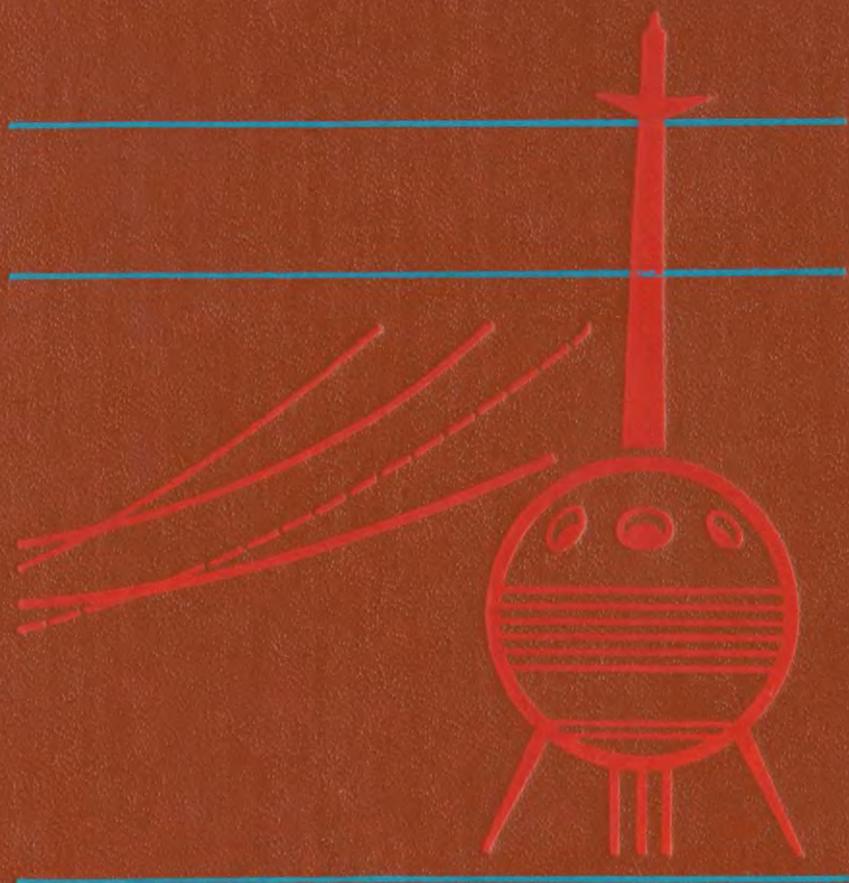


# ПОДВОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



# ПОДВОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

---



Ленинград  
«Судостроение»  
1981

СЕРИЯ  
«ТЕХНИКА ОСВОЕНИЯ ОКЕАНА»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
СЕРИИ:

И. Б. ИКОННИКОВ (ответственный редактор), В. И. БАРАНЦЕВ, А. Н. ДМИТРИЕВ, В. А. ЛОБАНОВ, Б. Г. МАСЛЕННИКОВ, И. В. МЕРЕНОВ, В. А. МОЛЧАНОВ, И. Г. РУСЕЦКИЙ (зав. редакцией), Н. П. ЧИКЕР, Н. П. ШАМАНОВ, А. И. ШАПОШНИКОВ, В. С. ЯСТРЕБОВ

Рецензенты:

инж. В. А. МОЛЧАНОВ  
и д-р техн. наук В. С. ЯСТРЕБОВ

**Подводная технология/Коробков В. А., Левин П44 В. С., Лукошков А. В., Серебренецкий П. П.— Л.: Судостроение, 1981. 240 с., ил.— (Техника освоения океана).**

Книга развивает тему, поднятую на страницах научно-технических изданий известным французским специалистом Клодом Риффо («Будущее — океан»). Рассматриваемый в ней широкий круг вопросов относится к разнообразной деятельности человека в океане: от строительства подводных сооружений до охраны, использования и воспроизводства ресурсов моря. Авторам удалось о многих достаточно сложных моментах подводной технологии рассказать интересно, с привлечением новейших отечественных и зарубежных данных.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся проблемами Мирового океана, и будет полезна специалистам, работающим в области его освоения.

П  $\frac{31805-029}{048(01)-81}$  21—81 3605030000

30

Производственная деятельность человека в Мировом океане неразрывно связана с решением крупных народно-хозяйственных задач по овладению его биологическими, минеральными и энергетическими ресурсами. В этой деятельности, как и на суше, значительное место принадлежит технологии, так как именно она говорит последнее слово, когда речь идет о том, развиваться или нет новой отрасли производства.

Специфика технологии подводного производства (подводная технология) связана с необходимостью большую часть работ проводить в толще водной среды, которая существенно отличается от привычной для человека среды воздушной. В водной среде различные отрасли производства значительно теснее взаимосвязаны друг с другом. Прежде всего, эта связь проявляется во взаимном влиянии на среду отдельных технологических процессов. Например, подводное удаление производственных отходов, сброс вредных веществ, проведение взрывных работ и т. п. вследствие самих свойств водной среды, способной переносить различные возмущения на большие расстояния, требуют специальных мер по охране и воспроизводству живых организмов, населяющих океан, созданию зон отдыха для человека и т. д.

Другой аспект — технический. В процессе развития различных подводных производств приходится решать много общетехнических задач. Сюда относятся совершенствование способов проникновения человека под воду, разработка новых видов универсального подводного инструмента и приспособлений, создание совершенного подводного транспорта. Общими для различных видов производства оказываются проблемы обеспечения безопасности персонала в условиях возможных аварий и стихийных бедствий, а также вопросы технического обеспечения жизнедеятельности человека, его работоспособности. Даже обучение различным специальностям для работы под водой должно включать значительный объем общих дисциплин, связанных с эксплуатацией универсальной подводной техники.

Эти и другие обстоятельства придают проблеме развития подводной технологии комплексный характер, что необходимо учитывать на всех этапах производственной деятельности: и при подготовке кадров, и при реализации и разработке технических проектов, и в процессе эксплуатации сооружений. Освоение природных ресурсов океана возможно только на основе строго научного подхода, когда любые виды деятельности рассматриваются во всем многообразии их взаимодействия. Кроме того, следует постоянно иметь в виду, что по мере развития науки и техники, по мере развития общества потребительская стоимость ресурсов изменяется: то, что несколько десятилетий тому назад казалось несущественным, становится первостепенно необходимым. Поэтому одной из важных задач, решаемых подводной технологией, должно быть обеспечение минимального урона, наносимого будущим потребностям общества.

Цель данной книги авторы видели в том, чтобы по возможности с единых позиций осветить технологические вопросы достаточно разнородных отраслей современного подводного производства. С учетом этого в первой главе рассматриваются общие особенности выполнения различных технологических операций под водой, приводятся основные характеристики среды и сведения о деятельности в ней человека, дается представление об объектах современного подводного строительства. Вторая глава посвящена выполнению инженерно-технических работ под водой. Здесь собран материал, иллюстрирующий проблемы, которые необходимо решать при реализации практически любой из целей осуществления подводного производства. Далее следуют более специальные главы, посвященные работам по разведке и добыче полезных ископаемых, по добыче и воспроизводству биологического сырья. Последняя глава дает представление о водолазном обслуживании работ.

Учитывая ограниченный объем книги, авторы основное внимание уделили тем отраслям подводного производства, развитие которых является наиболее актуальным. В силу этого за рамками книги оказались как исторический обзор развития подводной технологии, так и некоторые перспективные отрасли мировой экономики будущего, в частности освоение энергетических ресурсов океана и вопросы технологии переработки морской воды.

Предисловие и заключение книги написаны В. А. Коробковым, § 1.1 и 1.2 — В. А. Коробковым и В. С. Левиным, § 1.4, 2.6, 5.1—5.3 — П. П. Серебrenицким, § 1.3 и глава 3-я — А. В. Лукошковым, § 1.5, 2.1—2.5, 5.4 — В. А. Коробковым, глава 4-я — В. С. Левиным.

Авторы приносят благодарность П. П. Бирюкову за помощь при подготовке материалов рукописи.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Гоголя 8, издательство «Судостроение».

# ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ

### 1.1. Классификация подводных технологических операций

Несмотря на то, что термин «подводная технология» в последнее десятилетие получил довольно широкое распространение, он до сих пор не имеет однозначной трактовки. Такое положение можно объяснить, во-первых, традиционно сложившимся отношением к подводным работам как вспомогательным или, в лучшем случае, составным частям более общих работ (гидротехническое строительство, судоподъем и т. д.) и, во-вторых, объективными трудностями очерчивания границ самого термина. Казалось бы, исходя из здравого смысла и семантики слова «подводный» к подводной технологии следует относить только операции и процессы, осуществляемые под поверхностью воды. В действительности же термин «подводный» используется для описания таких явлений и процессов, которые сделали это понятие внутренне противоречивым.

Так, при выполнении ряда работ, относимых повсеместно к подводным, немалая часть вспомогательных и основных технологических устройств находится вне воды (там же осуществляется значительная часть операций всего технологического цикла). Известны работы, например некоторые виды подводного поиска, когда все оборудование располагается вне воды и даже не имеет контакта с водной поверхностью. С другой стороны, термин «подводный» не принято распространять на некоторые обычно очень древние виды деятельности человека в море, например добычу рыбы и других морских организмов. Между тем в наше время, когда для этих целей используется специальная подводная техника, эти виды промысла, безусловно, должны быть отнесены к сфере подводной деятельности.

В других случаях некоторые подводные работы, коренным образом отличающиеся друг от друга по технологии выполнения, обозначаются одинаковым термином. Например, термином «подводная сварка» обозначают как дуговую открытую сварку, при которой дуга горит под непосредственным воздействием воды, так и «сухую» сварку внутри погружной камеры, где процесс сварки осуществляется по «сухопутной» технологии.

Столь «вольное» применение термина «подводный» препятствует классификации технологических операций, выполняемых человеком при решении задач по освоению океана, и затрудняет применение к подводному производству методов системного подхода. В связи с этим правильное определение понятия «подводная технология» приобретает принципиальный характер.

Как известно, термин «технология» имеет несколько значений. Прежде всего, под технологией принято понимать совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, применяемых в процессе производства для получения готовой продукции. Кроме того, технология — это и наука о способах воздействия на сырье, материалы и полуфабрикаты соответствующими орудиями производства. Наконец, этот же термин применяется для обозначения отдельных операций по добыче, переработке, техническому контролю, транспортировке и т. п. сырья, материалов, изделий. Перечисленные операции являются теми отдельными технологическими процессами, из которых складывается более общий производственный процесс.

Чаще всего технологию связывают с определенными отраслями производства (технология судостроения, технология добычи рыбы и т. д.) и реже — со способом выполнения операций (технология обработки резанием, холодильная технология и др.). И в том, и в другом случае результатом технологического процесса является качественное изменение состояния объекта приложения технологии. Существует еще один подход: технология может быть связана с особенностями среды, в которой происходит соответствующий процесс, например технология морской добычи нефти, технология озерного рыбоводства и др. Последний вариант кажется нам наиболее предпочтительным в тех случаях, когда среда играет решающую роль в развитии какого-либо производства. Именно этот вариант и используется в настоящей книге.

Границы понятия «подводная технология», казалось бы, наиболее полно определяются теми техническими задачами, которые решаются при проведении подводно-технических работ. Так, в гидротехническом строительстве сюда принято относить «все виды строительно-монтажных работ, осуществляемых в водной среде, независимо от того, выполняются ли они водолазами вручную, или механизмами с помощью водолазов, или, при комплексной механизации, одними механизмами с поверхности воды или под водой» [26]. Однако специфическая направленность такого определения не позволяет отождествить его с более общим и более широким понятием «подводная технология», необходимым для того, чтобы описать и другие виды подводной деятельности: исследование океана, промышленную разведку ресурсов, добычу различных видов сырья.

Поэтому здесь в качестве определения принято следующее: подводная технология есть совокупность приемов и методов, направленных на изучение и изменение качественных характеристик объектов, находящихся в условиях окружающего водного пространства.

Объектами приложения подводной технологии являются любые виды ресурсов лито- и гидросферы, при освоении которых весь производственный цикл или, по крайней мере, какие-то его главные части выполняются в толще водоемов, на дне, в донных породах (когда доступ к рабочей зоне производится через водную толщу). Такое определение допускает рассматривать подводную технологию как целостную область деятельности человека, осуществляемую ниже уровня воды. Оно позволяет объединить различные виды работ, связанные между собой особенностями среды, в соответствии с методами проникновения в эту среду, способами выполнения операций, а в ряде случаев и их структурой.

Такое определение подводной технологии может вызвать возражения у некоторой части специалистов, привыкших к традиционному разделению сфер деятельности по видам работ как подводных, так и надводных. Но, хотим мы того или нет, подводная технология уже сложилась и выросла в самостоятельную отрасль со своими, присущими только ей, особенностями. То, что она включает в себя, казалось бы, несовместимые понятия, — это проявление типичного для нашего времени взаимного проникновения различных областей деятельности и синтеза знаний.

Введение всякого обобщающего понятия требует соответствующей классификации видов деятельности, охватываемых этим понятием. Как и в любом другом случае, в основу классификации подводной деятельности могут быть положены различные факторы, например цели выполнения работ, виды работ, условия их выполнения, средства обеспечения и применяемый инструмент. Можно попытаться проникнуть еще глубже в суть выполняемых под водой операций и дать классификацию по их наиболее общим функциональным признакам. Последнее представляет особый интерес для специалистов, занимающихся исследованием операций, инженерной психологией. Каждая из таких классификаций, конечно, условна и отражает какую-то одну сторону подводной деятельности, но вместе они позволяют получить целостное представление о предмете подводной технологии.

Если рассматривать в качестве классификационного признака цели выполнения работ, то наиболее естественным кажется расположить их в такой последовательности: научные, производственные, охранные, рекреационные<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> «Индустрия» отдыха в результате вторжения в нее достижений науки и техники становится самостоятельной областью деятельности человека.

Классификация по целям не позволяет добиться однозначности. Все указанные нами цели находятся во взаимной связи, причем первые две носят более общий характер: при реализации любых целей в океане приходится решать научные задачи (по крайней мере, выполнять комплекс прикладных исследований), почти всегда, в том числе и при проведении научных работ, встают производственные задачи. Цель не определяет выбора методов проведения работ и выбора оборудования. Например, научная и производственная задачи могут решаться с помощью однотипного оборудования, одинаковыми методами. Различие проявляется только в структуре выполнения отдельных операций, в степени детальности анализа факторов, в квалификации персонала, в масштабах работ. В качестве примера можно было бы сравнить проведение подводного бурения с научными и производственными целями.

Наибольший интерес в технологическом плане представляет реализация именно производственных целей. Это связано с самым смыслом производственной деятельности, состоящей главным образом в решении таких важных материальных задач, как обеспечение потребностей общества в энергии, пище, сырье (частные цели производственной деятельности). Кроме того, необходимо помнить, что от любых видов деятельности в толще вод в ближайшем будущем именно производственная будет выгодно отличаться и масштабами, и капиталовложениями, и экономическим эффектом. Поэтому данная книга посвящена, в основном, развитию подводной технологии применительно к частным производственным целям.

Что касается классификации по виду работ, то здесь интересно выделить те из них, последовательное выполнение которых позволило бы достичь частных производственных целей. Оказывается, что при достаточно высокой степени обобщения количество этих видов ограничено тремя. Действительно, к какой бы частной цели мы не обратились, дело сведется к выполнению инженерных изысканий, строительству подводных сооружений и их эксплуатации.

Под инженерными изысканиями подразумевается проведение ряда прикладных исследований, направленных на детальное изучение условий создания будущего производственного объекта. К инженерным изысканиям относятся и различные виды промышленной разведки, выполняемые, например, при поиске полезных ископаемых, при организации добычи рыбы и другого пищевого сырья.

Задачи подводного строительства и эксплуатации действующих сооружений не требуют специального пояснения. Следует только отметить, что при их детализации необходимо обязательно уточнить условия проведения соответствующих работ и специфику самих сооружений. Так, рассматривая строительство, необходимо оговорить, в каком районе моря оно произво-



Рис. 1.1. Классификация подводных инженерно-технических работ.

дится (вблизи берега или в открытом море, на мелководье или на больших глубинах), о каких сооружениях идет речь — стационарных или передвижных, имеют они связь с поверхностью или нет и т. д. Все сказанное относится и к эксплуатации сооружений. Пример классификации по видам работ приведен на рис. 1.1. В таком виде классификация не зависит от указанных выше ограничений и дает достаточно полное представление об основных инженерно-технических работах, связанных с подводной технологией.

Способы же осуществления этих работ зависят от возможностей используемых технических средств. Сюда входят транспортные средства, технологическое оборудование, средства обеспечения жизнедеятельности, инструмент, различные приборы и т. д., т. е. все, что можно объединить под названием «средства обеспечения проведения подводных работ». Кстати говоря, транспорт здесь играет совершенно особую роль: в ряде случаев транспортные операции составляют основное содержание соответствующих технологических процессов (доставка оборудования, подводный монтаж, прокладка трубопроводов и др.).

Несколько слов о возможности классификации работ по основным видам воздействия на объекты, которые представляют собой функциональные признаки (элементы) отдельных операций, лежащих в основе подводных технологических процессов. Эти признаки должны рассматриваться безотносительно к тому, как соответствующие операции выполняются (непосредственно человеком или с помощью технических средств, автоматически и т. д.). Целесообразно рассмотреть следующие функциональные признаки: наблюдение, регистрация и передача данных; воздействие на грунт; воздействие на рабочие органы оборудования; захват объектов; соединение и разъединение объектов; перемещение объектов, в том числе перемещение оператора, позиционирование. Цель этой классификации — помочь выделить и учесть основные направления воздействия среды на технологию подводных работ (более детально это сделано в следующем параграфе). Вообще же к классификации как способу анализа мы будем неоднократно возвращаться по ходу изложения материала.

