или территориальная общность.

К таким программам относятся программы развития топливно-энергетического комплекса, металлургии, авиационных отраслей машиностроения, производственная программа, содержащаяся в материалах XXV и XXVI съездов КПСС.

К таким программам можно отнести и программу освоения Мирового океана.

Важнейшая задача планирования, определяемая балансовым характером этого процесса, — согласование потребностей в ресурсах для реализации программ и имеющиеся или планируемые их запасы. Понятно, что потребность в ресурсах для реализации каждой программы определяется великим нормативом: чем больших результатов надо достичь, тем больше на это требуется ресурсов. Поэтому в процессе программно-целевого планирования задача сбалансирования потребностей в ресурсах с возможностями требует установления соответствия между уровнями реализации каждой программы, т. е. между

целевыми нормативами по программам и потребностям для этого в каждом виде ресурса.

На определенном уровне дерева целей (мы будем пользоваться этим традиционным, хотя и неточным термином) открывается возможность выразить решаемые задачи в ресурсных показателях (построить столько-то судов одного типа, столько-то судов другого типа и т. д.).

Эта возможность появляется тогда, когда дерево целей выходит на конечные образцы, т. е. технику, идущую непосредственно в эксплуатацию, в отличие от так называемых комплексуемых образцов, поступающих в порядке кооперирования для установки на конечные образцы (например, судно — конечный образец, дизель, устанавливаемый на судно, — комплектующий). Это начало четвертого этапа — составления ресурсно-целевых матриц (РЦМ) и балансирование ресурсов.

Ресурсно-целевая матрица, записанная в натуральных показателях, представлена в табл. 4.17.

Таблица 4.17. Распределение целевых образцов по видам (количество судов)

Конечные образцы (типы)	Цели		
	Ресурсно-целевые показатели комплексированного образца	Ресурсно-целевые показатели раздельной работы на комплексированном образце	Исходящие характеристики на комплексированном образце
Геологоразведочное научно-исследовательское судно	15	5	0
Буровое судно	0	10	0
Плывучая буровая установка	0	5	7
Судно снабжения	0	2	4

Элемент a_{ij} ресурсно-целевой матрицы определяет, сколько единиц i -го ресурса (или конечных образцов i -го типа) необходимо для достижения j -цели.

Матрица (a_{ij}) наиболее высокого уровня, т. е. состоящая из конечных образцов, называется матрицей преобразимых элементов, а элементы этой матрицы — совокупность конечных образцов определенного типа, предполагаемых к использованию для достижения одной цели, — называются программными элементами.

Например, если в планируемом периоде для разведки и промышленной разработки нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе требуется построить пять самоводящихся буровых установок типа «Бакки», восемь эрпачных судов типа «Кёр-Оглю» и т. д., то указанные количества средств различных типов и представляют собой программные

элементы*. Действительно, технико-экономические характеристики этих судов и их количество определяются целевыми нормативами, например требуемым увеличением добычи нефти и газа. С другой стороны, эти элементы могут быть увязаны с имеющимися ресурсами, обуславливающими их создание, — производственными мощностями судостроительной отрасли, возможностями поставки механизмов и оборудования, металла и других материалов.

Элементы матрицы программных элементов — не обязательно положительные числа. Часть их может быть равной нулю, если для данной программы определенные средства не нужны. Ресурсно-целевые матрицы, записанные в натуральных измерениях, обладают двумя важными достоинствами: наглядностью и прямой связью с целевыми нормативами. Эта связь выражается легко просматриваемой зависимостью количества средств каждого типа от величин целевого норматива. Но им свойственны и недостатки.

Запись РЦМ в натуральных показателях требует высокой степени дифференциации образцов — каждая строка должна занимать одним определенным проектом. В противном случае суммы по строкам теряют смысл — складывать образцы, отличающиеся друг от друга, например суда разных проектов, нельзя. Суммы по столбцам матрицы вообще смысла не имеют.

Ресурсно-целевые матрицы (РЦМ) могут быть записаны не только в натуральных показателях (в количестве единиц средств того или иного типа), но и в стоимостном выражении, т. е. в рублях. В этом случае элемент РЦМ c_{ij} выражает затраты на создание всех образцов i -го типа, используемых в j -й программе.

Записанная в стоимостном выражении РЦМ имеет ряд важных достоинств — ее элементы приобретают свойство аддитивности (могут суммироваться). В стоимостном измерении РЦМ не требует жесткой дифференциации — строка может соответствовать определенной группе судов одного назначения, близких по архитектурному типу (табл. 4.18).

Суммы по столбцам и строкам имеют важный экономический смысл. Сумма элементов j -го столбца матрицы

$$\sum_j c_{ij} = c_j \quad (4.46)$$

выражает затраты на реализацию j -й программы.

Сумма элементов i -й строки матрицы характеризует суммарные затраты на образцы i -го типа, используемые во всех программах:

$$\sum_j c_{ij} = c_i \quad (4.47)$$

где c_i — затраты на все конечные образцы i -го типа.

* Цифры условные.

Таблица 4.18. Ресурсно-целевая матрица (целевая) (млн. руб.)

Ключевые образцы (типы)	Цели		
	Геолого-разведочные работы по исследованию шельфа	Геологические поисково-разведочные работы на континентальном шельфе	Исследования постраиваемых на шельфовых участках шельфа
Геолого-разведочные работы по исследованию шельфа	30	10,0	0
Буковые суда	0	70,0	0
Плавающие буровые установки	0	25,0	35,0
Суда снабжения	0	3,8	7,6

Понятно, что затраты на реализацию каждой программы зависят от ее целевого норматива. Чем выше целевой норматив, тем больше средств a_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$ потребуется для его достижения, тем больше будут затраты на эти средства c_j , $j = 1, \dots, n$, тем больше окажутся суммарные затраты на программу.

Зная общие финальные ограничения, определяемые планируемыми национальным доходом, можно записать

$$\sum_j c_j(N_j) \leq C, \quad (4.48)$$

где по-прежнему c_j — суммарные затраты на i -ю программу; N_j — целевой норматив по j -й программе; C — лимит выделенных средств на всю совокупность программ.

Варируя с учетом приоритета программ и коэффициентов их зависимости значения целевых нормативов N_j , добиваются приближенной оценки поставленных целей с имеющимися ресурсами. Однако такая оценка носит только приближенный характер — в ней не учтена структура народного хозяйства по отраслям, не учтена потребность в трудовых ресурсах каждой отрасли народного хозяйства на создание проектируемой техники.

В частности, средства освоения Мирового океана — сложные инженерные сооружения, в их создании участвуют не только судостроительные предприятия. Большая часть затрат — стоимость насыщения — приходится на другие подотрасли судостроения и кооперируемые с ними отрасли промышленности.

Матрица программных элементов дает только оценку и цель, но не дает полного представления о потребности в основных ресурсах; трудовых ресурсах в каждой отрасли и подотрасли, участвующих в реализации программы и потребности в материалах.

Такая дифференцированная оценка очень важна, так как ресурс в общем случае не взаимозаменяем. Иными словами, оказывается необходимым, базирываясь на матрице программных

элементов, «сдвигаться» на нижележащие уровни и определить потребность в основных ресурсах. Поэтому ресурсно-целевые матрицы составляются и на последующих (нижележащих) уровнях деревя целей.

Спуск на нижележащие уровни, в первую очередь, для учета специализации, может осуществляться несколькими путями.

Первый путь — определение в натуральных показателях количества комплектующей техники, необходимой для постройки конечных образцов. Эта задача решается с помощью матриц комплектажи в натуральных показателях. Элемент этой матрицы b_{ik} определяет количество комплектующих образцов k -го типа, нужных для постройки конечного образца i -го типа. Элементами матрицы комплектажи в натуральных показателях могут служить, например, число дизелей или паровых турбин, предусмотренных в установке на судно какого-либо проекта, число единиц одинакового радиоэлектронного оборудования, также предусмотренных в установке на судно или плавучее средство определенного проекта.

Элементы b_{ik} матрицы комплектажи хорошо известны в экономике — это тактико-технические нормы снабжения, разработанные в составе проектной документации.

Формально переход к РЦМ нижележащего уровня осуществляется перемножением слева матрицы комплектажи в натуральных показателях b_{ik} на матрицу программных элементов a_{ij} :

$$(d_{kj}) = (b_{ik})(a_{ij}). \quad (4.49)$$

Напомним, что перемножение двух матриц определено только при условии равенства числа столбцов первой матрицы числу строк второй матрицы (множителя). В данном случае это условие соблюдается автоматически: число столбцов первой матрицы и число строк второй матрицы выражают одно и то же — число конечных образцов, предусмотренных к постройке по всей совокупности программ.

Элемент матрицы-произведения d_{kj} определится как сумма произведений элементов с одинаковым индексом k -й строки первой матрицы и элементов j -й столбца второй матрицы:

$$d_{kj} = b_{k1}a_{1j} + b_{k2}a_{2j} + \dots + b_{kn}a_{nj}$$

т. е. выражают совокупную потребность в комплектующих образцах k -го типа на реализацию j -й программы (здесь все обозначения врезные).

Это удобно, так как выявляется связь и производные комплектующей техники с конечными результатами — возможностью реализации целевых программ. Одновременно выявляется планируемая нагрузка по номенклатуре отраслей-поставщиков этой техники.

К сожалению, такой путь оказывается чаще всего громоздким и сложным вследствие многоэлементности комплексной техники. Этот путь эффективен для выборочных расчетов, для определения потребностей в «штучном», т. е. наиболее важном, сложном, дорогостоящем оборудовании.