## **1.2. Морская среда как определяющий технологический фактор**

Развитие подводной технологии предполагает размещение производственного оборудования в толще воды и на дне. Это, в свою очередь, требует учета определенных свойств воды, которые условно можно назвать технологическими. Анализируя эти свойства, приходится рассматривать воду не только как среду производственной деятельности, но и как рабочее тело, как сырье для переработки, как среду обитания. В любом из этих качеств мы обращаем внимание на сжимаемость воды,



и, наконец, на самого человека, участвующего в подводном производстве. Обращаясь к типичному производственному процессу, включающему набор характерных технологических циклов (рис. 1.2), можно убедиться в том, что воздействие водной среды образует не только фон, на котором приходится вести реализацию технической идеи, но и оказывает глубокое влияние практически на любой технологический процесс.

Возьмем, например, подводные транспортные операции. Специфика водной среды допускает здесь качественно иную, чем на суше, организацию работ. Например, она позволяет с помощью одного и того же транспортного средства достичь объектов, находящихся на различных расстояниях друг от друга как по горизонтали, так и по вертикали; она облегчает перемещение самых различных подводных объектов — оборудования, добытого под водой сырья и т. п., делая реальной трехмерную эксплуатацию водной толщи.

При оценке влияния среды на технологию мы сталкиваемся с факторами различных масштабов. Это, прежде всего, сама морская вода с ее физическими, физико-химическими и другими свойствами, ее влияние на технологические процессы, на движение подводных аппаратов, элементов установок, на сохранность подводного оборудования. С другой стороны, это водные массы водоемов, описываемые свойствами таких первичных полей, как поля скоростей течений, давления, температуры, солености и связанных с ними вторичных полей электропроводности, звукопроводности, показателей преломления, прозрачности. Кроме этого, необходимо учитывать распределение в толще воды органического вещества, живых организмов, растворенных газов, различных минеральных взвесей. Представляют интерес для технолога и явления, протекающие на поверхности водоема, на дне и даже в толще пород, складывающихся дно. Рассмотрим некоторые характеристики морской среды.

**Глубина.** С изменением глубины изменяются многие факторы, определяющие проведение технологических операций. Их можно разделить на две основные группы: факторы, связанные с ростом давления, и факторы, связанные с увеличением геометрического расстояния между поверхностью и технологическими устройствами или между самими технологическими устройствами.

Повышение давления приводит к усложнению практически всех подводных операций и к увеличению прочностных и массовых характеристик оборудования, повышению его стоимости. При расчете прочных корпусов подводных аппаратов и другой глубоководной техники глубина является главным показателем. Циклический характер нагрузок в материале, связанный с погружениями и подъемами техники, обуславливает возникновение знакопеременных напряжений, величина которых зависит от глубин погружения. При этом стойкость прочных корпусов

определяется не только абсолютными значениями напряжений и неравномерностью их распределения в местах концентраций, но и цикличностью изменения этих напряжений и характером цикла нагружения: скоростью погружения — всплытия. Эти показатели влияют на усталостную прочность глубоководной конструкции, ограничивая число рабочих циклов, после которых корпус либо заменяется, либо подвергается повторной термической обработке. Длительность работы металлических конструкций в морской воде из-за усталостных явлений приблизительно вдвое меньше, чем на воздухе. Изменяется в процессе эксплуатации и прочность стеклопластиковых корпусов.

Повышение давления с ростом глубины усложняет выполнение монтажных операций, затрудняет контроль за работой технических устройств и использование водолазных средств. Проектировщики оказываются перед необходимостью создавать специальные приспособления и устройства, заменяющие водолаза, что перспективно с точки зрения освоения все более глубоких горизонтов, но чрезвычайно усложняет процесс технологической подготовки, предшествующей проведению работ.

Второе следствие влияния глубины — увеличение расстояния по вертикали — повышает затраты времени на развертывание подводных операций, усложняет позиционирование обеспечивающего судна как при использовании якорных систем (на доступных глубинах), так и при динамическом удержании судна с помощью работающих двигателей и навигационных средств, в том числе донных акустических маяков или приемоответчиков.

При выполнении монтажа крупнотоннажных конструкций очень важно с высокой точностью и достаточно плавно опускать их на основания. С увеличением глубины конструкции, подвешенные на тросах, подвергаются более сильному воздействию волн и течений. Монтажные операции требуют особых приемов организации работ и специальных грузоподъемных средств. С увеличением глубины затрудняется управление такими операциями с поверхности из-за неточности определения положения устанавливаемых элементов и из-за упругости тросов.

В то же время в ряде случаев увеличение глубины облегчает выполнение технологических задач. Так, известное повышение концентрации растворенных в воде элементов в океанических глубоководных впадинах может быть использовано для организации эффективных процессов их выделения. При проведении разведочного бурения толщи земной коры с океанического дна облегчается проникновение в породы, слагающие мантию. Размещение технологического оборудования и транспортных линий на достаточной глубине уменьшает их подверженность влиянию погодных условий.

**Температура.** Пределы изменения температуры достаточно широки, поэтому подводная техника должна быть расчи-

тана на ее перепады не менее чем от  $+30$  до  $-2$  °С. Величина перепада зависит от района океана и очень изменчива. Так, на одной широте в течение одного сезона толщина прогретых слоев весьма различна. Изменение температуры связано также и с глубиной. Наибольший перепад наблюдается в морях средних широт. В Черном море, например, температура поверхностного слоя изменяется от  $25$  до  $6$  °С, в северных районах Японского моря — от  $20$  до  $2$  °С. Более стабильны температуры северных морей.

Следует отметить еще одно явление — термоклин — зону резкого изменения температуры. В районах с резкими колебаниями температуры в течение суток возможно появление двух разделенных по глубинам скачков температуры — суточного, наблюдающегося на глубине нескольких метров от поверхности, и сезонного, находящегося на значительной глубине. Например, в открытых районах Японского моря средняя глубина расположения сезонного термоклина летом примерно  $25$  м. Вблизи берегов из-за деятельности дрейфовых течений термоклин поднимается к поверхности. Термоклин — причина многих интересных явлений. С ним связано аномальное распространение звуковых волн (рефракция) в воде, резкие изменения прозрачности, образование внутренних волн на границе раздела вод разной плотности. Амплитуды этих волн в десятки раз превышают амплитуды обычных поверхностных волн, а скорости их распространения примерно в  $50$  раз меньше. Эти волны могут представлять значительную опасность для глубоководных аппаратов.

Изменение температуры с глубиной необходимо учитывать не только при проектировании подводных аппаратов, но и при задании технологических режимов эксплуатации различных технических средств, устанавливаемых на поверхности. Эти эффекты влияют на жидкие наполнители с большими коэффициентами объемного расширения, используемые в различных гидравлических системах и для заполнения корпусов погружных двигателей. Высокая теплопроводность воды ставит серьезные требования по защите устройств, в которых по условиям проведения технологического процесса необходимо поддерживать достаточно высокую температуру на больших глубинах. Высокая теплопроводность (у морской воды она примерно в  $25$  раз выше, чем у воздуха) в сочетании с пониженной температурой чрезвычайно усложняет проектирование и эксплуатацию систем обеспечения жизнедеятельности водолазов и водолазов-операторов.

Из термических свойств океана можно извлечь и технологическую выгоду. Уже создаются тепловые электростанции, использующие почти даровой источник энергии — водные массы с достаточно высоким перепадом температур.

Плотность. Плотность изменяется с увеличением глубины из-за сжимаемости жидкости под действием гидростатического

давления, уменьшения температуры и повышения солености. Наиболее серьезные технологические трудности, обусловленные этим фактором, связаны с изменением величины выталкивающей силы, действующей на подводные устройства. Это требует размещения на них специальных компенсаторов и систем регулировки плавучести. Без учета изменения плотности невозможно правильно определить режимы работы любых подводных устройств, основанных на принципе использования подъемной силы. Сюда относятся различные понтонные устройства, эрлифты, работающие за счет создания вертикального потока жидкости с находящимися в ней включениями (например, добываемой породы). С увеличением плотности возрастает сила сопротивления движению как подводных аппаратов, так и любых движущихся устройств.

При определении предельно допустимых скоростей движения в жидкости основное внимание приходится уделять кавитационным явлениям, которые возникают на таких участках потока, где давление падает до значений, близких давлению насыщенного пара (на кромках лопастей винтов и т. д.). В таких местах происходит нарушение сплошности среды и образуется область, заполненная пузырьками водяного пара и выделившегося из воды свободного газа. Эти пузырьки сначала объединяются в более крупные, а затем, после снятия растягивающего напряжения вследствие уменьшения скорости у соседнего вогнутого участка поверхности, адиабатически схлопываются, вызывая взрывное разрушение поверхности.

Кавитационные явления в морской воде связаны с нарушением сплошности среды, являющейся фундаментальным свойством жидкости, без которого невозможно объяснить возникновение в ней звуковых, электромагнитных и других возмущений. Для технолога особенно важно распространение в жидкости сильных звуковых импульсов, сопровождающихся резким повышением давления. Такие импульсы возникают при проведении взрывных работ. Они могут служить причиной разрушения конструкций, гибели морских животных, травмирования и гибели водолазов. Начальное повышение давления на поверхности тротилового заряда в момент взрыва составляет примерно 4000 МПа. Нижняя граница смертельно опасного давления в ударной волне для человека составляет примерно 1,7 МПа, для водолаза в защитном костюме из губчатой резины эта величина повышается до 3 МПа. Технические средства в зоне подрыва можно защитить от подводного взрыва с помощью массивных преград. Используется также физический метод, основанный на создании искусственных разрывов, отражающих ударную волну, или растягивающих форму импульса. Для этого может быть применена завеса из воздушных пузырьков.

Изменчивость, воздействие волнения. Особенностью водной среды в водоеме является ее изменчивость —

свойство, не только придающее налет романтичности всему, чем человек занимается в море, но и создающее значительные трудности при проведении работ. Об изменчивости температурного поля уже упоминалось. Более существенные трудности для подводной технологии создают морское волнение, ветровые течения, штормы на поверхности. Все эти явления имеют случайный характер, различный временной масштаб с периодом от долей секунды до сотен лет и описываются статистическими методами. Для подводного технолога наиболее интересны мелкомасштабные события, протекающие с периодом до десятков минут (поверхностные ветровые волны, уже упоминавшиеся внутренние волны и турбулентность, влияющая на перемешивание вод), среднемасштабные, с периодом от нескольких часов до суток (приливы), синоптическая изменчивость с периодом от нескольких суток до месяцев (погодные катаклизмы), сезонные колебания, междугодовая изменчивость, вековая изменчивость с периодами в десятки лет (по классификации А. С. Монины). Последний вид крупномасштабной изменчивости представляет интерес, так как ее период соизмерим со временем существования морских подводных сооружений.

Наибольшие неприятности подводному технологу доставляют ветровые волны. Причина этого — огромная энергия, запасенная в волне и выделяющаяся при ее разрушении о преграду, в качестве которой можно рассматривать борт судна, морскую платформу, любое прибрежное сооружение и само морское дно при выходе волны на мелководье. Средние значения давлений, создаваемых волнами во внутренних морях у отвесных берегов, составляют примерно 0,15 МПа, а у берегов океана — до 0,4 МПа, на выступающих в море частях гидросооружений импульсные давления могут достигать 1 МПа.

Помимо ветровых, в морях и океанах существуют приливные волны и волны, обвязанные своим возникновением подводным землетрясениям, оползням, деятельности подводных вулканов. Приливные волны появляются строго периодически; волны, связанные с сейсмической активностью, до настоящего времени не прогнозируются: оповещение об их возникновении дается специальными службами, в лучшем случае за несколько часов до прихода из района зарождения. Большую опасность эти волны — цунами — представляют именно при выходе на мелководье. В открытом море связанный с ними подъем уровня воды, как правило, незначителен.

Закономерности распределения параметров всех типов волн изучены преимущественно для прибрежных районов. При создании сооружений в открытом море приходится прибегать к эмпирическим методам, рассчитывая условия воздействия волнения на основе наблюдений на уже существующих объектах.

Учет волнения при проведении технологических операций в море крайне важен. Волнение сильно сокращает время на про-

ведение всех операций, связанных с обслуживанием стационарных сооружений, монтажными работами, прокладкой морских трубопроводов и т. п. На малых и средних глубинах волнение ограничивает также возможности подводных работ. На глубине, равной половине длины волны, водолаз практически не ощущает колебаний среды, но этих колебаний достаточно, чтобы сильно понизить ее прозрачность и сделать выполнение работы невозможным.

**Коррозионная активность.** Морская среда чрезвычайно агрессивна, в ней быстро разрушается большинство известных конструкционных материалов, успешно применяемых без специальных мер защиты в наземных сооружениях. Эта агрессивность — следствие не только совершенно особого солевого состава морской воды и присутствия в ней растворенного кислорода. На скорость разрушения сильно влияет сочетание постоянно действующих факторов: химического и механического воздействия, химического и биологического и т. д. Особую роль в эксплуатации морских сооружений приобретает фактор случайного повреждения защитных покрытий, в результате которого водная среда получает возможность разрушать внутренние структурные элементы, обеспечивающие прочность конструкций. Такое происходит, например, при повреждении поверхностного слоя бетона, когда возникает непосредственный контакт с водой металла арматуры, обычно не защищенного электрофизическими способами; при истирании на грунте полиэтиленового покрытия морских кабелей и т. д.

Скорость разрушения в морской воде, безусловно, зависит от типа примененного материала, качества и стойкости покрытий, надежности работы противоразрушающих и противокоррозионных устройств. На скорость коррозии, например, влияют количество растворенного кислорода, присутствие сероводорода (для глубоководных установок), температура воды, изменение ее химического состава — последнее происходит в тех случаях, когда металл контактирует с биологически активным илом, населенным бактериями, жизнедеятельность которых приводит к повышению кислотности среды (понижение показателя pH). (Более подробно проблемы коррозии, обрастания и защиты рассмотрены во 2-й главе).

**Обитаемость.** Моря и океаны населяют около 180 тыс. видов животных и 20 тыс. видов растений. Только в морской воде живут представители пяти классов растений из 33 и тридцать один класс животных из 63. Наиболее многочисленны моллюски (60 тыс. видов), ракообразные (20 тыс.) и рыбы (16 тыс.).

По образу жизни морских обитателей принято делить на несколько групп. Организмы, обитающие в водной толще, относят к планктону и нектону. Планктонные организмы пассивно перемещаются вместе с массой воды под действием волн и течений, хотя некоторые из этих организмов способны совершать

самостоятельные передвижения, преимущественно по вертикали. Планктон делится на растительный (фитопланктон) и животный (зоопланктон). К nekтону относятся активные пловцы: большинство рыб, кальмары и каракатицы из головоногих моллюсков, морские черепахи и млекопитающие — киты, дельфины, ластоногие. Дно океана населяет бентос, который делится на фитобентос (водоросли и морские травы) и зообентос. Часть донных животных ведет подвижный образ жизни (многие черви, ракообразные, моллюски, иглокожие), тогда как другие неподвижно прикреплены к грунту (губки, актинии, асцидии и многие другие). Кроме этого, различают организмы, живущие на поверхности грунта (эпифауна) и закапывающиеся в грунт (инфауна).

Общая биомасса животных в океане составляет около 32,5 млрд. т, а растений — 1,7 млрд. т. Таким образом, в Мировом океане биомасса животных почти в 20 раз превосходит биомассу растений, тогда как на суше растительная биомасса преобладает над животной (в 2 тыс. раз). Несмотря на относительно небольшую биомассу продукция растений (550,2 млрд. т) значительно превосходит продукцию животных (56,2 млрд. т). Необходимо отметить, что в отличие от суши, где подавляющую массу органического вещества продуцируют высшие многоклеточные растения, в море основными продуцентами являются одноклеточные планктонные водоросли. Одним из важных отличий гидросферы от атмосферы является и то, что водная толща населена крупными организмами во всем объеме — от поверхности воды до максимальных глубин океана.

Глобальные закономерности распределения жизни в Мировом океане нашли свое отражение в разработанном советскими исследователями учении о биологической структуре океана. Одно из основных проявлений этой структуры — ее подчинение широтной и меридиональной симметрии и вертикальной зональности. Все основные характеристики биологического продуцирования изменяются от полюса к полюсу и от поверхности до больших глубин. По мере приближения к побережьям и уменьшения глубины происходит смена видового состава организмов, увеличивается их разнообразие и биомасса. В прибрежных мелководных районах биомасса планктона в сотни, а бентоса во многие тысячи раз больше, чем в глубоководных. Суммарная биомасса бентоса в глубоководных частях океана, занимающих свыше 77 % площади дна, составляет лишь около 1 % его количества во всем океане. С прибрежной зоной связана основная масса рыб, и это отражается на составе мирового улова. На зоны шельфа и склона приходится до 95 % улова пелагических и донных рыб.

С закономерностями распределения биологических объектов в океане связан комплекс технологических проблем. Прежде всего отметим, что ряд животных и растений служит объектом специализированных подводных операций — промысла. Общая

стратегия промысла, распределение его по районам и глубинам, используемое оборудование и технологические приемы в значительной мере обусловлены биологическими особенностями самих промысловых объектов и конкретной экологической ситуацией в отдельных регионах.

Особенности питания, размножения и расселения водных организмов позволяют использовать невозможные на суше методы

Операции	Факторы						
	Увеличение давления	Удаление от поверхности	Понижение температуры	Увеличение плотности	Изменчивость	Коррозионная активность	Населенность
Наблюдение, передача данных	—	---	-	--	---	-	-
Воздействие на грунт	0	---	0	+	-	-	0
Захват объектов	+	--	-	0	---	--	-
Соединение объектов	-	--	0	-	--	-	-
Перемещение объектов	---	--	--	++	--	-	-
Эксплуатация оборудования	---	---	-	--	---	---	---
Добыча биологического сырья	-	---	-	-	---	-	+++

Рис. 1.3. Влияние среды на характерные технологические операции.