Второй путь — использование матриц комплектации, записанных в денежном измерении. В этом случае (применительно к средам освоения Мирового океана) затраты на конечные образцы разделяются на группы, соответствующие конструктивной разнице, т. е. по подсистемам, например в соответствии с разбивкой, выполненной в матричных моделях себестоимости, приведенных в гл. 3.

Элементом записанной в денежном измерении матрицы комплектации q_{ik} служит сумма затрат по k -й подсистеме i -го конечного образца. Примером матрицы комплектации в денежном выражении может служить матрица, содержащаяся в табл. 4.19.

Таблица 4.19. Распределение затрат на комплектующие образцы по конечным образцам (млн. руб.) (матрица комплектации)

Комплектуемые образцы (группы)	Конечные образцы (группы)			
	Геолого-разведочные и промысловые суда	Буровые суда	Платформы бурения скважин	Судна снабжения
Судно с энергетической установкой без специального оборудования	1,0	4,2	3,0	0,7
Геолого-разведочные суда	0,5	0,6	0	0
Буровое оборудование	0	0,4	0,8	0
Специальные судовые устройства	0,2	0,8	0,7	0,7
Аппаратура радиосвязи и навигации	0,3	1,0	0,5	0,5

Введенным в рассмотрение матрицы комплектации такого вида уже начинается классификация ресурсов по признаку специализации.

Действительно, в принципе каждая из подсистем требует своего специализированного производства, т. е. производства в рамках определенной подотрасли.

Элементы матрицы комплектации q_{ik} представляют собой или элементы матричной модели себестоимости, или суммы нескольких элементов, объединенных для упрощения процедуры в одну статью. Расчет этих элементов производится по методам, сущность и структура которых изложена в гл. 3.

Распределение затрат на подсистемы — промежуточный шаг. Он осуществляется умножением слева матрицы комплек-

тации на ресурсно-целевую матрицу, записанную в натуральных показателях:

$$g_{kj} = (q_{ik})(r_{ij}) \quad (4.50)$$

Здесь (g_{kj}) — матрица распределения затрат на подсистемы по целевым программам (ресурсно-целевая матрица второго уровня).

В приведенном примере построение матрицы (g_{kj}) осуществляется так:

$$\begin{pmatrix} 1,0 & 4,2 & 3,0 & 0,7 \\ 0,5 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0,7 & 0,3 \\ 0,3 & 1,0 & 0,5 & 0,5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 15 & 5 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 5 & 7 \\ 0 & 2 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15,0 & 63,4 & 23,8 \\ 7,5 & 8,5 & 0 \\ 0 & 8,0 & 5,6 \\ 3,0 & 13,9 & 7,7 \\ 4,5 & 15,0 & 5,5 \end{pmatrix}$$

Матрица (g_{kj}) , отражающая распределение затрат по целевым программам, осуществляет первый шаг перехода к балансируемому ресурсу по отраслям. Так, затраты на подсистему «судно с энергетической установкой без специального оборудования» реализуются в судостроении и машиностроении, затраты по статье «связанное оборудование» — в приборостроении. Распределение затрат по программам для нашего сложного примера приведено в табл. 4.20.

Экономический смысл сумм элементов матрицы по строкам — суммарные затраты на однородные подсистемы по всем рассматриваемым программам, т. е. измеренные в рублях общая потребность в ресурсах для их создания. Однако такое суммирование недостаточно интересно: затраты на каждую подсистему включают экономические разнородные статьи, относящиеся к разным видам ресурсов. В одну статью объединим основные материалы, трудозатраты, меньшие для отрасли (или подотрасли) поставки. Понятно, что эти ресурсы не взаимозаменяемы. Поэтому следующий шаг заключается в переходе к основным ресурсам, своим для каждой подотрасли. Такой переход осуществляется с помощью матрицы структуры затрат. Эта матрица строится следующим образом: затраты на создание каждой подсистемы разбивают по признаку принадлежности к определенной калькуляционной статье. Одновременно с этим при построении матрицы учитывают отраслевую специализацию так, чтобы на каждую отрасль и подотрасль падала та доля цены подсистемы, которая образуется в данной отрасли. Этим самым затраты на контрагентские поставки относятся к той отрасли, которая производит данное оборудование. Внутри затрат каждой отрасли выделяются за счет деления в соответствии со структурой калькуляционных статей основные ресурсы: необходимые трудозатраты и материалы. В качестве показа-

Таблица 4.20. Распределение затрат на комплекующие образцы по программам-целям (млн. руб.)