0 — влияние отсутствует; - (+) — слабое влияние; -- (++) — среднее; --- (+++)  
 (++++) — сильное влияние.

искусственного воспроизводства и культивирования и особые приемы повышения продуктивности. С другой стороны, многие виды морских животных и растений препятствуют выполнению различных технологических операций. Самый большой вред причиняют организмы, поселяющиеся на различных искусственных сооружениях и разрушающие их поверхность. Нельзя забывать и об опасных морских животных. Нападения морских обитателей на подводные технические средства (например, нападение меч-рыбы на подводный аппарат «Алвин») носят и, по-видимому, будут носить единичный характер. В то же время при организации работ, а также при выполнении водолазных работ опасность нападения акул весьма реальна, что заставляет применять специальные технические устройства.

Данные о влиянии основных факторов водной среды на отдельные технологические операции в обобщенном виде представлены на рис. 1.3. Знаком «—» здесь показано отрицательное влияние, знаком «+» — положительное. Несмотря на всю условность и неполноту такой схемы, она может быть полезна при анализе условий проведения технологических операций под водой.

### **1.3. Краткая характеристика строения дна морей и океанов**

Наблюдаемое в последнее время расширение исследований Мирового океана в значительной мере коснулось его дна. Интерес к нему связан как с фундаментальными работами в области изучения геологического строения земной коры и процессов ее развития, так и с поиском новых источников минерального сырья. Однако несмотря на значительное увеличение объема работы накопленные к настоящему времени материалы из-за колоссальной площади океанического дна не дают полного представления ни о его геологическом строении, ни о его рельефе. По оценкам специалистов ООН, до сих пор изучено не более 3 % площади дна морей и океанов, причем пространственное расположение исследованных участков крайне неравномерно.

Наиболее полные сведения имеются о так называемой материковой отмели (шельфе), которая представляет собой полого наклоненную поверхность, ограниченную материковым склоном. В среднем ширина шельфовой зоны равняется примерно 80 км, изменяясь от нескольких километров до 1200—1300 км. Средняя глубина нижней границы шельфа 133 м. Следует при этом отметить, что в научной литературе иногда принято относить к зоне шельфа лишь участки, залегающие на глубинах до 200 м, что не совсем верно: в некоторых районах материковая отмель переходит в материковый склон на глубинах до 500 м. Общая площадь зоны шельфа составляет 27,5 млн. км<sup>2</sup>, или 7,6 % площади Мирового океана.

В геологическом отношении шельф является подводным продолжением материков, окраины которых были затоплены приблизительно на 100 м вследствие поднятия уровня океана в последлениковий период, начавшийся около 17 тыс. лет назад. В результате сложных процессов разрушения береговой линии, переноса, дифференциации и отложения осадков под действием моря в шельфовой зоне образовались мощные отложения рыхлых пород. Именно с ними связаны многочисленные россыпи полезных ископаемых. Из нерудного сырья в шельфовой зоне обнаружены обширные залежи глауконитовых песков, бариты, доломит, а также фосфориты. Запасы последних оцениваются примерно в  $3 \cdot 10^{11}$  млн. т, причем они постоянно наращиваются за счет осаждения фосфата кальция из морской воды. Несмотря

на сравнительно низкое содержание последнего компонента в породе (от 10 до 22 %), фосфаты моря — важный источник сырья для производства фосфоритных удобрений в будущем.

Площадь мирового материкового склона составляет всего 12 % общей площади дна Мирового океана. В этой ограниченной зоне глубина изменяется в пределах от нескольких сотен до 3500 м. Средние углы наклона поверхности материкового

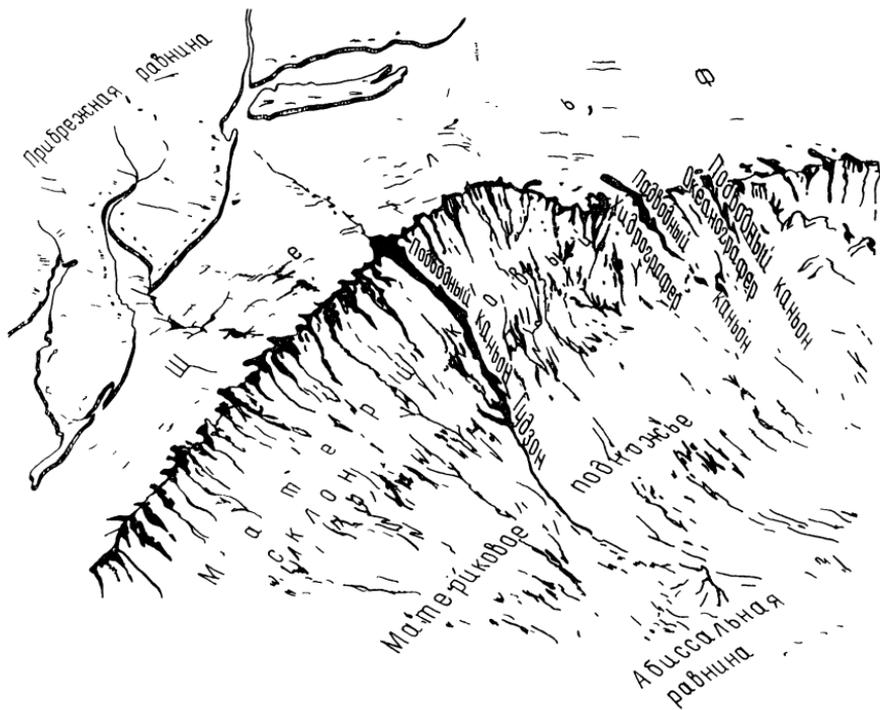


Рис. 1.4. Элементы подводных окраин материков [28].

склона составляют 4—6°, на некоторых участках они достигают 10—15 и даже 45°. В частности, столь крутые склоны характерны для Атлантического побережья Бразилии и США. В геологическом отношении материковый склон совпадает с зоной перехода мощной континентальной плиты, состоящей из гранитного и базальтового слоев, в океаническую, лишенную гранитного слоя. Мощность морских осадков в пределах материкового склона незначительна, что делает его удобным полигоном для изучения материковых платформ, продолжением которых он является. Около 10 % площади материкового склона вообще лишены осадков, однако из-за неровностей рельефа в многочисленных котловинах, покрывающих склон, скапливаются рыхлые

отложения, содержащие примерно 60 % ила, 25 % песка и 5 % ракушечника. Наиболее характерные элементы рельефа материкового склона — ложбины, желоба и гигантские каньоны, ориентированные преимущественно по направлению падения склона (рис. 1.4).

Полезные ископаемые материкового склона представлены, например, глауконитом, залежи которого расположены на глубинах до 1000 м и содержат около 8,5 кг углекислого калия, примерно 555 г рубидия, 161 г лития и 155 г бора на 1 т породы. Другое полезное ископаемое этой зоны — фосфориты, обнаруженные у берегов Аргентины, США, Мексики, Перу, Чили, Японии. Эти месторождения являются как бы продолжением залежей шельфовой зоны. Их объем только в пределах Калифорнийского побережья достигает 1,5 млрд. т при среднем содержании фосфорита 10 %.

На глубинах от 2500 до 3500 м материковый склон переходит в наименее изученную и в то же время наиболее сложную в геологическом отношении часть океанического дна — океаническое ложе. До недавнего времени эти гигантские пространства площадью более 180 млн. км<sup>2</sup> представляли собой абсолютно «белые» пятна на карте нашей планеты. Достаточно сказать, что одна из важнейших и крупнейших структур земной поверхности — система срединных океанических хребтов протяженностью более 60 тыс. км при высоте подводных гор до 3000 м и ширине горных цепей в некоторых случаях свыше 1000 км была открыта лишь в середине 50-х годов нашего столетия.

В дальнейшем в результате крупномасштабных промерных работ, геофизической съемки морского дна и отбора проб поверхностных осадков ученые получили многочисленные материалы, которые позволили составить общее представление о строении океанического ложа. Эти данные были уточнены в последнее время в результате выполнения ряда исследовательских программ, таких как глубоководное бурение океанического дна с борта НИС «Гломар Челленджер» или изучение рифтовой зоны Срединно-Атлантического хребта с помощью глубоководных обитаемых аппаратов по проекту «Фэймэс». Полученные образцы пород указывают на то, что глубинный базальтовый слой океанической коры перекрывается сверху промежуточным слоем из «переслаивающихся» лав основного состава и осадочных пород. Данные бурения и наблюдений подтвердили многие положения теории дрейфа материков.

Вследствие активной тектонической деятельности в зоне океанического ложа его рельеф сильно изрезан многочисленными разломами и подводными хребтами (рис. 1.5). Однако из-за длившегося миллионы лет осаждения твердых частиц и поступления осадочных пород с материкового склона большая часть площади океанического ложа покрыта мощным чехлом рыхлых отложений. Полезные ископаемые представлены здесь

карбонатными и кремнистыми илами, глубоководными красными глинами. Эти илы образованы скелетами соответствующих организмов, а красные глины, выстилающие наиболее глубоководные участки океанического ложа, — результат разложения под действием морской воды продуктов вулканических извержений. Красные глины обычно содержат около 2 % глинозема, 13 % окислов железа, 7 % карбоната кальция, 3 % карбоната магния, 0,2 % меди, 0,02 % кобальта, 0,08 % никеля и по несколько сотых процента золота, серебра, свинца, молибдена, ванадия. Общие запасы красных глин оцениваются в  $10^{15}$  т. Одной только меди в красных глинах содержится около

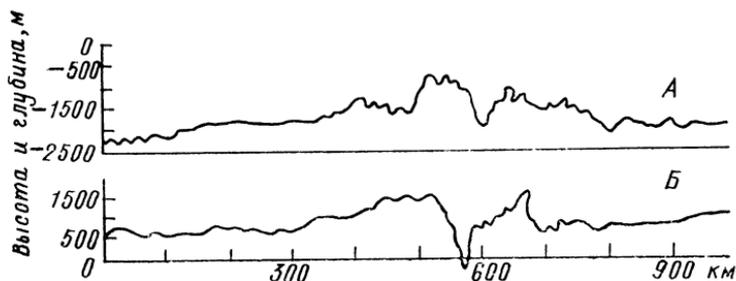


Рис. 1.5. Поперечные профили Срединно-Атлантического хребта (А) и Восточно-Африканской системы разломов (Б) [28].

100 млрд. т. Этот вид глубоководных осадков — один из перспективных источников минерального сырья.

Однако важнейшим видом полезных ископаемых океанического ложа являются железомарганцевые конкреции, образовавшиеся в процессе коагуляции и осаждения гелей окислов и гидроокислов железа и марганца из морской воды на «ядрах» — кусках породы, кремниевых или известковых губках, костях рыб и т. д. В подавляющем большинстве конкреции — это округлые образования (стяжения) диаметром от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров, состоящие из нерудного ядра и наслаивающихся одна на другую пленок гидроокислов, чередующихся с прослойками нерудного состава. Их плотность в сухом виде сравнительно небольшая. В мокром виде они содержат до 30 % влаги, что объясняется их большой пористостью. Химический состав конкреций чрезвычайно богат, но промышленный интерес в настоящее время представляют никель (его содержание в конкрециях колеблется от 0,16 до 2 %), медь (0,3—1,6 %), кобальт (0,01—0,3 %), молибден (0,04 %), цинк (0,1 %) и свинец (0,01 %). Для того чтобы переработка конкреции была рентабельной, содержание указанных металлов в пересчете на «никелевый эквивалент» должно быть не менее 2,8 %

(при подсчете «никелевого эквивалента» 1 % никеля принимается равным 2 % меди и 1 % кобальта).

Железомарганцевые конкреции встречаются во всех океанах и даже в некоторых морях. Основываясь на результатах целенаправленных работ по геологической съемке океанского дна, запасы конкреций в Атлантическом океане составляют при-

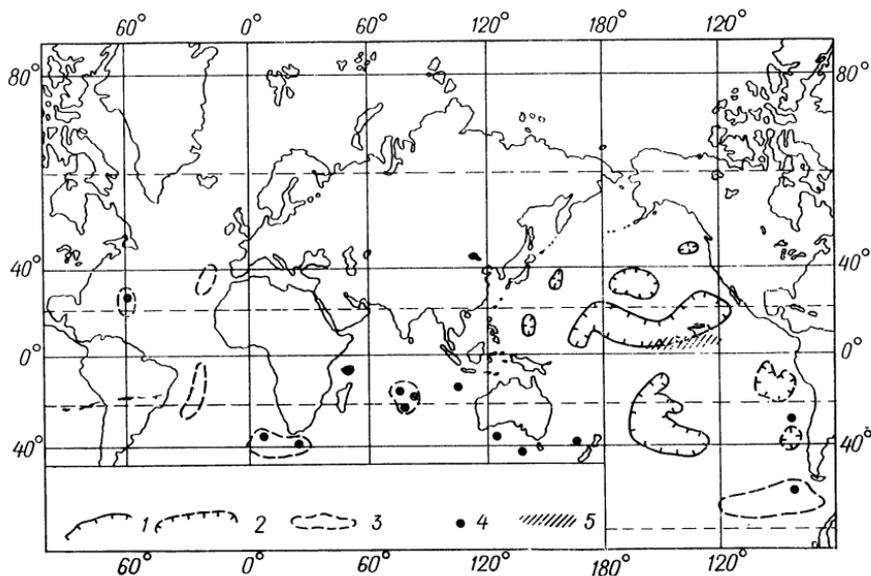


Рис. 1.6. Схема расположения крупнейших залежей конкреций в Мировом океане.

1 — контуры площадей с «рудным содержанием» конкреций (конкрециями покрыто более 10 % площади), конкреции залегают на поверхности дна; 2 — то же, конкреции покрыты слоем осадков; 3 — площади с неизученным содержанием конкреций; 4 — места отдельных находок конкреций с «никелевым эквивалентом» выше 2 %; 5 — основной район разведки конкреций зарубежными фирмами.

мерно 45 млрд. т, в Индийском — 41 млрд. т, в Тихом — 112 млрд. т. Учеными выделены основные перспективные участки для детальных исследований залегания и свойств конкреций. Так, по данным министерства внутренних дел США в Мировом океане имеется от 180 до 460 месторождений, способных дать не менее 75 млн. т конкреций каждое. Наиболее богатые залежи расположены на отложениях северо-восточных районов Тихого океана на глубинах от 3600 до 6000 м (рис. 1.6). По предварительным оценкам, всего на дне Мирового океана залегает до 300 млрд. т железомарганцевой руды. Эти запасы постоянно увеличиваются. Так, годовое накопление марганца в конкрециях примерно в три раза превышает его потребление

всей мировой промышленностью за тот же период времени; накопление кобальта и циркония еще значительнее (соответственно в 4,5 и пять раз).

#### **1.4. Человек в системе «человек — подводная среда»**

Человек, непосредственно участвующий в проведении подводных работ, может быть специалистом-водолазом, водолазом-оператором какого-либо технического средства или оператором-наладчиком автоматизированной установки. Различие состоит в способе воздействия на объект и в характере условий труда. Поскольку различие в способах воздействия определяется только уровнем технического оснащения и не носит принципиального характера, имеет смысл выделить именно существенные условия труда, которые представляется возможным разделить на 1) работу при нормальном атмосферном давлении<sup>1</sup>, когда человек находится выше или ниже уровня воды (в последнем случае он может находиться в камерах, имеющих связь с атмосферой, в подводном аппарате, в нормобарической глубоководной камере), и 2) работу при повышенном давлении, равном или близком давлению среды в месте ее проведения<sup>2</sup>, когда человек может находиться в кессоне, в подводном жилище, в любой гипербарической камере или непосредственно в воде с использованием водолазного снаряжения.

Последний случай наиболее интересен в смысле необходимости учета воздействия водной среды на человека. В свою очередь, эти воздействия можно разделить на два класса: соматические (физиологические) и психические. Естественно, что такое разделение условно, поскольку «физиологическое» и «психическое» — два аспекта единого процесса жизнедеятельности. Кроме того, ряд психологов определяет «психическое» как проявление «физиологического».

В наземных условиях человек может позволить себе некоторую небрежность в регулировании параметров внешнего воздействия, так как обладает в этой среде значительными физиологическими резервами и большим опытом адаптации к изменениям внешних условий. Существуют довольно четкие рекомендации по обеспечению комфорта и наилучших условий работы (рис. 1.7), за пределами которых как в наземных, так и в подводных условиях вначале возникает чувство дискомфорта, а затем, в случае перехода определенных физиологических границ, могут наступить серьезные нарушения в организме человека. Если поддержание зоны комфорта в наземных условиях сравнительно несложно, то в подводных по ряду парамет-

<sup>1</sup> Соответствует английскому термину «man out the sea».

<sup>2</sup> Соответствует термину «man in the sea».

ров оно затруднено. Это — первое, с чем сталкивается человек, погружаясь в воду как непосредственно, так и с помощью технических средств. Здесь необходимо учитывать не только отклонения заданных параметров, но также продолжительность и повторяемость дискомфортного воздействия, — а при выполнении

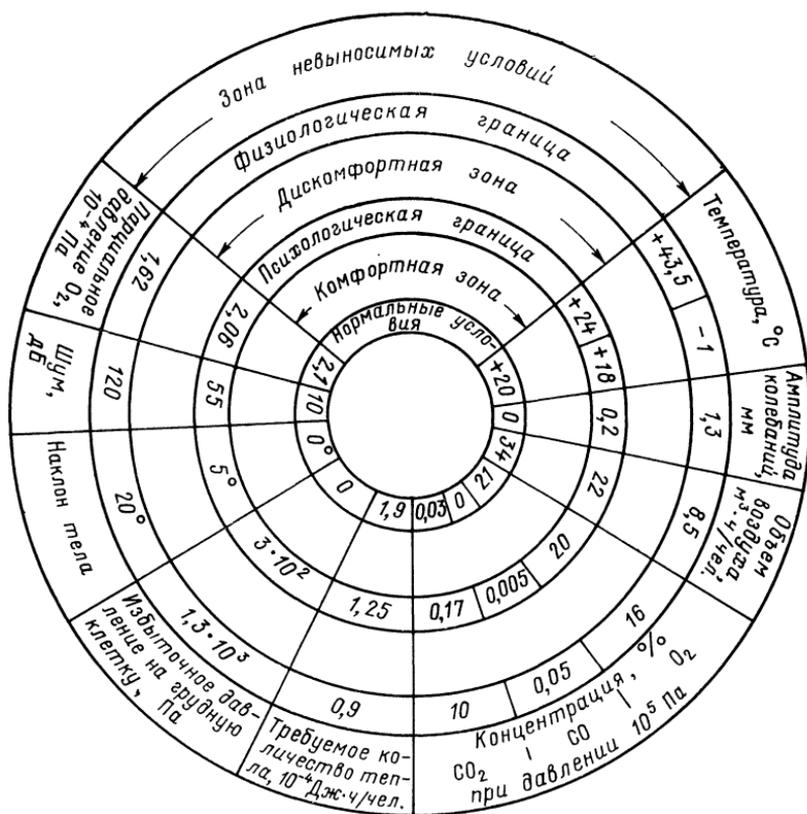


Рис. 1.7. Диаграмма зон и норм комфорта человека, работающего под водой.

технологических операций под водой мы сталкиваемся именно с продолжительными и повторяющимися воздействиями среды на организм человека.

Обеспечение жизнедеятельности под водой сводится к решению нескольких основных проблем: спуск человека на глубину, длительное пребывание и активная деятельность в условиях повышенного гидростатического давления и повышенной теплоотдачи, возвращение из глубины на поверхность, т. е. переход от повышенного давления к нормальному. Все эти проблемы вза-

имосвязаны, и их решение является основополагающим как при создании подводной техники и снаряжения, так и при разработке методов ее применения. Следует отметить, что решение ряда вопросов и сложность стоящих задач во многом зависят от вида и характера конкретных работ, выполняемых под водой. Так, при работах с дыхательными смесями, содержащими гелий, приходится иметь дело со сверхинтенсивной потерей тепла у водолазов и акванавтов, с резким изменением тембра голоса и разборчивости речи, а на глубинах, лежащих ниже 300-метровой отметки, — с действием гелия на центральную нервную систему человека, проявляющимся в форме так называемого «нервного синдрома высоких давлений». Обладая высокой проникающей способностью, гелий создает и чисто технические трудности [41].

Особый отпечаток на человека накладывает фактор длительного проживания в подводных домах или базах. Помимо проблем, встречающихся при создании и использовании индивидуального подводного снаряжения и оборудования, здесь приходится решать ряд новых задач, касающихся объема воздушного пространства, влажности, ионного состава атмосферы, микробной загрязненности, уровня шума, освещенности, предметного и цветового оформления и т. д.

Психологическая сторона воздействия гидросферы на человека так же важна, как и физиологическая. Море вообще, а подводный мир в частности, оказывают особое влияние не только на жизнедеятельность организма человека, как таковую, но и на психику, на его поведение. Первое и, пожалуй, самое главное, что испытывает человек под водой, — это чувство опасности. Оно вызывается не только враждебностью окружающей человека стихии, но и рядом других факторов: сверхзависимостью от действия приборов и автоматики, от правильности поведения других людей, обеспечивающих и гарантирующих безопасность при погружениях, обманчивостью впечатлений от окружающего подводного мира, и т. п. Например, в подводных станциях «Пре-континент-3», где использовался газовый состав гелиокс (смесь гелия с кислородом), всем акванавтам было известно, что отклонение в газовом составе концентрации кислорода всего на один процент уже может оказаться губительным. Очевидно, что это было постоянным угрожающим психическим фактором, так как акванавты знали, что их самочувствие, а может быть, и жизнь зависят от работы автоматов, обеспечивающих подачу газовой смеси. К тому же, как и во многих других случаях, акванавты не могли рассчитывать на быструю помощь извне.

Большое нервное напряжение возникает у водолазов и акванавтов перед выходом на поверхность, которую называют по-разному: финишный эффект, интеллектуальная форма страха, псевдофизиологическая паника и т. п. Это нервное напряжение обусловлено ожиданием предстоящего подъема, связанного

с длительной декомпрессией — самого ответственного и опасного этапа при глубоководных погружениях. Психическая нагрузка в данном случае усугубляется еще и тем, что в большинстве случаев жизнь и безопасность водолаза (акванавта), как мы уже говорили, зависит в значительно большей степени от действия приборов и автоматики (и от других людей), чем от его собственного поведения, и человек понимает это.

На поведение человека под водой большое влияние оказывают особенности окружающей среды, где прежде всего отсутствуют привычные ориентиры и в ряде случаев возникает путаница в отношении даже таких относительно устойчивых и привычных представлений, как «верх» и «низ». На определенных глубинах водолаз (акванавт) еще не видит дна, но уже перестает видеть и поверхность воды. Возникает ощущение, почти тождественное невесомости; человек теряет пространственную ориентировку, что особенно опасно при использовании аппаратов с замкнутой системой газообмена (отсутствует выход газовой смеси в виде устремляющихся вверх пузырей). В чистой и прозрачной воде с хорошо видимым дном возможно возникновение иллюзии свободного парения с появлением симптомов «болезни высоты» — страха падения, паники и т. п.

Длительное пребывание под водой из-за ограниченности внешних воздействий может вызвать так называемый сенсорный голод — патологическое состояние, приводящее к утомлению, апатии, потере заинтересованности в работе, повышенной раздражимости. Жесткая сенсорная изоляция, в частности звуковая, может нарушить интеллектуальную деятельность, вызвать иллюзии, псевдогаллюцинации.

В ряде случаев водная среда изменяет некоторые ощущения. Работающий под водой человек лишен возможности ощущать запах или вкус. Он обладает ограниченными слуховыми возможностями не только с точки зрения ощущения направления звука, но и восприятия речи. Как правило, под водой связь осуществляется с помощью технических средств или знаков, так как в случае использования для дыхания гелиевых и других смесей резко меняется не только тембр и окраска голоса, но и разборчивость речи.

При работах под водой человек не ощущает опоры — его масса не создает реакции. Осязание под водой, притупленное рукавицами гидрокомбинезонов, как правило, резко ограничено. Видимость также ухудшена из-за низкой прозрачности воды, сужения обзора в водолазном шлеме. Под водой человек постоянно ощущает сопротивление дыханию, что тоже очень утомляет, заставляет перенапрягаться. Если погружение водолаза связано еще и с напряженным трудом, то после 3—4 часов работы под водой у него снижается эффективность мышления: рассеивается внимание, уменьшается скорость переработки информации, ухудшается кратковременная память и результатив-

ность выполнения арифметических и логических операций. Наконец, изменяется субъективное ощущение времени: все акванавты говорят о том, что оно идет быстрее, чем на самом деле. Можно отметить еще ряд психических отклонений и явлений, возникающих у человека под воздействием гидросферы. Можно было бы рассмотреть и особенности поведения коллектива людей, находящихся в относительной изоляции в ограниченном объеме подводного дома с особыми условиями жизни, и просто реакцию человека-оператора буровой установки, удаленной на сотни километров от суши среди штормового моря.

В описанных условиях очевидно, что вопросы медицинского обеспечения подводных работ должны играть первостепенную роль. Большое значение имеет изучение самой физиологии пребывания человека под воздействием повышенного давления. Этим вопросам посвящена специальная литература (см., например, [17]).

Какие же выводы можно сделать на основании сказанного? Первое — производительность труда человека под водой всегда ниже, чем при аналогичной деятельности его в земных условиях. Второе — психофизиологическое воздействие водной среды на человека отражается практически на всех аспектах его деятельности как оператора и на восприятии всех его органов чувств как человеческого индивидуума. Третье — психофизиологические характеристики человека должны учитываться в обязательном порядке при организации работ в водной среде, конструировании технических средств и разработке методов их применения. Четвертое — человек в системе «человек — машина» в условиях гидросферы обладает значительно меньшей надежностью по сравнению с аналогичными наземными условиями, поскольку в ряде случаев он должен действовать в экстремальных условиях. И, наконец, пятое — необходимость тщательного отбора и подготовки специалистов, деятельность которых будет связана с гидросферой, и особенно водолазов-глубоководников, акванавтов — жителей подводных домов, подводных исследователей и т. п. Помимо медико-физиологического освидетельствования, при выборе лиц для подводной деятельности должны непременно выявляться характеристики психологического свойства, позволяющие оценивать интеллект, психологическую совместимость и быстроту реакции и мышления, организацию моторной деятельности кандидата в гидронавты. Последняя особенно важна для работы под водой, чреватой возникновением аварийных ситуаций. Благодаря ей действия человека-оператора при определенных условиях (раздражителях) происходят автоматически, почти рефлекторно, что позволяет ему сосредоточить внимание на цели действия, а не на способе его выполнения. Организация моторной деятельности сопровождается возникновением в центральной нервной системе комплекса временных связей или динамических стереотипов, являющихся

основой навыка, и может быть достигнута либо в ходе практической деятельности при однообразии выполняемых работ, либо путем длительных тренировок под воздействием одних и тех же раздражителей. Как известно, организация моторной деятельности космонавтов при возникновении тех или иных аварийных ситуаций — один из важнейших аспектов их подготовки. В настоящее время считается целесообразным использовать этот опыт и в системе подготовки лиц, связанных по роду своей профессии с деятельностью в гидрокосмосе. О важности психологических проверок говорит и тот факт, выявленный инженерной психологией, что отдельные индивидуумы имеют предрасположение к созданию аварийных ситуаций.

Методики отбора неразрывно связаны и с системой обучения. Накопленный опыт подводных работ свидетельствует, что важнейшим фактором, обеспечивающим безопасность ведения работ под водой и их высокую эффективность, является отличная водолазная и профессиональная подготовка специалистов, высокие моральные качества. В современных условиях это может быть достигнуто лишь путем отбора, серьезного обучения и тренировок всех лиц, занятых работами в водной среде независимо от того, будут ли они заниматься научными исследованиями или выполнять промышленно-технические работы.

При проведении любых подводных работ существуют определенные элементы риска. Обычно принимаются во внимание такие из них, как опасность для здоровья и жизни людей, риск загрязнения окружающей среды, риск экономических потерь. Естественно, что первое и самое главное — это обеспечение подводных работ с минимально возможной степенью опасности для человека. В этом смысле наибольшую безопасность обслуживающего персонала обеспечивают необитаемые подводные аппараты. Несколько меньшую безопасность гарантируют обитаемые подводные аппараты, однако, согласно данным [16], современные подводные обитаемые аппараты все же обладают достаточно высокой надежностью. Так, за 11 лет эксплуатации 150 подводных аппаратов совершили несколько тысяч погружений. За это время 19 аппаратов имели только 30 поломок и аварий.

Из рассмотренных технических средств водолазное снаряжение, предусматривающее непосредственное пребывание человека в водной среде, отличается наибольшей степенью риска. В общем случае при глубоководных погружениях работа водолаза (акванавта) аналогична по степени риска работе космонавта в открытом космосе, а по ряду параметров и превосходит ее. Американский космонавт Скотт Карпентер, вернувшись на поверхность с глубины 61 м после месячного проживания в подводном доме «Силаб-2», сказал: «Подводный мир более враждебен человеку, чем космос». И действительно, изменение внешнего давления, действующее на акванавта уже через первые

десять метров глубины, превосходит то, которое испытывает космонавт при выходе в открытый космос. Для дыхания космонавта требуется относительно простая газовая смесь, в то время как для дыхания акванавта необходима сложная газовая смесь, содержащая очень низкий процент кислорода, непривычный для человека гелий и т. п., причем пропорции составных компонентов этой смеси должны меняться при изменении глубины погружения. Космонавт гарантирован от кессонной болезни за исключением случая разрыва скафандра. Для акванавта, подвергшегося воздействию инертных газов под высоким давлением, практически нет защиты от кессонной болезни при быстром выходе на поверхность. Заметим, что, например, для возвращения с Луны на Землю и для перехода от давления на глубине 250 м до нормального требуется примерно одно и то же время.

Меньшую, чем у водолазов и акванавтов, но достаточно высокую степень риска сохраняют работы, выполняемые на морских площадках, и связанные с подводной добычей различного сырья. Так, до конца 1976 г. только в британском секторе Северного моря при разработках морских месторождений нефти и газа в результате несчастных случаев на буровых и эксплуатационных платформах погибло 65 человек, а на обслуживающих судах — 12 человек. В результате оценки опасности смертных случаев установлено, что при разработке морских месторождений такая опасность для рабочих в 100 раз выше, чем для служащих обычных учреждений, в 25 раз выше, чем при общемашиностроительных работах, в 8 раз выше, чем при строительных работах на суше, и в 4 раза выше, чем при рыболовстве.

Взаимосвязь основных факторов, определяющих вероятность  $R_b$  несчастного случая (травмы или заболевания) с водолазом, работающим под водой, в общем виде может быть проанализирована с помощью соотношения [105]

$$R_b = ce \frac{prf}{tm_b \rho}, \quad (1.1)$$

где  $c$  — вероятность для человека вообще попасть в аварийную ситуацию исходя из опыта прошлого (для среднего человека, не связанного с опасным производством, вероятность попасть в аварийную ситуацию с тяжелым исходом, например в результате дорожно-транспортного происшествия, составляет примерно  $1/8000$ );  $e$  — воздействие на человека факторов, обусловленных окружающей средой (очень существенно для водолаза, находящегося в необычных условиях, часто на грани физических возможностей и к тому же без возможности оказания немедленной медицинской помощи);  $p$  — психофизическая склонность некоторых людей к созданию аварийных ситуаций или неспособность их к адаптации в условиях длительного или кратковре-

менного стресса, что влечет за собой не соответствующую ситуации реакцию, панические действия;  $r$  — уровень приемлемого риска при проведении подводных работ (во многом зависит от морально-волевых качеств водолазов);  $f$  — неблагоприятное физическое состояние водолаза (этот фактор для водолазов особенно важен, поскольку специфика их труда такова, что даже незначительное недомогание, которое на суше можно было бы оставить без внимания, может привести к самым серьезным последствиям);  $t$  — качество обучения, характеризующее тот общеизвестный факт, что хорошо обученный специалист работает более эффективно и менее подвержен угрозе травматизма;  $m_a$  — готовность человека к действиям в аварийных ситуациях, определяемая опытом его предшествующей работы (подразумевается способность действовать в неожиданно возникшей ситуации хладнокровно и решительно с тем, чтобы выйти из нее оптимальным образом);  $p$  — предпринимаемые меры безопасности, характеризующие прежде всего подготовку и организацию подводных работ, уровень средств защиты, страховки, аварийного обеспечения.

Полезность этого соотношения заключается, в основном, в том, что оно позволяет наглядно охарактеризовать проблему обеспечения безопасности. Проведение же численных оценок с его помощью затруднено, так как определение коэффициентов требует статистического анализа аварийных ситуаций. Кроме того, при ближайшем рассмотрении некоторые из них оказываются взаимосвязанными, что также затрудняет выполнение расчетов.

Кроме риска, обусловленного собственно опасностью для здоровья и жизни людей в их деятельности на воде и под водой, при организации работ на море следует учитывать еще один элемент риска — опасность загрязнения окружающей среды и нарушения ее экологического равновесия. В ряде случаев, например при радиоактивном заражении воды, эта опасность не менее значительна и для человека, так как непосредственно угрожает его здоровью и жизни.

С интенсификацией подводно-надводных работ по освоению морских месторождений нефти и газа количество происшествий при бурении, добыче и транспортировании резко увеличилось, а следовательно, увеличилась и степень риска при ведении операций подобного рода. Обычно под риском понимают вероятность того, что в период деятельности какая-либо опасность приведет к происшествию с определенными последствиями. Математическая вероятность риска  $R$  может быть определена по соотношению

$$R = DM_t = Dmn, \quad (1.2)$$

где  $D$  — вероятность происшествия;  $M_t$  — количество опасных ситуаций за период деятельности;  $m$  — статическая или расчет-

ная частота возникновения опасных ситуаций;  $n$  — количество периодов времени.

Приемлемое значение вероятности риска во многих случаях строго индивидуально и определяется также статистическими методами [111].

### 1.5. Объекты подводного строительства

История создания подводных сооружений уходит в глубокую древность. Человек с незапамятных времен строил причалы, плотины, искусственные острова для вынесения в открытое море маяков, оборонительных и хозяйственных сооружений. В наши дни подобные гидротехнические объекты остаются наиболее впечатляющими по сложности и объемам выполняемых работ. Сюда относятся и плотины современных гидроэлектростанций, и новейшие искусственные гавани, и скрытые в толще вод морские транспортные тоннели, гигантские водозаборники и водовыпуски.

Хотя до последнего времени подобные сооружения воздвигались в основном на мелководье, при их создании был приобретен тот огромный опыт проведения подводно-технических работ, без которого был бы невозможен совершающийся на наших глазах качественный скачок в подводной технологии. Пожалуй, особенно существенно здесь следующее: если раньше морские сооружения возводились с берега или вблизи него, то теперь они удалены от берега на сотни километров, и их стали возводить в условиях открытого моря<sup>1</sup>. Речь идет, в основном, о морском строительстве нефте- и газопромыслов.

Вначале такие сооружения строили по традиционной «прибрежной» схеме. Так появились свайные города на морских промыслах Каспия, в Мексиканском и Персидском заливах. Подобные конструкции оказались пригодными лишь для сравнительно мелководных районов. На глубинах порядка 100 м на смену им пришли эксплуатационные и добывающие платформы, устанавливаемые на значительном расстоянии друг от друга. Именно они сейчас считаются наиболее рентабельными и в смысле строительства, и в смысле обслуживания, так как позволяют производить бурение и добычу в условиях открытого моря.