Комплекующие образцы (цели)	Цели		
	Госпланово-целевые комплекующие образцы	Госпланово-разовые работы на комплектном образце	Законченные истребованные на комплектном образце
Судно с запретической установкой без специального оборудования	15,0	63,4	23,8
Годово-гольфическое оборудование	7,5	8,5	0
Буровое оборудование	0	8,0	5,6
Специальные суда для устройства	3,0	13,9	7,7
Аппаратура радиосвязи и авиации	4,5	15,0	5,5

Таблица 4.21. Структура основных затрат при производстве подкатов (в долях)

Статьи затрат	Комплекующие образцы				
	Судно с запретической установкой	Годово-гольфическое оборудование	Буровое оборудование	Специальные суда для устройства	Аппаратура радиосвязи и авиации
а) Судостроительная подкатраса					
Основные материалы	0,15	0	0	0,40	0
Норматив чистой продукции	0,29	0	0	0,30	0
б) Машиностроительная подкатраса					
Основные материалы	0,10	0	0	0,08	0
Норматив чистой продукции	0,20	0	0	0,22	0
в) Приборостроительная подкатраса					
Основные материалы	0	0,05	0	0	0,20
Норматив чистой продукции	0	0,15	0	0	0,25
г) Доставка других образцов	0	0,80	1,0	0	0,30

теля, пропорционального трудозатратам, удобнее всего использовать норматив чистой продукции, представляющий собой выражение непосредственного вклада работников определенного предприятия, очищенного от принесенных затрат.

С учетом всего изложенного, определяется структура матрицы, содержанию которой для сквозного примера приведено в табл. 4.21.

Переход к основным ресурсам осуществляется переименованием следа матрицы структуры затрат (θ_{ij}) на ресурсно-целевую матрицу второго уровня:

$$(\theta_{ij}) = (\theta_{ij}) (g_{ij}). \quad (4.51)$$

Здесь (θ_{ij}) — матрица распределения основных ресурсов по программам (ресурсно-целевая матрица третьего уровня).

Матрица (θ_{ij}) является итоговой, ею определяются потребности в основных первичных ресурсах по каждой из программ. В сквозном иллюстративном примере распределение первичных ресурсов по программам определяется так:

$$\begin{pmatrix} 0,15 & 0,00 & 0,00 & 0,40 & 0,00 \\ 0,29 & 0,00 & 0,00 & 0,30 & 0,00 \\ 0,10 & 0,00 & 0,00 & 0,08 & 0,00 \\ 0,20 & 0,00 & 0,00 & 0,22 & 0,00 \\ 0,00 & 0,05 & 0,00 & 0,00 & 0,20 \\ 0,00 & 0,15 & 0,00 & 0,00 & 0,25 \\ 0,00 & 0,80 & 1,00 & 0,00 & 0,30 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 15,0 & 63,4 & 23,8 \\ 7,5 & 8,5 & 0,0 \\ 0,0 & 8,0 & 5,6 \\ 3,0 & 13,9 & 7,7 \\ 4,5 & 15,0 & 5,5 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 3,45 & 15,07 & 6,65 \\ 5,25 & 22,60 & 9,21 \\ 1,74 & 7,45 & 3,00 \\ 3,66 & 15,74 & 6,45 \\ 1,26 & 3,43 & 1,50 \\ 2,70 & 6,53 & 3,13 \\ 8,35 & 19,30 & 13,65 \end{pmatrix}$$

Выполнение этой операции дает возможность построить распределение основных ресурсов по программам, или, точнее говоря, потребность каждой из программ в основных ресурсах (табл. 4.22).

Суммы элементов матрицы по столбцам четкого экономического смысла не имеют, они, как правило, меньше полных затрат на реализацию программ. Происходит это вследствие того, что и в матрице комплектации и в матрице структуры затрат учитываются лишь важнейшие из них, связанные с леми-

Таблица 4.22. Распределение потребности в основных ресурсах по отраслям-элементам (в млн. руб.)

Источники ресурсов	Цели		
	Годового-теоретического объема выпуска конечного продукта	Годового-реального объема выпуска конечного продукта	Затраты для интерпретации на конечный продукт
а) Судостроительная подотрасль			
Основные материалы, сырье	3,45	15,07	6,68
Норматив чистой продукции	5,35	22,40	9,21
б) Машиностроительная подотрасль			
Основные материалы, сырье	1,74	7,45	3,00
Норматив чистой продукции	3,66	15,74	6,45
в) Промышленно-строительная подотрасль			
Основные материалы, сырье	1,28	3,43	1,50
Норматив чистой продукции	2,70	6,53	3,15
г) Прочие отрасли	8,35	19,30	13,65

тирующими ресурсами. Так, в нашем примере не учитывается амортизация основного оборудования.

Сумма элементов матрицы δ_{ij} по строкам выражает общую потребность всей совокупности программ и основных ресурсов, причем каждый элемент этой матрицы по-прежнему остается зависящим от целевого норматива своей программы. Различные таким образом затраты на реализацию программ являются в единый коан по линии ресурсного обеспечения. Поэтому потребности в ресурсах могут быть согласованы либо в рамках единого государственного плана, либо в рамках комплексной программы, объединяющей ряд целевых программ, в пределах выделенных лимитов.