Стационарные морские платформы — это высотные сооружения, их большая часть погружена в толщу вод. Открытой для наблюдения остается только рабочая платформа, высоко поднятая над уровнем моря. На ней размещаются буровое оборудование, электростанции, жилые помещения, склады материалов, грузоподъемные средства, вертолетные площадки — все, что необходимо для бесперебойной работы в течение нескольких месяцев непогоды.

<sup>1</sup> Соответствует английскому термину «off-shore» — удаленный от берега.

Выделяются два типа платформ: свайные и гравитационные. Первые сооружаются в основном из стали и закрепляются на морском дне с помощью свай, забитых на значительную глубину в грунт. Вторые, для строительства которых используют и стальные конструкции, и железобетон, удерживаются в требуемом

положении под действием силы тяжести. Выбор типа стационарной платформы диктуется сочетанием различных факторов. Основные из них — глубина, сейсмоактивность дна, погодные условия, экономика.

Стальным свайным конструкциям отдают предпочтение, когда глубина моря не превышает 90 м и когда можно транспортировать добытые нефть и газ по трубам. Эти конструкции считаются также более надежными в сейсмически опасных районах. В этом случае их устанавливают и на гораздо больших глубинах. Примером может служить платформа типа «Хондо», установленная компанией «Эксон» на глубине 225 м в сейсмоактивном районе вблизи Калифорнии. Такая глубина, по крайней мере вдвое, превысила те, на которых подобные сооружения устанавливались ранее. Конструкция платформ выполнена водонепроницаемой (рис. 1.8), ее масса — 12 тыс. т, высота — 259,5 м. Размер платформы у основания  $51 \times 70,5$  м, в верхней части —  $13,5 \times 51$  м. Платформа имеет восемь трубчатых опор диаметром 137,2 см и трубчатые направляющие в основании диаметром 160 см, предназначенные для

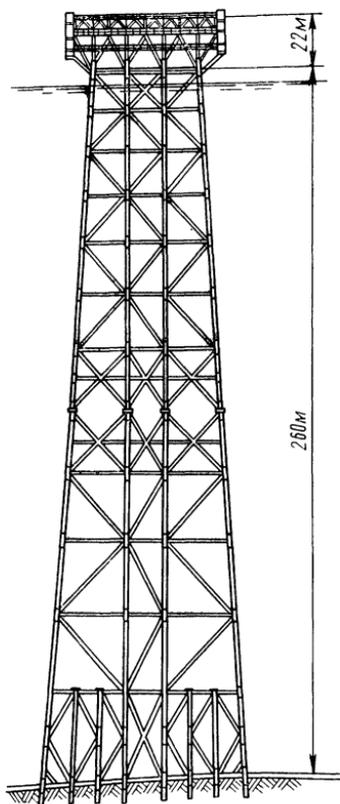


Рис. 1.8. Стальная свайная платформа типа «Хондо».

забивки свай диаметром 122—137,2 см на глубину более 100 м. Конструкция платформы представляет собой пространственную ферму из труб. На ее основные опоры израсходовано 4000 т листовой стали толщиной от 1,91 см в верхней части до 4,13 см в основании. На поперечные также трубчатые тяги израсходовано 5000 т стали. Материал выбран с умеренным пределом текучести и достаточной пластичностью, чтобы конструкция могла противостоять комбинированным нагрузкам, вызываемым действием ветра, волн, течений и землетрясений (последние в районе установки создают ускорения до  $0,5 g$ ).

Платформы типа «Хондо» выполняются в виде нескольких секций, которые соединяют и герметизируют на плаву в месте установки. Для облегчения этой операции на разъемных частях предусмотрены конические направляющие. Части опор соединяют сначала с помощью фланцев с изолирующими прокладками, а затем проваривают изнутри, для чего предусмотрены специальные входные люки и подъемные механизмы, обеспечивающие доступ сварщиков к соединениям. После соединения на плаву нижние отсеки опор затопляют водой, платформу переводят в вертикальное положение и устанавливают в заданном месте на дне. Концы опор входят на расчетную глубину в грунт, и в него через направляющие трубы забивают сваи, которые затем цементируют или приваривают в подводном положении. Проектировщики предполагают, что подобные сооружения могут быть установлены и на больших глубинах моря. Компания «Эксон» планирует, например, установить подобную платформу на глубине 312 м в Мексиканском заливе в устье реки Миссисипи. Платформа, масса которой составит 45 тыс. т, будет возвышаться над уровнем моря на 54 м [112].

Установка в открытом море платформ на сваях связана с очень большими трудностями. Основная из них — придание основанию расчетной остойчивости в минимально сжатые сроки. В условиях Северного моря, где подобные работы можно проводить четыре-пять месяцев в году, окончательный ввод платформы в эксплуатацию иногда растягивается на один-два года. Есть и эксплуатационные трудности, в частности — обеспечение постоянно действующей электрохимической защиты такого грандиозного сооружения, постоянный контроль состояния опор и силового набора.

Очень важно правильно определять ресурс подобных сооружений по усталостной прочности материалов конструктивных элементов и неукоснительно соблюдать режимы их эксплуатации. Произошедшие в 1980 г. в Норвежском секторе Северного моря аварии, связанные с разрушением во время штормов несущих опор двух свайных платформ, — трагическая расплата за нарушение этих режимов.

Преимущества платформ гравитационного типа — значительное сокращение сроков установки (вместо месяцев — несколько дней), большая безопасность буксировки этих массивных сооружений с хорошей остойчивостью, упрощение операций по вводу в эксплуатацию за счет того, что практически все оборудование может быть установлено на рабочей палубе до буксировки. Важны и такие технологические достоинства, как свойство бетона приобретать прочность со временем, его коррозионная стойкость [112]. Если значительная часть стоимости работ по созданию свайной конструкции приходится именно на забивку свай, то стоимость работ по установке гравитационной платформы составляет всего 10 % общей стоимости, причем их большая часть

идет на буксировку. Другое достоинство гравитационных платформ — возможность без дополнительных затрат создавать в их основании емкости для хранения продуктов добычи, что делает такие сооружения более многофункциональными, чем свайные, позволяет устанавливать их в районах, значительно удаленных от берега, а также там, где прокладка трубопроводов по каким-либо причинам затруднена. Дополнительными технологическими до-

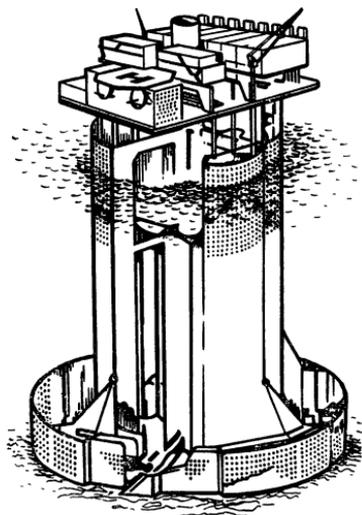


Рис. 1.9. Гравитационная платформа типа «Дорис».

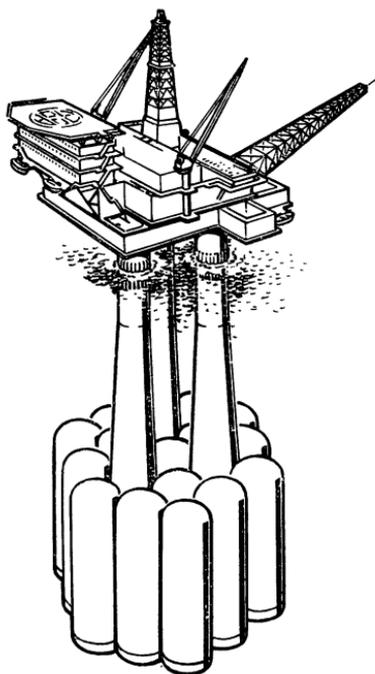


Рис. 1.10. Гравитационная платформа типа «Кондип».

стоинствами являются дешевизна и доступность такого строительного материала, как бетон.

К сожалению, эти платформы не лишены и недостатков. К ним относятся необходимость тщательно выравнивать морское дно перед установкой платформы, чувствительность к сейсмическим нагрузкам и к возможному при монтаже повышению гидростатического давления в полостях, а также к ударным нагрузкам при установке платформы на дно. К недостаткам можно отнести и большую осадку при буксировке (впрочем, эта же осадка повышает устойчивость и дает возможность продолжать транспортировку в случае шторма). Однако достоинства железобетонных гравитационных платформ все же превышают их недостатки, иначе чем же объяснить тот факт, что в 1976—1977 гг. при строительстве нефтепромыслов в Северном море

спрос на них был в два раза выше, чем на стальные платформы [112]. Наиболее распространенный тип гравитационной платформы представляет собой сооружение, основанием которого служит ячеистая емкость. Через нее проходят и крепятся в фундаментной плите опоры, поддерживающие рабочую палубу. Ячейки емкости, объединенные в несколько групп, могут служить хранилищем жидких и газообразных продуктов. В процессе постройки, буксировки и установки ячейки играют роль понтонов переменной плавучести.

Первая платформа такого типа (рис. 1.9) «Дорис» была построена и установлена в 1973 г. в Северном море на глубине

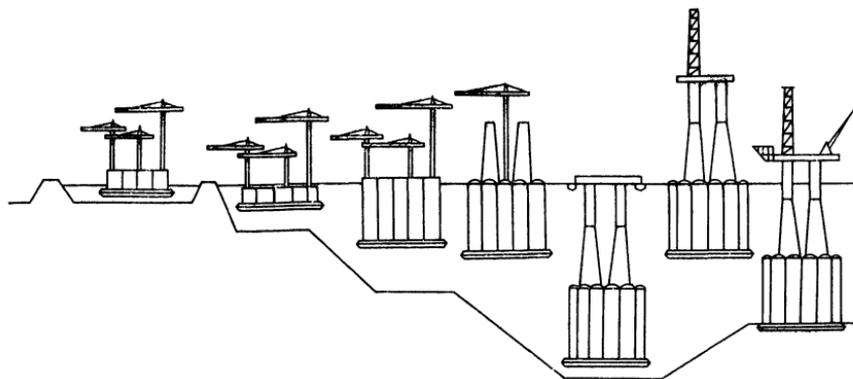


Рис. 1.11. Основные этапы строительства гравитационной платформы.

70 м. Высота платформы 90 м, размеры в плане  $50 \times 50$  м, на ее изготовление пошло  $80\,000\text{ м}^3$  бетона. Вокруг платформы установлена волногасящая стенка, поглощающая до 70 % энергии волн.

Одной из характерных конструкций гравитационных бетонных платформ является платформа, разработанная проектировщиками концерна «Акергрупп» и получившая название «Кондип» (Condeep). Ее фундамент состоит из 19 цилиндрических секций-нефтехранилищ, на конических бетонных колоннах, выступающих из воды, покоится рабочая стальная платформа площадью  $4000\text{ м}^2$ , поднятая на высоту 30 м над уровнем моря (рис. 1.10).

Строительство такой платформы начинают в сухом доке или в котловане на берегу. Прежде всего, монтируют стальную опалубку и железобетонное основание и доводят высоту стенок железобетонных секций до 6—10 м. Затем работы ведут на плаву, регулируя осадку с помощью балласта. Следующий этап постройки — завершение нижнего блока и начало бетонирования колонн — выполняют на мелководье, а завершают работу на

глубоководном участке. Здесь на колонны устанавливают рабочую палубу и оборудование, масса которого может достигать нескольких десятков тысяч тонн. Последовательность выполнения работ по строительству гравитационного основания иллюстрирует рис. 1.11.

Разработано несколько типов гравитационных платформ, сочетающих достоинства железобетонного подводного хранилища

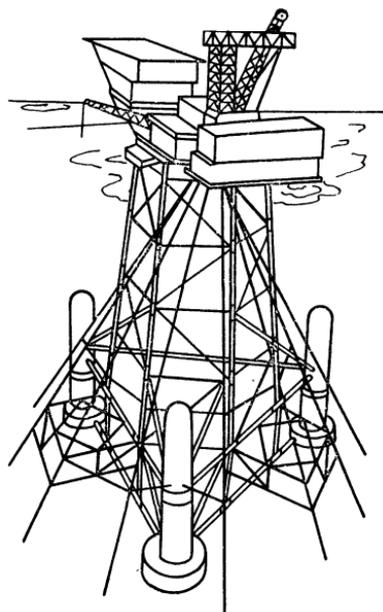


Рис. 1.12. Цельнометаллическая гравитационная платформа типа «Текномэйр».

с достоинствами стальной фермы. Это — так называемые гибридные платформы. Их отличительная особенность — возможность одновременной постройки трех основных элементов платформы на разных заводах и отсутствие трудностей, связанных с буксировкой в мелководных районах, так как эти элементы — донный блок, вмещающий примерно 160 тыс. т нефти, стальная ферма и рабочая палуба, монтируемая прямо в море, — транспортируются раздельно. Стальная ферма может быть выполнена в виде одного моноблока или нескольких колонн.

Разработаны и цельнометаллические гравитационные платформы. Одна из них, спроектированная фирмой «Текномэйр» (Италия), предназначена для бурения 32 скважин на глубине до 250 м (рис. 1.12). Платформа представляет собой стальную

ферму, опирающуюся на дно тремя емкостями, которые расположены по углам треугольного основания. Конструкция собирается на берегу и транспортируется к месту установки на плаву в вертикальном положении. Создано несколько модификаций такой платформы для различных районов эксплуатации.

Одна из самых крупных в мире морских железобетонных платформ сооружается для месторождения Brent в 160 км к северо-востоку от Шетландских островов. Ее масса 300 тыс. т, из них 259 тыс. т приходится на бетон специального приготовления, 15 тыс. т — на армирующую сталь, около 3 тыс. т — на рабочие палубы. Глубина моря в районе установки 138 м, над поверхностью воды рабочая палуба возвышается на 30 м. В основании платформы имеется емкость высотой 54 м, разделенная на секции площадью 28 м<sup>2</sup>. Площадь опорной плиты около 11 тыс. м<sup>2</sup>.

На стальной рабочей палубе размещено буровое и эксплуатационное оборудование массой 6000 т. Над ней установлена площадка для вертолетов. Платформа предназначена для бурения 36 скважин, а ее емкости способны вместить около 160 тыс. т нефти.

Описанные выше сооружения противостоят воздействию волн и поверхностных течений. Между тем с ростом глубин увеличиваются габариты платформ, уменьшаются собственные частоты колебаний и для обеспечения прочности приходится прибегать ко все более материалоемким конструкциям. В связи с этим у разработчиков появилась идея создания платформ, которые могли бы отклоняться от вертикального положения под воздействием неблагоприятных метеорологических условий на поверхности моря. Так, инженеры фирмы «Чикаго бридж энд айрон» предложили проект глубоководной установки башенного типа, снабженной карданным соединением вблизи основания и четырьмя плавучими резервуарами в верхней части. По внешнему виду платформа должна представлять собой четырехгранную металлическую ферму, крепящуюся к морскому дну с помощью сорока свай, забиваемых через ноги башни, которые несколько не доходят до фундаментной плиты. Последняя выполняется в виде тора с внешним диаметром 45 м и внутренним — 36 м. Через тело тора проходят трубы длиной 9,1 м и внутренним диаметром 1,37 м (через эти трубы и будут забиваться сваи). Пространство между сваями и направляющими трубами (диаметр свай 1,22 м) заливается бетоном.

Платформа предназначена для бурения 40 скважин на глубине до 412 м. Она полностью собирается на берегу в сухом доке и в горизонтальном положении буксируется к месту установки. Для перевода платформы в вертикальное положение достаточно заполнить ее балластную емкость. В перспективе предполагается создание платформ, предназначенных для работы на глубинах до 600 м [42].

С увеличением глубины моря в районе добычи строительство стационарных платформ становится все более трудо- и материалоемким. Специалисты считают, что 300 м — это тот предел, за которым становятся рентабельными чисто подводные системы бурения и эксплуатации. Особенно это касается бурных и замерзающих морей. В мире уже испытано и частично используется около ста подводных установок. В основном это экспериментальные системы, расположенные на глубине 50—100 м. Есть опыт установки устьевого оборудования скважины на глубине 120 м для эксплуатации скважины совместно с платформой типа «Кондип» на месторождении Берил (Северное море). В стадии отработки находятся системы для работы на глубинах до 900 м.

Строительство подобных сооружений включает установку на дне массивного основания с рабочей камерой, содержащей ком-

плект бурового оборудования, запас труб и инструмента. Бурение в камере ведется при нормальном давлении, сменный персонал с помощью нормобарической камеры доставляется со специального судна обеспечения. В другом варианте подводное основание оборудуется устройством для ввода бура с поверхности и дистанционно управляемым клапаном (превентером), предотвращающим выброс нефти или газа. По окончании бурения скважина подключается к общей распределительной системе (манифольду), которая управляется с эксплуатационного основания.

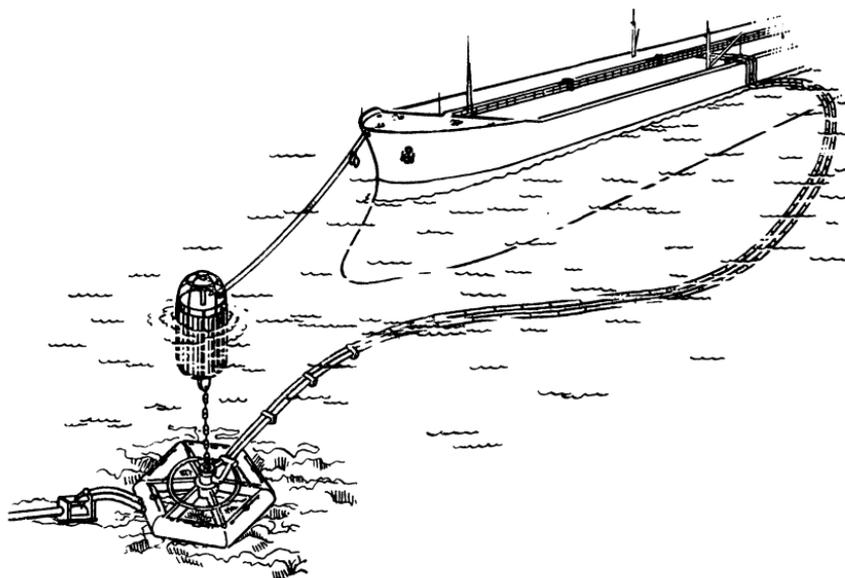


Рис. 1.13. Одноточечный причал для загрузки танкеров в открытом море.