Ограничения на ресурсы определяются производственными возможностями отраслей и подотраслей с учетом перспектив их наращивания и теми лимитами на материалы, которые могут быть выделены каждой отрасли. Производственные возможности измеряются в нормативной чистой продукции, ли-

миты на материалы удобнее всего измерить общей их стоимо-
стью.

Приравняв суммы элементов матрицы δ_{ij} по строкам заданным значениям ресурсных ограничений, получим систему балансовых уравнений или неравенств:

$$\sum_j \delta_{ij} \leq l_i, \quad (4.52)$$

$$i = 1 \dots r,$$

где l_i — лимит по данному виду основных ресурсов.

Число балансовых уравнений или неравенств вдвое больше числа рассматриваемых отраслей или подотраслей: для каждой отрасли записываются два неравенства, одно — по нормативной чистой продукции, другое — по лимитам на материалы.

Поскольку слагаемые в левой части равенств — функции целевых нормативов, то, варьируя значениями последних, оказывается возможным согласовать уровни достижения целей каждой из программ с наличием основных ресурсов. Обычно в предлагаемых проработках не удается сразу точно соразмерить уровни достижения целей с имеющимися возможностями. Поэтому целевые нормативы приходится корректировать исходя из установленного при ранжировании приоритета целей, коэффициентов их относительной важности. В связи с этим процесс сбалансирования целей нормативов с ресурсами носит итеративный характер.

Показно, что в приведенном примере с малоразмерными матрицами такая процедура оказывается сравнительно несложной. В действительности размерность матриц существенно больше, расчетные процедуры оказываются более громоздкими и трудоемкими. Решение таких задач без электронно-вычислительной техники, вне рамок автоматизированных систем управления оказывается невыполнимым. Однако принципиальный подход и логика перехода от целей и целевых нормативов к балансу имеющихся ресурсов от размерности матриц не зависят — они остаются практически теми же.

Рассмотренный переход от целей и целевых нормативов к сбалансированию ресурсов относится только к сфере производства — созданию океанотехники. Не менее важным и две другие сферы: разработки и эксплуатации. Первая из них особенно важна для программы освоения Мирового океана. Значительная часть образов океанотехники характеризуется принципиально новой технической решениями, и поэтому создание этих средств обусловлено использованием большого объема научно-исследовательских и дорогостоящих освоито-конструкторских работ. Поскольку конструкция океанотехники носит в основном индивидуальный и мелкосерийный характер, затраты

за разработку составляют значительную долю от суммарных затрат на постройку самих средств.

Затраты на эксплуатацию одного объекта в течение года колеблются в пределах 8—16% от его цены. С течением времени, с ростом количества этих средств, годовые эксплуатационные затраты во всей программе станут соизмеримы с годовыми затратами на постройку новых средств. Поэтому сбалансирование ресурсов, используемых в этих двух сферах, так же важно, как и для сферы производства.

Логика перехода от целевых индикаторов к ресурсам в сфере эксплуатации совершенно аналогична той, которая была заложена применительно к сфере производства. В сфере эксплуатации в качестве основных могут рассматриваться ограничения по трудовым ресурсам, по производственным возможностям судоремонтных предприятий, лимиты на горюче-смазочные материалы. Распределение затрат по этим статьям на каждую программу не представляет трудностей.

Значительно сложнее с разнородным по программам затрат в сфере разработки, что объясняется рядом обстоятельств, среди которых стоит особо отметить два следующих:

— постройка может осуществляться по проекту, разработанному полностью или частично в период, предшествующий плануовому, и трудно оценить объем работ по доработке для корректировке этого проекта;

— один и те же суда могут использоваться в различных программах, т. е. затраты на разработку проекта этого судна используются в нескольких программах. Строго обоснованное распределение затрат между программами в данном случае становится невозможным, и затраты обычно распределяются пропорционально какому-либо произвольно выбранному показателю. Аналогичное положение возникает в том случае, когда один и те же комплектующие образцы устанавливаются на судах и средствах, используемых в разных программах.

Поэтому для получения ресурсно-целевых матриц третьего уровня в сфере разработки необходимы построение матрицы конечных образцов в натуральных показателях и детальный анализ на их обеспеченность проектной документацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплекс технических средств освоения Марового океана развивается стремительно, растет количество, выявляются, обрабатываются и стабилизируются принципиально новые технологии, новые технические решения, и на их базе — новые типы средств. Растет стоимость этих средств — неизбежное следствие научно-технического прогресса.

Правильное, экономически обоснованное решение не только строить то, что нужно, но и фиксировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в наиболее перспективных направлениях, по тем, которые принесут наибольший парадоксальный эффект.

Поэтому технико-экономическое обоснование нового средства на любой стадии предпроектного цикла (техническое исследование, исследовательское и промышленное проектирование) становится насущной необходимостью: всякое ошибочное решение может обернуться миллионными убытками.

Технико-экономическое обоснование превращается в исследовательскую шаблонную работу — важную составную часть научной темы или проекта. Этой частью исследования или проекта доказываются правильность принятых решений, их приво на жизнь.

Автор не ставил задачу разработать и наложить единый набор редентов — как обосновать каждый проект нового судна, аппарата, платформы. Не ставил потому, что это невозможно. Практически каждое новое техническое средство обусловлено новыми задачами, новыми условиями использования, новыми организационно-технологическими схемами использования. А это влечет иные организационную и формальную модели, иные критерии, иные алгоритмы оценки экономической эффективности.

Однако во всех случаях некоторые моменты неизбежны. Это — принципиальный подход, методология построения модели, критерии выбора и формализация критерия, методов и порядка учета затрат. Об этом и написана книга.

Остается сказать о том, что же, во взгляд автора, является главным в технико-экономическом обосновании. Обычно говорят: выбор критерия. Это правильно, но в этом далеко не все правда. Выбор и обоснование критерия — важная часть работы, но только часть. Главное в технико-экономическом обосновании — подробная модель — описание цели, условий и способа использования проектируемого объекта, такое, которое позволяет достаточно надежно измерить полезный эффект и затраты на его достижение. Здесь в составе модели находят себе место и выбор критерия — это ответ на вопрос, что мы хотим добиться, используя проектируемый объект определенными способом, в определенных условиях.

Автор постарался наложить все, во его опыту, необходимые для этого сведения, и главное, попытался донести логику технико-экономического обоснования. Если ему это хотя бы частично удалось, и книга окажется полезной как непосредственно для разработки технико-экономических обоснований, так и для дальнейшего развития этого важного научного направления, автор будет считать свою задачу выполненной.

1. Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1974
2. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976.
3. Об улучшении планирования в условиях колхозства хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы. Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 12 июля 1979 г. М., Политиздат, 1979.
4. Актуальные проблемы управления. Сб. Под ред. Широки В. Г. М., Знание, 1972.
5. Андреев Б. Г. Технический уровень и качество продукции. Лекции, 1974.
6. Большая советская энциклопедия. Изд. 3-е, т. 18. Ст. «Материальные ресурсы Мирового океана».
7. Бреслав Л. Б., Одесский И. С. К вопросу о проблематике экономического обоснования средств освоения Мирового океана. Труды ЛКИ, вып. 113, 1976.
8. Бреслав Л. Б., Одесский И. С. Программно-методический подход к задаче планирования при освоении средств освоения Мирового океана. Труды ЛКИ «Надводные средства освоения Мирового океана», 1974.
9. Букин В. Г. Экономика Мирового океана. М., Наука, 1977.
10. Вильямс А. В. Эффективность социалистического производства и качество продукции. М., Мысль, 1975.
11. Виткоцкий Е. С. Исследования операций. М., Сов. радио, 1972.
12. Виткоцкий Е. С. Теория вероятности. М., Физматлит, 1960.
13. Ветер и волны в океанах и морях. Сравнительное описание. Л., Транспорт, 1974.
14. Гурь М. Н. Опыт использования обычного подводного аппарата ТНПРО-2.— Судостроение, 1972, № 2.
15. Гурь М. Н. ТНПРО-2 в океане. Л., Судостроение, 1977.
16. Гайдарь В. И., Терехов Ю. А. Комплексное проектирование глубоководных аппаратов.— Судостроение за рубежом, 1972, № 2.
17. Ганчев А. В. Экономическая эффективность технических систем. М., Экономика, 1971.
18. Глубоководная техника. Обзор.— Судостроение за рубежом, 1971, № 9.
19. Давидов В. И. Технические средства для очистки водной среды.— Судостроение, 1978, № 4.
20. Давидовский В. О., Пучковский Б. И. Ценообразование в судостроении. Л., Судостроение, 1976.
21. Державин А. Н., Табачников В. Н. Самонадуваемый автономный аппаратура для морской порты и прибрежных акваторий.— Судостроение, 1978, № 4.
22. Демидов М. И., Дмитриев А. И. Погружение глубок. Л., Судостроение, 1974.
23. Демидов М. И., Дмитриев А. И. Подводные аппараты. Л., Судостроение, 1966.
24. Дмитриев А. И. Проектирование подводных аппаратов. Л., Судостроение, 1978.
25. История Мирового океана. Геологическое строение, происхождение, развитие. Сб.: М., Наука, 1971.
26. Капустин К. Я. Планировка буровых установок и бурение судна. М., Недра, 1974.
27. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М., Наука, 1968.
28. Колмогоров А. В. Число выходов при нескольких выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы.— Труды МИ АН им. С. П. Коренько, 1945, № 12.
29. Краш В. И., Ступин О. К., Ломовин В. Л. Экономические обоснования при проектировании морских грузовых судов. Л., Судостроение, 1973.
30. Лавинин С. П., Талалаев М. П. Методы планирования в судостроении. Л., Судостроение, 1961.
31. Лавинин С. В. Экономика судостроительной промышленности. Л., Судостроение, 1973.
32. Математика и кибернетика в экономике. Спектра-справочник. Изд. 2-е. М., Экономика, 1973.
33. Мещеряков Н. Ф. Судя для исследования Мирового океана. Л., Судостроение, 1971.
34. Мещеряков Н. Ф. и др. Самонадуваемый автономный буровой установка «Бачи».— Судостроение, 1975, № 10.
35. Мещеряков (основные положения) определения эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских изобретений. Эконом. гал., март, 1977, № 10.
36. Мещеряков определял отходы для на вооружение продукции промышленно-технологического назначения. М., Прейскурант, 1974.
37. Минаев В. В. Перспективы развития технических средств для добычи полезных ископаемых в море.— Судостроение, 1975, № 10.
38. Мухомов Ю. Б. Определение элементов научно-исследовательских судов на разных стадиях проектирования.— Судостроение, 1975, № 10.
39. Нарусский А. А. Введение в теорию обоснования проектных решений. Л., Судостроение, 1976.
40. Исследования подводных аппаратов. Под общей ред. А. В. Савина. М., Воениздат, 1975.
41. Носовский В. В. Проблема измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. М., Наука, 1962.
42. Оценки Экономические проблемы освоения. Под ред. Букина П. Г., М., Экономика, 1975.
43. Организация и планирование многоотраслевого производства. Под ред. Рагузова И. М., Шаталова Л. Я., Галочевой Л. А., М., Машиностроение, 1974.
44. Основы экономики и управления в судостроении. Под ред. Б. С. Дубко. Л., Судостроение, 1975.
45. Павлов В. М. Критерия для согласованной оптимизации водности судна. Л., Судостроение, 1976.
46. Воспалев Г. С. Программно-целевой подход к планированию. Коммунист, 1978, № 15.
47. Проблемы освоения и освоения Мирового океана. Под ред. А. И. Волонского. Л., Судостроение, 1979.
48. Проектирование и строительство технических средств для изучения и освоения Мирового океана. Сб.: Лазубинское судостроение. Под ред. В. В. Дмитриева и К. Г. Суворова, 1977.
49. Пяталова Е. Ю. Судостроение. Л., Судостроение, 1978.
50. Раков А. И. Особенности проектирования промышленных судов. Л., Судостроение, 1966.
51. Савинин В. А. Подводная лаборатория «Бетто-300».— Судостроение, 1978, № 3.