Кроме оснований и платформ, следует упомянуть подводные хранилища, располагаемые на дне и в толще воды. Они предназначены для накопления нефти и газа, в том числе сжиженного, и различных продуктов переработки нефти. Такие хранилища можно разместить в наиболее удобном с точки зрения эксплуатации месте. При достаточной глубине в них без специальных затрат можно поддерживать постоянную температуру— немаловажный фактор, снижающий потери при хранении. Эти хранилища часто снабжают специальными плавучими причалами (рис. 1.13), у которых гигантские танкеры могут загрузиться без опасности повредить хранилища. Плавучими причалами в ряде случаев приходится оснащать и эксплуатационные основания, имеющие хранилища.

Добыча нефти и газа невозможна без строительства подводных трубопроводов, которые должны соединять между собой подводные скважины и хранилища, хранилища с перерабатывающими заводами и причалами и т. д. Нужны не только трубопроводы, проложенные по дну, но и размещенные в толще воды. Они предназначаются для соединения как плавучих, так и донных и плавучих сооружений. Они могут быть также технологическими трубопроводами, обеспечивающими непрерывный процесс добычи, сжижения и хранения природного газа. Кроме газо- и нефтепроводов строятся водоводы, глубоководные выпуски, различные вспомогательные трубопроводы.

Прокладка трубопроводов — один из важных элементов современной подводной технологии. Достаточно сказать, что в настоящее время в мире находится в действии не менее 20 тыс. км подводных трубопроводов. Прогресс в области подводной трубоукладки заметен: еще 15 лет назад не было технических средств для прокладки труб на глубинах 50 м, а уже в 1974 г. был проложен трубопровод, соединивший о. Сицилию с материком на глубине 360 м. Проводятся эксперименты по укладке труб и на более значительных глубинах. Очень важно научиться делать это, так как увеличение морской добычи нефти и газа связано с освоением новых глубин. Если глубины освоенных районов Северного моря, полностью лежащего в зоне шельфа, не превышают 140 м, то район Арктического архипелага — это уже глубины порядка 180 м, а открытые в 1976 г. арктические месторождения Канады скрыты 300-метровой толщей воды. Перспективны и глубоководные районы Мексиканского залива, где уже сейчас добыча идет с глубины около 200 м. Основной прирост добычи бакинской нефти также ожидается с больших глубин. Вероятно, наиболее рентабельным способом транспортировки нефти и газа с шельфа наших северных морей также будет трубопроводный.

Кроме сооружения трубопроводов, для подводной добычи нефти и газа требуются различные энергетические устройства, станции перекачки и регулирования параметров транспортируемого сырья. Но этими задачами подводное строительство не ограничивается. Нефть и газ — перспектива ближайших десятилетий: если их разработка будет идти такими же высокими темпами, эти запасы неминуемо истощатся и человечество перейдет к другим источникам энергии. Вполне вероятно, что одним из них будет кинетическая энергия, запасенная в океанских течениях, в волнах, а также термическая энергия. В любом случае это будет связано со строительством подводных сооружений и различных установок. Возможно, со временем экономически оправданной окажется разработка полезных ископаемых в толще океанского дна, и не только их добыча, но и переработка, а следовательно, в перспективе потребуются строительство глубоководных заводов, целых промышленных комплексов.

### ПОДВОДНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

#### 2.1. Инженерные изыскания

Реализации проекта любого подводного сооружения — будь то трубопровод, хранилище, энергоблок или ферма для разведения морских животных — предшествует большой объем подготовительных работ, включающий кроме проектирования инженерные изыскания. На основе данных этих изысканий выбирается участок или трасса будущего сооружения, увязывается его структура с геологическими, геофизическими и океанологическими условиями, выполняется анализ комплекса факторов, оказывающих влияние на функционирование будущего сооружения, изучается взаимное влияние нескольких объектов, расположенных в одном районе. Можно выделить две большие группы воздействующих факторов — природные, связанные с воздействием среды, и искусственные, обусловленные деятельностью человека. При изучении первых необходимо выделить погодные факторы, океанографические, геологические, геотехнические, биологические. Ко второй группе относятся технические, технологические, экономические и социальные факторы.

Определенное сочетание нескольких факторов (а часто и любой из них) может потребовать коренной перестройки производственного цикла, конструкции или самого технологического процесса, заложенного при проектировании инженерного сооружения. Например, существуют два принципиально различных метода выбора участка под будущее строительство: один основан на соответствии сооружения особенностям участка дна или акватории, второй — на выборе участка для размещения сооружения в зависимости от его конструктивных особенностей [101]. Какой группе факторов отдать предпочтение и соответственно какой подход реализовать на этапе, предшествующем проектированию, — задача не однозначная. Предпочтение какому-либо методу можно отдать только в результате анализа, детальность которого будет определяться и экономическими соображениями, и оригинальностью технического решения, и оценкой возможных потерь (не только экономических).

Для инженерно-технического работника уверенность в правильности выбора технического решения — немаловажный мобилирующий фактор, поэтому здесь уместно рассмотреть вариант общего алгоритма создания абстрактного сооружения, представив его в виде такой последовательности операций [92, 101]:

- формирование цели создания будущего сооружения;
- рассмотрение (разработка) вариантов возможных технических решений;
- выбор потенциальных районов размещения сооружения;
- анализ воздействующих факторов первой и второй групп;
- выбор наиболее приемлемых районов;
- сопоставление технических решений с наиболее существенными факторами;
- выбор участка под сооружение;
- выбор решения или наиболее оправданного варианта решений;
- всесторонняя проработка решения (решений);
- выполнение необходимых экспериментов;
- проверка и окончательное утверждение решения;
- разработка технического проекта;
- претворение проекта в жизнь.

Собственно изыскания, т. е. определение количественных характеристик воздействующих факторов, могут потребоваться на любом этапе реализации подобного алгоритма. Их конкретная форма (работа с документами или непосредственное проведение измерений, взятие проб и т. д.) зависит от изученности района предполагаемого строительства, новизны технического решения и т. п. Детальность изысканий — также вопрос,

Таблица 2.1

### Океанографические факторы

Наименование	Характеристики
Физико-химические свойства	Температура, соленость, плотность, количество растворенных газов, химических веществ или загрязняющих примесей, акустические, электромагнитные, механические, оптические и коррозионные свойства
Изменения уровня воды	Штормовое волнение, приливы, цунами, сейши
Волны различной природы	Высота, длина, период, спектр, направление и скорость распространения, продолжительность и повторяемость (в том числе штормовых волн), массоперенос, интерференционные эффекты
Течения (ветровые, приливные, внутренние, бароклинные, баротропные и т. д.)	Локализация в толще вод, стратификация, направление, скорость, инерционность, турбулентность, когерентность, изменчивость, завихренность, частота появления, градиентные свойства, перенос (массы, тепла, загрязнений, донных материалов и т. д.)
Морской лед (дрейфующий, айсберги, паковый, островной, сезонный и т. д.)	Статистика появления, скорость движения, направление движения, соленость, прочность, воздействие на преграды, плотность, структура, толщина, образование, обледенение

требующий уточнения в каждом конкретном случае. Факторы, влияющие на выбор места расположения некоторого абстрактного подводного сооружения, детально проанализированы в работе [101] и приведены (с некоторыми изменениями и сокращениями) в табл. 2.1—2.3.

В качестве примера выполнения конкретных инженерных изысканий рассмотрим геотехнические исследования, предшествующие и сопутствующие строительству свайного фундамента морской стационарной платформы [108].

Таблица 2.2

### Атмосферные факторы

Наименование	Характеристики
Ветры: преобладающие штормы, ураганы	Скорость, направление, продолжительность, частотный спектр
Физические свойства	Скорость, направление, продолжительность, частота, периодичность, предсказуемость
Осадки	Температура, влажность, давление, их колебания
Видимость	Типы, величины, продолжительность, повторяемость
Распространение излучений	Типы помех (туман, турбулентность, облачность), дистанция, продолжительность действия, повторяемость
	Коэффициенты: затухания, отражения, ослабления электромагнитных волн различных частотных диапазонов, в том числе излучений лазеров

Прежде всего свайный фундамент должен удовлетворять следующим основным требованиям: несущая способность каждой сваи (группы свай) должна быть достаточной, чтобы выдержать проектную нагрузку с определенным коэффициентом безопасности; нагрузочные характеристики каждой сваи должны быть приемлемыми при кратковременных и при долгосрочных силовых воздействиях; забивка свай должна быть обеспечена с помощью наличного оборудования.

Для определения несущей способности свай и прогибов, а также для выбора типа сваебойного оборудования проводят расчеты, основанные на известных параметрах используемых свай и характеристиках грунта, уточняемых непосредственно на месте предполагаемой установки платформы. Знание грунтовых условий позволяет определить необходимые количество и расположение воспринимающих всю нагрузку опорных ног, а также установить приемлемый предел забивки свай и их расположение при известной глубине забивки и различных вариантах размещения опорных ног. Затем, на основании анализа волновых

уравнений, описывающих процесс взаимодействия сваи, грунта и молота, оценивают изменение сопротивления грунта во время забивки (СГЗ) с глубиной и находят отношения между СГЗ и числом ударов молота, требуемых на единицу длины погружения сваи.

Таблица 2.3

Геологические и геофизические факторы

Наименование	Характеристики
Донные материалы	Состав (осадочные, коренные), структура, стратификация, падение и простираие пластов, разрывы (сдвиги, вкрапления, спай, трещины, уклоны напластований), толщина осадочных пород
Топография	Локальный и региональный уклон, неровность, регулярность (боковая протяженность — изменчивость), наличие или отсутствие обнажений пород и валунов на или под поверхностью, наличие следов эрозии (лощины, тоннели, каньоны) или отложений (дельты, насосы, вздуття, насыпи и т. д.)
Стабильность	Наличие и восприимчивость к оползням, турбулентным течениям, нестационарным волнам, выходам газов, присутствие растворенного или свободного газа, скорость эрозии или осадкообразования
Физические свойства донных материалов	Скорость распространения звука, ослабление звука, гравитационные и магнитные аномалии, электропроводность
Технологические свойства донных материалов	Классификация пород, структура, консистенция, вертикальная и горизонтальная неоднородность, усилия среза, деформируемость, анизотропность, сжимаемость, проницаемость, стабильность под воздействием статических и динамических нагрузок, разжижаемость под действием нагрузок, сопротивление разрушению, сейсмостойкость
Сейсмичность	Близость к известным разрывам, их сейсмическая активность, вероятность землетрясений, сейсмический спектр, демпфирование или усиление осадками, акустические (ударные) волны, сейсмические поверхностные волны в осадках, цунами (эффекты в открытом море и на отмелях), региональная вулканическая активность

Само определение грунтовых условий занимает довольно продолжительное время (от нескольких месяцев до двух лет), потому что на месте предполагаемой установки платформы необходимо выполнить геофизические исследования с целью изучения глубинной структуры грунта, сделать пять и более зондирований конусом, чтобы определить сопротивление грунта его внедрению на глубину до 25 м ниже уровня дна; пробурить три или более разведочных скважин на глубину, превышающую глубину забивки, и хотя бы в одной из них выполнить серию зондирований конусом на протяжении всей глубины.

Эти исследования производятся вблизи центра участка, выделенного под платформу. Диаметр участка определяют в зависимости от размера платформы и достижимой точности установки. Обычно он не превышает 100—200 м.

При изысканиях необходимо не только найти параметры забивки свай, их начальное углубление в грунт в момент опускания, но и получить данные о погружении в него ног платформы, заполненных требуемым количеством балласта с целью придания устойчивости еще не закрепленной платформе. Последнее нужно сделать для того, чтобы с достаточной точностью задать размеры того участка сваи, который после забивки будет с помощью бетона закреплен в направляющей трубе.

Для определения ориентировочного погружения опорных ног в грунт предлагается модифицированная формула Дэвиса и Букера:

$$P_c = 1,2IAF[(2 + \pi)C_0 + \rho B/4] + W, \quad (2.1)$$

где  $P_c$  — сопротивление глины дальнейшему погружению ноги;  $I$  — эмпирическая постоянная, зависящая от деформации разупрочнения грунта;  $A$  — площадь основания ноги;  $B$  — диаметр основания ноги;  $C_0$  — сопротивление сдвигу глины во влажном состоянии на уровне плоскости опоры;  $\rho$  — коэффициент увеличения сопротивления сдвигу с глубиной;  $F$  — функция  $\rho B/C_0$  и шероховатости поверхности опоры;  $W$  — усилие, созданное вытесненным грунтом.

Воспользоваться вышеприведенной формулой можно только при известных экспериментально определенных коэффициентах  $\rho$  и  $F$ . Формула не свободна от недостатков, в частности она не учитывает формы сечения конца сваи, и здесь приведена лишь для иллюстрации. В отечественной практике для выполнения подобных расчетов чаще используется известная формула И. М. Герсеванова, приводимая в разных редакциях во всех пособиях по расчету свайных фундаментов.

Данные о погружении опорных ног в грунт, выражаемых в виде графиков зависимости нагрузки на опору от осадки, обобщаются для возможных грунтовых условий.

До тех пор пока нагрузка на опору не будет уменьшена за счет фиксации ее сваями или путем дебалластировки, опора может продолжать погружаться в грунт под действием морского волнения. Это необходимо иметь в виду при планировании сроков выполнения всей операции по установке платформы.

Глубина забивки сваи зависит от ее несущей способности, определяемой характером взаимодействия сваи и грунта. Вычислить значение несущей способности можно на основе результатов зондирования конусом. Согласно этому методу, сопротивление грунта под концом сваи  $q_p$  находится из соотношения

$$q_p = [(X + Y)/2 + Z]/2, \quad (2.2)$$

где  $X$  — среднее конусное сопротивление в диапазоне изменения диаметра сваи  $D$  от 0,7 до 4,0;  $Y$  — минимальное конусное сопротивление под концом сваи в том же диапазоне;  $Z$  — среднее из минимальных значений конусных сопротивлений выше конца сваи в диапазоне (6—8)  $D$ .

Свая представляет собой трубу с открытым концом, внутри которой находится грунтовое ядро. Поведение этого ядра может быть различным, поэтому предельная статическая несущая способность  $Q_d$  определяется различными выражениями. Для свай с подвижным ядром, например

$$Q_d = \Sigma f_s A_s + \Sigma f_1 A_1 + q_p A_w, \quad (2.3)$$

где  $f_s$  и  $f_1$  — удельное боковое трение на наружной и внутренней поверхностях;  $A_s$  и  $A_1$  — площадь наружной и внутренней поверхностей;  $A_w$  — площадь поперечного сечения сваи.

Для сваи с неподвижным относительно стенок ядром

$$Q_d = \Sigma f_s A_s + q_p A_p, \quad (2.4)$$

где  $A_p = \pi D^2/4$  — площадь основания сваи вместе с грунтовой пробкой — ядром.

Расчеты, выполненные по приведенным формулам, уточняют в процессе забивки первых двух или трех свай каждой группы. Для этого строят графики истинных значений отношения числа ударов к реальным значениям сопротивления грунта забивки, которые сопоставляют с расчетными. Это необходимо для подтверждения идентичности грунтовых условий в месте забивки с данными, полученными на основе результатов бурения и зондирования конусом и распространенными на всю площадку. По результатам контроля параметров забивки принимают готовые сваи. Если конечное число ударов окажется ниже расчетного, по истечении нескольких недель проводят дополнительную забивку (добивку). Если и в этом случае число ударов соответствует пониженному СГЗ, то несущую способность сваи считают ниже расчетной. Сваи, которые не удалось забить на требуемую глубину, принимают в том случае, если они достигли более плотного, например скального, грунта. Для надежности по крайней мере одну такую сваю пытаются добить.

Проводя добивки, необходимо учитывать то обстоятельство, что в глинах при возобновлении перемещения сваи увеличивается сопротивление забивке, так как нарушенная в процессе первичной забивки структура грунта вблизи поверхности свай со временем изменяется, глина консолидируется, увеличивается ее сцепление с поверхностью. У песчаных грунтов этого явления не наблюдается.

Инженерные изыскания при забивке свай — пример того, как необходимо проведение подобных изысканий не только в процессе выполнения подготовительных работ, но и при самих работах.

О величине объема инженерных изысканий при строительстве целостного подводного сооружения можно судить по такому довольно компактному и типичному технологическому процессу, как прокладка трансатлантического кабеля связи. Подобные работы проводятся в наше время довольно часто. Достаточно указать, что только в период с 1956 по 1976 гг. для связи североамериканского побережья с Европой по дну Атлантического океана проложено шесть телефонных кабелей, причем пропускная способность последнего — ТАТ-6 — составляет 4000 одновременных переговоров. По оценкам специалистов, интенсивность переговоров на этой линии связи возрастает примерно на 20 % в год, т. е. при современном уровне техники кабельной связи потребуется прокладка нового кабеля каждые четыре года [74].

К техническим решениям при прокладке кабеля относятся выбор типа кабеля, соответствующих линейных усилительных и согласующих устройств, типов соединений отрезков кабеля, брони и защитных покрытий. Проектировщик линии получает от разработчика кабеля его технические характеристики и технические условия на прокладку (допускаемые напряжения, радиусы изгиба, допускаемые провисания, данные по скручиванию, по перепадам температур и т. п.). Затем выбирают тип судна-кабелеукладчика, способы обеспечения курса и точности прокладки, тип устройств для заглубления кабеля в грунт. Эти данные непосредственно связаны с районом прокладки, так как зависят от характера грунта. Конечные пункты будущей линии связи обычно известны. Остается выбрать оптимальную трассу прокладки. При этом необходимо прежде всего учесть природные условия — сложность рельефа дна, уклоны, перепады высот, грунты, а также существующие сооружения (кабели, трубопроводы, различные установки). В частности, кабели не должны пересекаться, так как это может помешать ремонтным работам. Проектировщик обязан знать зоны рыболовства и судоходства, чтобы определить участки, на которых кабель должен иметь защиту от зацепления орудиями лова или якорями. Естественно, что оптимальный выбор трассы — это не только техническое, но и экономическое требование: стоимость одной мили трансатлантического кабеля оценивается примерно в 30 тыс. фунтов стерлингов. В то же время нехватка 20 км кабеля сверх расчетного запаса (запас трансатлантического кабеля принимают в среднем равным 3 %) означает не только потерю 300 тыс. фунтов, но и необходимость найти участок, где кабель был проложен с излишней слабиной [75], что может привести к скручиванию кабеля и выходу его из строя, так как на таких кабелях противоскручивающие оплетки обычно не применяются.

Точность прокладки — одно из важнейших условий при выполнении подобных работ, и, очевидно, она должна быть не хуже точности проведения изысканий. И прокладку и изыска-

ния ведут, используя однотипное навигационное оборудование (правда, изыскания выполняются со скоростями, в два-три раза превышающими прокладку). На точность прокладки влияют не только потенциальная точность определения координат судна-кабелеукладчика, но и погодные условия. Поэтому на этапе изыскания очень важно получить надежную информацию об атмосферных факторах в районе предполагаемых работ.

В ходе предварительных изысканий не менее важен учет воздействия океанологических факторов на процесс прокладки и эксплуатации будущей линии. В первом случае особенно важны изменения уровня моря, связанные с приливами, волнение и течения. Сильное воздействие на работу будущей линии связи будут оказывать и колебания температуры воды, приводящие к изменению электрических параметров кабеля, поэтому трассу будущей линии следует прокладывать через зоны со стабильной температурой.

Какое влияние окажет на процесс прокладки морской лед? Очевидно, наличие в зоне работ плавающих льдов и ледяного покрова может создать трудности в проводке судна-кабелеукладчика. Наиболее опасен морской лед для уже проложенного кабеля на мелководье. Если кабель недостаточно заглублен в грунт или последний размыт, вмержание кабеля в ледяной массив может привести к его повреждению даже при незначительной подвижке ледяного поля.

Одно из самых важных мест при проведении изысканий по трассе будущей линии связи занимают геологические исследования. Прежде всего, необходимо оценить топографию дна, т. е. определить уклоны, выявить неровности, следы эрозии или отложения. Последние необходимо не только указать, но и охарактеризовать количественно. На строительство трассы могут оказать сильное влияние скальные выходы, крупные валуны на поверхности дна или в толще осадочных пород. Без знания свойств этих пород — прочностных характеристик, усилий резания, способности разрушаться под действием внешних усилий — нельзя правильно выбрать необходимые для прокладки механизмы, нельзя прогнозировать сохранность линии в процессе эксплуатации.

Биологические факторы при прокладке телефонного кабеля играют второстепенную роль. Кабель не может сколько-нибудь серьезно повлиять на растительный и животный мир, воздействие же на него водной среды также незначительно: на мелководье кабель заглублен в грунт и ему не страшно обрастание, а на больших глубинах его могут лишь случайно повредить крупные морские животные. Такие случаи в истории трансатлантических кабелей известны, но они редки.

Из факторов второй группы, связанных с человеческой деятельностью, хорошо проявляются лишь конструкторские: выбор типа кабеля, его защита, долговечность усилителей, надежность

разъемных соединений и возможность быстрой замены поврежденного участка (ремонтпригодность). Правда, в последнем случае больше внимания приходится уделять выбору средств поиска кабеля, его захвата, подъема на поверхность или ремонта в подводном положении.

Инженерные изыскания сопутствуют всему сроку жизни подводного сооружения от проекта до демонтажа. Подводная технология — молодая отрасль, и практически любое подводное сооружение — техническая новинка. Новизна заключается и в выборе материалов, и в технологии их применения, и в необходимости для каждого случая по-разному решать вопросы защиты от коррозии и механических воздействий, по-разному распределять нагрузки на несущие элементы и т. п., так как каждое подводное сооружение создается при специфических, ему одному свойственных условиях на грунте и в море. Жесткие условия эксплуатации требуют постоянного контроля за состоянием сооружения — ведь его разрушение — это часто не только огромные материальные потери, но и человеческие жертвы. Поэтому инженерный контроль ведется на всех этапах строительства и эксплуатации: проверяется соблюдение технических требований, качество материалов, соединений, точность монтажа; в процессе эксплуатации постоянно следят за состоянием поверхностей, их формой, измеряют статические и динамические нагрузки и соответствующие им напряжения, постоянно наблюдают за состоянием грунта под сооружением и вблизи его, изучают изменение структуры материалов под воздействием среды, определяют эффективность работы систем защиты от коррозии, разрабатывают меры по устранению повреждений или по их предотвращению.

Все это требует напряженной работы специальных инженерных служб, которые не только проводят все перечисленные мероприятия, но и ведут разработку методов контроля, создают приборы для измерений.

В этом отношении характерна деятельность классификационного общества Норвежский Веритас на месторождениях Северного моря. Оно не только контролирует все стадии строительства, ввода в эксплуатацию и эксплуатацию взятых под его опеку сооружений, но и изучает работу сооружений и их элементов в самых различных условиях. Наблюдения ведутся как с целью профилактики через определенные промежутки времени, так и постоянно путем длительной регистрации параметров с помощью датчиков, заложенных при строительстве. Такие исследования способствуют улучшению качества проектирования и совершенствованию технологии подводного строительства. Специалисты общества постоянно ведут и чисто научные исследования, что позволяет им непрерывно совершенствовать нормативные документы, на основе которых ведутся работы по подводному строительству.

Конкретные задачи, возникающие перед специалистами инженерных служб, весьма разнообразны. Например, при инспекции стационарных стальных платформ им приходится исследовать профиль морского дна и удалять металлические обломки, соприкасающиеся с опорами платформы, оценивать состояние и эффективность протекторов, с помощью ультразвука измерять толщину стенок наиболее важных структурных элементов подводной части платформ, определять состояние сварных швов, особенно в узлах конструкции, оценивать загрязненность основных структурных элементов подводной части. Полная инспекция такой платформы, установленной на глубине 40 м, при условии хорошей предварительной подготовки и тщательного планирования всех операций требует около 10 дней.

Большие работы проводятся и по наблюдению за состоянием морских кабелей и трубопроводов. Определяют, в частности, степень заглубления их в грунт, отсутствие подвижек грунта под свободно лежащими кабелями и трубопроводами и эрозии почв под ними и в опасной близости от них. Постоянно следят за состоянием покрытий, а в случае необходимости срочно их ремонтируют; проверяют электрические параметры кабелей, состояние внутренней поверхности трубопроводов с целью выявления опасного изменения толщины стенок в результате коррозии, следят за состоянием электрохимической защиты.

Для контрольных операций используют самые различные методы, оборудование, приборы. На мелководье работы могут выполняться водолазами, на глубоководных участках — дистанционно управляемыми мониторами, из наблюдательных камер, из подводных аппаратов. Данные обследования все чаще заносятся в память ЭВМ, с помощью которой проводят сравнение с более ранними результатами, что позволяет в кратчайший срок определить серьезные изменения, дать рекомендации по их устранению.

## **2.2. Сооружение фундаментов**

Значительный объем работ при установке подводных и вообще морских сооружений связан с обеспечением их закрепления на грунте. Характер закрепления различен. Так, стационарные платформы, выполненные в виде пространственных ферм, удерживаются на дне с помощью свай, которые должны противостоять знакопеременным напряжениям, возникающим как от действия гравитационных сил, так и опрокидывающих моментов при воздействии на платформу волн и ураганов. Основание чисто гравитационных сооружений при эксплуатации работает только на сжатие, сдвигающие напряжения возникают в грунте лишь в процессе установки, например из-за перекоса контактной поверхности.

Несущая способность фундаментов зависит от свойств грунта. При подготовке к установке гравитационного сооруже-

ния задача подводного технолога состоит в том, чтобы наиболее равномерно распределить давление по плоскости фундаментной плиты. Когда же используются свайные фундаменты, необходимо равномерно распределять нагрузку между сваями, передающими усилие на грунт за счет касательных напряжений. В этом случае процесс обеспечения взаимодействия опоры с грунтом на больших глубинах и на мелководье практически один и тот же. Однако при выполнении свайных работ на больших глубинах, когда на грунт уже опущены опоры платформы, следует не только обеспечить расчетное закрепление, но и сделать это в кратчайший срок, помня о возможности неожиданного шторма. Поэтому если на мелководье сначала можно полностью закончить забивку всех свай, а потом нагрузить их, то на больших глубинах такая технология не всегда целесообразна — сваи должны подключаться к работе по мере забивки каждой из них или группами.

Большая глубина забивки свай определяется касательными удерживающими напряжениями, которые для различных грунтов составляют [85]: 0,1—0,15 МПа (крупный песок, гравий), 0,1 МПа (глины) и 0,07 МПа (мелкий заиленный песок). Чтобы выдержать усилие до 30 МН при напряжении трения в 0,1 МПа, необходимо забить в грунт на глубину 100 м не менее четырех свай диаметром 1 м. Это трудоемкая операция, поэтому для ее упрощения часто прибегают к поочередной забивке свай различного диаметра. Например, на промыслах Северного моря для удержания платформы массой 18 тыс. т приходится забивать несколько десятков свай диаметром 1,8 м на глубину 30 м, а через них, после выемки грунта, — сваи диаметром 1,2 м на глубину 60 м с последующим бетонированием пространства между внешней и внутренней сваями [79]. Обычная забивка свай не позволяет полностью использовать прочностные свойства грунта, для которого напряжения на сдвиг в естественном состоянии составляют 0,5—0,8 МПа. Простое увеличение сцепления с грунтом значительно сокращает количество забиваемых свай.

Разработано несколько путей повышения сцепления свай с грунтом. Один из них состоит в нагнетании под давлением бетона в приповерхностный слой. Для этого после забивки из полости сваи выбирают породу и через специальные отверстия закачивают бетон, который внедряется в разрушенный слой грунта вблизи поверхности сваи. Проведенные эксперименты показали, что подобная операция позволяет увеличивать несущую способность сваи в 2—2,5 раза [85]. Соответственно могут быть сокращены количество свай или глубина забивки. Другой способ обеспечения максимального удерживающего усилия при строительстве платформ на сваях состоит в том, что после забивки сваи на сравнительно небольшую глубину под ней пробуривается скважина. С помощью расширителя в толще грунта

образуется коническая выемка диаметром 4,5—6 м. В сваю опускают армирующую клетку и заливают выемку и полость сваи бетоном. Выигрыш во времени при таком способе устройства фундамента увеличивается в 20—30 раз по сравнению с традиционной забивкой свай [79]. Оба способа еще не нашли широкого применения при глубоководном строительстве, так как требуют более сложного оборудования.

Опыт же использования обычного сваебойного оборудования в гидротехническом строительстве очень велик [26]. При глубоководном строительстве применяют молоты, ведущие забивку прямо под водой, и молоты, работающие с поверхности и передающие энергию удара свае через упругий удлиненный подбоек в виде трубы того же диаметра, что и свая, снабженный на нижнем конце улавливающим соединительным устройством. Используются воздушные, паровые и гидравлические молоты. Сравнительный анализ эффективности различных молотов позволяет отдать предпочтение гидравлическим. Так, для забивки свай восьмиопорной стационарной платформы в Северном море были применены одновременно паровые и гидравлические молоты. Глубина моря составляла 108 м. Вокруг каждой опоры было забито шесть свай и еще четыре — между опорами. Всего забили 24 сваи диаметром 1520 мм и четыре сваи диаметром 1220 мм. Глубина погружения свай в грунт составила 45 м. Операцию по забивке закончили за три недели — погода благоприятствовала проведению работ. Этот опыт показал, что гидравлические молоты лучше преодолевают сопротивление грунта.

При забивке использовался молот типа «Гидроблок» НВМ-3000. Семейство этих молотов выпускается в четырех модификациях [86]. Их особенность — наличие устройств, обеспечивающих регулировку силы удара и его амортизацию, — избавляет от непроизводительных затрат энергии, позволяет уменьшить массу свай и производить забивку длинных свай. С помощью автоматики, которой снабжен молот, оператор все время следит за величиной усилия удара и регулирует ее, что дает выигрыш при прохождении свай через слои пород с различной прочностью. Как показал опыт, при применении гидравлического молота время забивки свай сокращается примерно на 40 %, потери же энергии удара на оголовке уменьшаются. Молот можно повторно устанавливать на свае в тех случаях, когда он был поднят на поверхность из-за поломок или плохой погоды. С помощью специальных направляющих, заранее смонтированных на опоре, молот легко опускается на очередную сваю.

Кроме описанного оборудования при строительстве свайных оснований используется специальное буровое оборудование для выемки грунта из полостей забивных свай, создания шурфов под сваи, вскрышных работ при строительстве шахт, различных вспомогательных работах и т. д. Например, серийно выпускаемая в Японии машина для подводного бурения UK—AU650

позволяет бурить скважины и шурфы диаметром 1500 мм (рис. 2.1). Установка типа «Родлесс» японской фирмы «Тоун боуринг компани» предназначена для проходки скважин диаметром до 1500 мм в песчано-глинистых отложениях с включениями крупного гравия. Скважины глубиной 38,5 м она проходит со скоростью 5—6 м/с. Осевое давление достигает 30 МПа, что позволяет разрушать крупные валуны [107]. Существуют и другие типы подобных установок, например LDM-505, которая с помощью бура диаметром 1400 мм может вырыть котлован размером 5×5 м на глубине 23 м. Частота вращения бура 10—15 об/мин, усилие воздействия на грунт до 0,3 МН, скорость проходки 2—3 м/ч [59]. Наша промышленность также осваивает выпуск установок для бурения скважин большого диаметра. В настоящее время их образцы уже эксплуатируются на строительстве Байкало-Амурской магистрали.

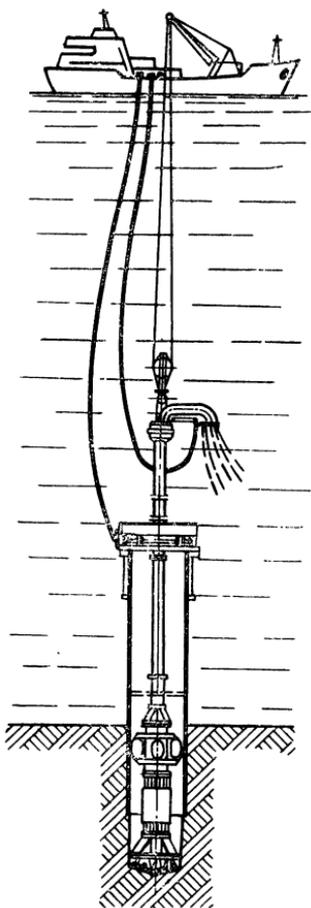


Рис. 2.1. Схема машины для подводного бурения скважин большого диаметра.

Одной из самых трудных операций при закреплении стационарных платформ с помощью свай является подгонка наращиваемых секций относительно уже забитого конца. Для этих целей американскими инженерами разработана специальная система PAS («пайп элайнинг систем»), включающая выравнивающее устройство, самоходную гидравлическую установку, подъемный элеватор и промежуточный наголовник. Выравнивающее устройство, устанавливаемое на оголовке опоры или на поддерживающей трубчатой направляющей, позволяет поднимать или опускать наращиваемую секцию или всю свайную колонну, поворачивать их вместе или отдельно, поддерживать колонну перед непосредственным входом ее в грунт. Устройство имеет крестообразный зажим с регулируемым усилием: чем больше масса колонны, тем сильнее усилие зажима. Зажим удерживает колонну до тех пор, пока она не коснется дна. В верхней части выравнивающего устройства установлен направляющий конус, в который вводится наращиваемая секция и выравнивающая

плита. Положение наращиваемой секции относительно плиты регулируется с помощью двух гидравлических подъемных цилиндров. Все системы устройства получают питание с борта обеспечивающего судна, там же установлен и подъемный кран для выполнения монтажных работ. Проверка работоспособности устройства, выполненная при установке эксплуатационной платформы в Мексиканском заливе на глубине моря 66 м, показала ее большие достоинства. Экономия времени на одной свае составила не менее девяти часов, а процесс подготовки менее зависел от погодных условий [68].

Если установка платформ со свайным фундаментом не требует предварительной подготовки донного грунта, то перед установкой гравитационных платформ необходимо выровнять дно, удалить наносы, непригодные для передачи давления от платформы грунту, в случае необходимости уплотнить грунт и даже укрепить его, когда ему грозит опасность быть размываемым потоками, образующимися в момент приближения фундаментной плиты. Подобные операции встречаются и при строительстве мелководных гидротехнических сооружений гравитационного типа. Здесь для их выполнения широко используются различные подводные механизмы, технологические приемы, труд водозлазов.

Для разработки легких грунтов (пески, илы) обычно применяют землесосные снаряды, которые с помощью грунтовых насосов через насадки всасывающих патрубков захватывают вместе с водой частицы грунта и направляют их в пульпопровод. В процессе работы на мелководе, например при углублении гаваней, пульпу поднимают на поверхность и либо погружают в баржи, либо по пульпопроводам транспортируют в низины на берегу. На подъем пульпы тратится большая часть энергии, расходуемой земснарядом. При глубоководном строительстве нет необходимости обеспечивать вертикальную транспортировку грунта; его лишь необходимо переместить на такое расстояние, откуда подводные течения или оползни не смогут вернуть его в подготавливаемый котлован. Сравнительно небольшая мощность привода подводного земснаряда позволяет сделать его достаточно малогабаритным и разместить на автономном или буксируемом носителе.