52. Саркисов С. А., Галаванте Л. В. Преположение развития больших систем. М., Советская, 1975.
53. Системный анализ и структура управления. Сб. под ред. Шорина В. Г. М., Наука, 1975.
54. Савин С. В. Шелф, освоение, использование. Л., Гидрометеоиздат, 1977.
55. Саркисов Н. В., Дуван-Барковский Н. В. Краткий курс математической статистики для геологических приложений. М., Физматлит, 1968.
56. Собака Н. М. Численные методы Монте-Карло. М., Наука, 1973.
57. Современное состояние и перспективы развития технологий средств для освоения ресурсов океана. Сб. Под ред. Г. А. Матвеева и В. В. Дмитриева. Л., Судостроение, 1972.
58. Саркисов К. И. Морская геология и проблемы континентального шельфа. М., Наука, 1971.
59. Суварев К. Г. Комплекс технических средств для изучения освоенности океана.— Судостроение, 1975, № 10.
60. Угловский Ю. А. Подводные богатства. М., Просвещение, 1970.
61. Федоренко Н. В. Реализация системного подхода в проектировании народнохозяйственного планирования. Сб.: Наука и управление, вып. 6. М., Наука, 1975.
62. Чернышский В. О. Эффективность экономических решений. М., Экономика, 1965.
63. Чува Ю. В. Исследование операций в военном деле. М., Воениздат, 1970.
64. Чува Ю. В., Осипова Г. В. Технические задачи исследования операций. М., Сов. радио, 1971.
65. Шаповалов Е. Н. Задача судостроителей по созданию технических средств для освоения богатств Мирового океана.— Судостроение, 1975, № 10.
66. Шаповал А. А. Оценка стоимости эксплуатационных объемами автономных подводных аппаратов.— Судостроение, 1975, № 10.
67. Шулманов Г. Г., Калашов В. И. Господарственное научно-исследовательское судно «Атлант».— Судостроение, 1975, № 10.
68. Экономика машиностроения. Под ред. Е. М. Каркина. Л., Машиностроение, 1977.
69. Экономика машиностроительной промышленности. Под ред. Ракумова Н. М. и др. М., Высшая школа, 1973.
70. Экономическая эффективность подводных работ. Обзор. Сб.: Судостроение за рубежом, 1971, № 4.
71. Вак дер Варден Б. Л. Математическая статистика. Пер. с англ. М., ИЛ, 1962.
72. Ванс Э. Минеральные ресурсы океана. Океан. Пер. с англ. М., Мир, 1971.
73. Гасс С. Линейное программирование. Пер. с англ. М., Физматгиз, 1961.
74. Гуд Г. Х., Макла Р. Э. Систематическое введение в проектирование больших систем. Пер. с англ. М., Сов. радио, 1962.
75. Карр Ч., Коул Ч. Комбинаторные методы принятия решений в управлении и экономике. Пер. с англ. М., Мир, 1966.
76. Кофман А., Фер Р. Задачи исследования операций. Пер. с франц. М., Мир, 1965.
77. Кофман А., Агр-Дабердир А. Методы и модели исследования операций. М., Мир, 1977.
78. Льюис Р. Д., Райфа К. Игры и решения. Пер. с англ. М., ИЛ, 1961.
79. Месарович М., Мако Д., Такахага Н. Теория иерархических многоуровневых систем. Пер. с англ. М., Мир, 1973.
80. Оро О. Теория графов. Пер. с англ. М., Наука, 1966.
81. Раффэ К. Будущее — океан. Пер. с франц. Л., Гидрометеоиздат, 1978.
82. Сакчи Т. Математические методы исследования операций. Пер. с англ. М., Воениздат, 1963.
83. Jare's Ocean Technology 1978.
84. Jare's Ocean Technology 1979—80.
85. Måhret Erolineserven. „Oel Mineralolvindst.“ 1975. Bd 3, N 2, 5, 52.
86. Marine Technology, 1977. VII vol. 14, N 3, p. 244—284.
87. Marine Science Affairs, February 1967, p. 109. W.
88. Marine Science Affairs, March 1968, p. 303. W.
89. Marine Science Affairs. The Third Report of the President to the Congress on Marine Resources and Engineering Development, January 1969. W.
90. Marine Science Affairs. Annual Report of the President to the Congress on Marine Resources and Engineering Development, April 1970, p. 303. W.
91. The Federal Ocean Program: The Annual Report of the President to the Congress on the Nation's Efforts to Comprehend, Conserve and Use the Sea, April 1972, p. 109. W.
92. The Federal Ocean Program: The Annual Report of the President to the Congress on the Nation's Efforts to Comprehend and Use the Sea, April 1973, p. 325. W.
93. The Fifth Annual Report, June 30, 1975. NACOA, N 4, p. 21. W.
94. Ocean Science News, 27.02.1976, v. 18, N 9, p. 1. W.
95. Sea Technology 1976, III, v. 17, N 3, p. 22. W.
96. Sea Technology 1978, III, v. 23—27. W.
97. Washington Letter of Oceanography, 5.03.1977, v. 11, N 18, p. 1. W.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА	172
4.1. Технико-экономические обоснования проекта бурового судна для геолого-геофизических исследований на континентальном шельфе	172
4.2. Технико-экономическое обоснование проекта обитанного подводного аппарата	196
4.3. Правильные методы прогнозирования затрат при создании средств освоения Мирового океана	212
Заключение	232
Литература	234

Предисловие	3
Глава 1.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА И РАЗВИТИЯ ОКЕА- НОТЕХНИКИ	5
1.1. Перспективы освоения Мирового океана	5
1.2. Средства освоения Мирового океана и тенденции их разви- тия	16
1.3. Освоение минеральных ресурсов океана и защита окружаю- щей среды	41

Глава 2.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА	44
2.1. Задачи и содержание технико-экономического обоснования средств освоения Мирового океана	44
2.2. Функциональная и экологическая эффективность	52
2.3. Виды и измерения полезного эффекта. Функции полезности	58
2.4. Вспомогательные критерии экономической эффективности	65
2.5. Содержание и структура полезного затрат	81
2.7. Последовательность измерения технико-экономического обоснования	91
2.8. Технико-экономическое обоснование в условиях неопреде- ленности	95
2.9. Качество средств освоения Мирового океана. Связь каче- ства с полезным эффектом и функциональной эффективностью	107

Глава 3.

ИЗМЕРЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТРАТ	111
3.1. Некоторые сведения из экономики	111
3.2. Учет фактора времени. Приспособление затрат	122
3.4. Определение технико-экономических показателей средств освоения Мирового океана	126
3.4. Определение себестоимости средств освоения Мирового оке- ана методами параметрических методов	127
3.5. Определение стоимости разработки	165
3.6. Среднегодовая стоимость эксплуатации	167
3.7. Определение совокупных затрат	171