Для разработки связанных грунтов (например, глины) часто приходится использовать механические средства: землесосы с механическими рыхлителями (во всасывающие патрубки таких землесосов поступает уже измельченный грунт), землесосы с гидромеханическими рыхлителями, сочетающими механическое разделение грунта с его гидродинамическим измельчением и всасыванием, наконец, различные подводные грунтообрабатывающие машины (экскаваторы, бульдозеры, скреперы, универсальные самодвижущиеся шасси с набором быстросменного оборудования). Подобные машины очень полезны и при уста-

новке гравитационных сооружений, и при выполнении любых строительных работ.

В тех случаях, когда это позволяют физико-химические свойства грунтов, прибегают к их предварительному уплотнению. Подобная подводная операция может быть выполнена динамическими или статическими методами, так как различные грунты в неодинаковой степени подвержены уплотнению. Динамическим методом лучше всего уплотнять несвязанные мелкодисперсные пески, торфянистые грунты (слежавшийся ил), суспензии с небольшим содержанием глины. Илистый грунт имеет две фазы уплотнения. На первой, когда происходит выделение газов и воды из открытых пор, он уплотняется с меньшими затратами энергии, чем на второй, когда требуется разрушить закрытые поры. С увеличением содержания глины в грунте эффективность динамического уплотнения снижается, поэтому при проведении работ следует постоянно контролировать свойства уже уплотненного грунта. Для этого непосредственно на месте выполняют лабораторные исследования с целью определить свойства грунта после серии ударов: его плотность, влагосодержание, временное сопротивление срезу, осадку грунта под действием циклической нагрузки и последующей статической, увеличенной в полтора раза по сравнению с расчетной. При уплотнении глинистых грунтов большое внимание уделяют седиментологическому и химическому анализам, которые определяют уплотняемость. Важное условие для проведения работ по уплотнению — наличие слоя грунта с хорошей несущей способностью толщиной 1—3 м. Если такой слой отсутствует, то его приходится создавать искусственно.

Для динамического уплотнения применяют железобетонные грузы, сбрасываемые с помощью подъемных средств. Масса блоков колеблется от 10 до 200 т. Соотношение между массой груза и площадью его соприкосновения с грунтом также различно и зависит от свойств грунта и требуемой глубины уплотнения. Оно может быть изменено после достижения определенной плотности. Чтобы обеспечить падение груза на грунт строго по вертикали даже при наличии сильных подводных течений, в теле груза делают стабилизирующие вертикальные каналы для прохода воды. Динамическое уплотнение в 25—100 раз производительнее статического. Обычно оно производится в несколько этапов. На каждом этапе проверяют качество уплотнения с помощью пенетromетра или взятием неразрушаемых колонок грунта. Уплотнение ведут до тех пор, пока не убедятся, что основная задача — повышение и выравнивание несущей способности основания — достигнута. Уплотнение предупреждает осадку грунта под действием статической нагрузки, повышает его способность противостоять динамическим нагрузкам, возникающим при установке основания, в случае землетрясений и т. д. После окончания работ по уплотнению грунт вновь под-

вергают статическим и динамическим испытаниям [84]. Чтобы защитить грунт от размывания в момент опускания гравитационного сооружения на дно, используют различные способы его поверхностной фиксации.

При установке секционированных сооружений (секции тоннелей и т. п.), когда необходимо обеспечить однородный профиль грунта, под последовательно монтируемыми секциями сооружают намывные основания. Их выполняют с помощью гидромониторов, которые, перемещаясь непосредственно под секциями, хорошо закачивают уплотняющийся песок. Опыт показывает, что при строительстве мелководных сооружений намывные основания обеспечивают необходимую плотность укладки, достаточную ее равномерность, позволяют существенно механизировать работы.

Установка массивных гравитационных сооружений на больших глубинах сопряжена с еще одной трудностью: необходимостью обеспечить одновременный контакт фундаментной плиты по всей плоскости, так как в противном случае возникнут горизонтальные составляющие силы сопротивления грунта, способные «увести» сооружение от намеченного места установки. Чтобы предотвратить смещение слабых предварительно не уплотненных грунтов, фундаментную плиту снабжают железобетонной или стальной рубашкой высотой 5—6 м, которая врезается в грунт и препятствует смещению. Для врезания рубашки может понадобиться дополнительное усилие, достигающее иногда десятков тысяч тонн. Оно создается за счет собственной массы сооружения или с помощью дополнительного балласта. К понижению давления под рубашкой — такой естественной, казалось бы, процедуре — не прибегают, чтобы не нарушить структуру грунта, часто представляющего собой чередование слоев с различными свойствами. В некоторых случаях приходится предотвращать смещение сооружения и при подходе ко дну самой рубашки — путем установки на фундаментной плите небольшого количества свай, которые выходят за пределы рубашки и обеспечивают раннюю фиксацию фундаментной плиты [86]. Иногда разработчики гравитационных сооружений идут еще дальше по пути сближения со свайными конструкциями, обладающими таким несомненным достоинством, как повышенная устойчивость против динамических нагрузок, вызываемых течениями, ветром и волнением.

При строительстве подводных сооружений применяется весь арсенал современных средств технологического воздействия на донный грунт. Выбор того или иного средства диктуется условиями проведения работ, их объемом, уровнем технологической подготовки. Одним из наиболее мощных и универсальных средств является взрыв. С его помощью уже много лет выполняются такие технологические операции, как вырубка отверстий сложной конфигурации, формовка поверхностей, сварка.

Наибольший объем взрывных работ приходится на работы нулевого цикла. Основное применение взрыва — рыхление твердых осадочных и скальных пород при дноуглубительных работах, когда другие способы разработки не эффективны. Используют взрыв и для устранения отдельных препятствий при прокладке трубопроводов и морских кабелей, при демонтаже отслуживших свой срок платформ. С помощью взрыва можно уплотнять грунт под основаниями, вытеснять слабые поверхностные грунты, обеспечивая прямой контакт насыпного сооружения с коренными породами, можно, наконец, устанавливать на заданную глубину в твердые породы различные опускные колодцы и кессоны [26].

Технология подводного использования взрывчатых веществ во всех случаях имеет много общего. Для подводных работ выбирают негигроскопичные, твердые, пластичные, жидкие взрывчатые вещества, достаточно безопасные при перевозке, хранении и снаряжении. В качестве средств инициирования используют в основном электродетонаторы. Подрыв осуществляют контактным (по проводам от взрывных машинок) и неконтактным способами. В первом случае электрические кабели подготовленных зарядов и детонаторов подсоединяют к общему командному устройству на поверхности воды и после выполнения соответствующих мер безопасности по удалению людей и техники из зоны взрыва подрывают детонаторы одновременно или с соблюдением расчетной последовательности во времени. Основной недостаток такого способа применительно к работам на достаточных глубинах — возможность повреждения электрической цепи вследствие замыканий, нарушения контактов, обрывов, происходящих как под действием течений, так и при перемещениях обеспечивающего судна. Устранение неисправностей не только увеличивает продолжительность работ, но повышает их опасность. Неконтактный способ инициирования еще не нашел широкого применения, однако он весьма перспективен, хотя и требует разработки специальной техники.

В практике гидротехнического строительства на малых и средних глубинах применяют два основных метода взрывного рыхления грунта: открытый (с использованием накладных зарядов) и закрытый (шпуровые заряды). Достоинство первого метода — простота подготовки работ; недостатки — низкий КПД преобразования энергии взрыва (не более 30 %) и соответственно большой расход взрывчатых веществ, сильное воздействие на среду, малая глубина дробления (накладные заряды нецелесообразно применять при глубине дробления не более 0,6 м). Забота об охране среды заставляет по возможности отказываться от накладных зарядов или, по крайней мере, использовать заряды минимальной массы и направленные кумулятивные заряды. Последние в практике водолазных работ находят все более широкое применение при судоподъеме и монтаже.

Лучшие образцы таких зарядов разрушают скальную породу в глубину до нескольких метров. В ряде случаев накладные заряды очень эффективны, например когда необходимо разрыхлить тонкий каменистый слой на глинистой или песчаной основе. Взрывная технология эффективна и на больших глубинах.

Один из способов уменьшения воздействия взрыва накладного заряда на среду и на сооружения на малых и средних глубинах — защита зоны взрыва с помощью воздушной завесы. Для ее создания участки, прилегающий к зоне подрыва, окружают сетью перфорированных труб, в которые под давлением нагнетают воздух. Завеса уменьшает амплитуду давления во фронте ударной волны, в основном за счет изменения формы импульса. Правда, последнее не всегда рационально с точки зрения защиты конструкций: продолжительное воздействие даже относительно низкого перепада давления может оказаться для них более опасным, чем первичное импульсное.

При организации взрывных работ всегда проводят анализ возможных нежелательных разрушений и принимают меры по их предупреждению. Для этого, в частности, предельно уменьшают массу заряда, по возможности увеличивают расстояние от места подрыва до расположения технических средств, максимально точно устанавливают заряды, обеспечивая их надежный контакт с разрушаемой поверхностью; в необходимых случаях возводят временные защитные сооружения.

Использование защищенного взрыва во всех случаях предпочтительнее. К его достоинствам относятся почти полное отсутствие влияния на обитателей моря, большая экономия взрывчатых веществ и гибкость в осуществлении операций. Достаточно указать, что средний расход взрывчатого вещества на 1 м<sup>3</sup> скальной породы средней прочности составляет примерно 1 кг (вместо нескольких десятков при накладных взрывах). Существенное удорожание взрывных работ в этом случае происходит лишь за счет необходимости применения бурового оборудования.

При проведении буровзрывных работ на мелководье можно использовать обычные «сухопутные» буровые станки, либо установленные на плавсредствах, либо перемещающиеся по временным эстакадам. В практике гидротехнического строительства применяются, например, серийные буровые машины ударно-вращательного действия типа БМК-4, устанавливаемые на понтонах. Применяют установки и с другими способами бурения, выбирая их в зависимости от категории буримости грунта, диаметра и глубины шпуров. Последние обычно располагают по правильной сетке, ячейки которой рассчитывают в зависимости от глубины рыхления, массы зарядов и некоторых технологических особенностей использования взрывчатых веществ. Например, с точки зрения сокращения времени проведения операции удобно сразу же после бурения использовать сухую обсадную

(направляющую) трубу для снаряжения шпура зарядом с детонатором и подрывным кабелем. При частой сетке, когда расстояние оказывается менее установленного для данного типа заряда, бурить шпур вблизи уже снаряженного недопустимо. В этом случае обсадную трубу можно оставить для зарядки или заменить пластмассовой (которая предотвратит заиливание скважины) и провести снаряжение всех пробуренных шпуров после окончания бурения последней скважины.

При проведении буровых работ на скальных грунтах, покрытых слоем осадочных пород, все шире применяют разработанный в Швеции метод, известный под названием «метода Линде». Необходимое для его проведения оборудование включает обсадную трубу с кольцевой режущей коронкой и внутреннюю буровую штангу с крестообразной режущей головкой, по диаметру точно соответствующую обсадной трубе. На начальной стадии бурения внешней коронкой разрабатывают слой осадочных пород и заглубляются в скальный грунт на 30—50 см. Затем внутренней головкой ведут бурение на требуемую глубину, извлекают буровую штангу, а обсадную трубу используют для зарядки скважины либо заменяют пластмассовой, если зарядка и бурение разделены во времени.

В подводных буровзрывных работах широко используется труд водолазов. Они управляют специальным подводным буровым оборудованием, ведут подготовку места для установки зарядов, размещают их и средства инициирования. Они же после проведения взрыва проверяют наличие неразорвавшихся зарядов и либо подготавливают их к уничтожению, либо обезвреживают, чтобы создать условия для работы средств перемещения грунта. Достоинства водолазных методов проведения буровзрывных работ на небольших глубинах несомненны. Они позволяют, например, проводить все подготовительные работы по углублению гаваней, практически не останавливая судоходства. При работе на скальном грунте водолаз может выбрать наилучшее место для бурения шпура, более тщательно выполнить бурение. Опыт использования водолазами подводных буровых установок подтверждает высокие эксплуатационные качества последних. Подобная установка — пневмобуровая машина ROC-600, смонтированная на гусеничной тележке (рис. 2.2), была использована при углублении дна в Осло-фиорде (Норвегия). Глубина моря в месте проведения работ составляла 18 м, длина шпуров была выбрана от 2 до 3,6 м. За смену три-четыре бригады водолазов в среднем проходили 30 м шпура. Чистое время подводной работы установки составило пять часов, остальное время было затрачено на спуск водолазов и их декомпрессию после полутора-двухчасового пребывания под водой [81].

Для снаряжений шпуров используют различные типы взрывчатых веществ — твердые, пастообразные и жидкие. Зарядку

осуществляют с помощью пневмозабойников и заранее изготовленных герметизированных патронов или заливкой. Последний способ представляет особый интерес. Применение жидких взрывчатых веществ значительно повышает безопасность проведения работ, сокращает время зарядки шпуров, особенно когда их число велико, устраняет трудности, связанные с удалением несработавших зарядов. Этот метод более технологичен в связи с простотой выполнения операции заливки и установки средств инициирования. Основная трудность использования жидких взрывчатых веществ заключается в том, чтобы залить их в скважину, избежав смешения с водой. Японскими изобретателями предложен метод заливки, свободный от этого недостатка. В шпур по шлангу заливают сепарирующую жидкость с плотностью больше единицы (1,1—1,3). Сепарирующая жидкость вытесняет воду, после чего шпур заполняют взрывчатым веществом, плотность которого несколько выше, чем у сепарирующей жидкости. Заполнение шпура проводят таким образом, чтобы над поверхностью взрывчатого вещества остался слой сепарирующей жидкости для предохранения первого от контакта с водой. Для инициирования взрыва используют дистанционно управляемый детонатор, удерживаемый на определенной глубине во взрывчатом веществе с помощью поплавка, находящегося на границе раздела сепарирующей жидкости и взрывчатого вещества (здесь очень подходит дистанционный взрыватель).

Сепарирующая жидкость изготавливается на кремнийорганической основе. В качестве взрывчатых веществ применяют смеси на основе нитрометана или гидразина. Важное достоинство этих веществ — возможность регулировать скорость детонации, бризантные качества простым изменением состава и пропорции компонентов.

Закрытый взрыв может быть использован не только для разрушения породы, но и для ее выброса из траншей в заданном

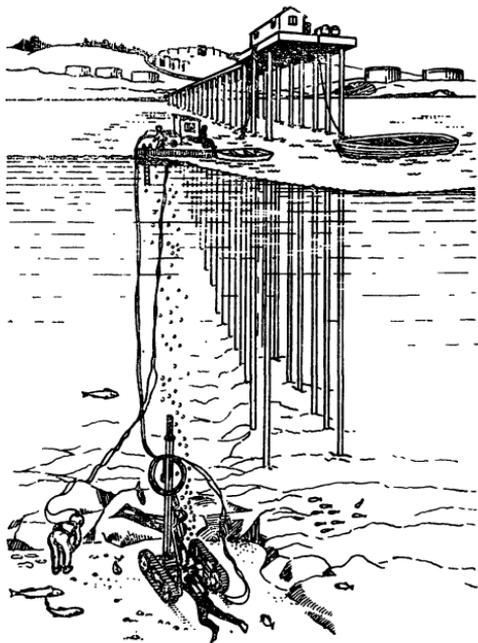


Рис. 2.2. Подводная буровая установка на дне Осло-фиорда.

направлении. Последнее осуществляется с помощью системы зарядов, создающих направленное усилие, либо с помощью вспомогательных зарядов, создающих для выбрасываемого грунта направление наименьшего сопротивления движению. Такое же преимущественное направление движения можно создать для перемещения под водой одиночного предмета или его осколков. Для этого непосредственно перед взрывом с помощью порохового газогенератора образуют завесу из газовых пузырьков [43]. В этой зоне в сотни раз уменьшается гидродинамическое сопротивление движению, которое главным образом и препятствует созданию в жидкости направленных выбросов.

Мощность подводных взрывов ограничивается опасностью сейсмического разрушения близлежащих сооружений, возможностью выброса в среду токсичных продуктов взрыва и интенсивностью распространения в водной среде акустической волны, поражающей ее обитателей. Взрывные работы всегда проводятся в точном соответствии с предварительно утвержденными техническими заданиями и проектами. Об объеме требований к такому проекту можно получить представление из специальной литературы [26].

За последнее время к традиционным взрывным устройствам добавились новые, сочетающие свойства мгновенного выделения энергии при взрыве с обычным механическим удалением породы из зоны разрушения. Существуют микровзрывные инструменты с химическим или электроискровым источником взрыва, которые практически безопасны для среды и могут использоваться при выполнении самых разнообразных работ, связанных как с разработкой грунта, так и с проведением подводного монтажа.

### **2.3. Монтажные работы**

Отличительными особенностями подводного глубоководного строительства являются: максимальное использование крупноблочных модульных конструкций, которые полностью собираются на поверхности или в заводских условиях на берегу; сокращение подводных операций, выполняемых с помощью водолазов; применение автоматизированных или механизированных устройств, позволяющих вести дистанционный монтаж. В настоящее время наиболее часто выполняются следующие монтажные работы: установка сооружений, полностью подготовленных к работе, с закреплением или без закрепления их на грунте и в толще воды; сборка модульных конструкций; подключение коммуникаций. Основные операции при глубоководном монтаже — перемещение элементов конструкций, стыковка и соединение элементов, герметизация стыков, нанесение защитных покрытий.

При установке глубоководных оснований и различных многотонных водоизмещающих конструкций используют их соб-

ственную плавучесть или специальные транспортно-монтажные понтоны, а также плавучие краны большой грузоподъемности, килекторы, баржи, оснащенные грузоподъемными средствами. В качестве примера выполнения таких работ рассмотрим установку стальной фермы платформы «Грейсоп-1» на месторождении Фортиз в английском секторе Северного моря. Технологиче-

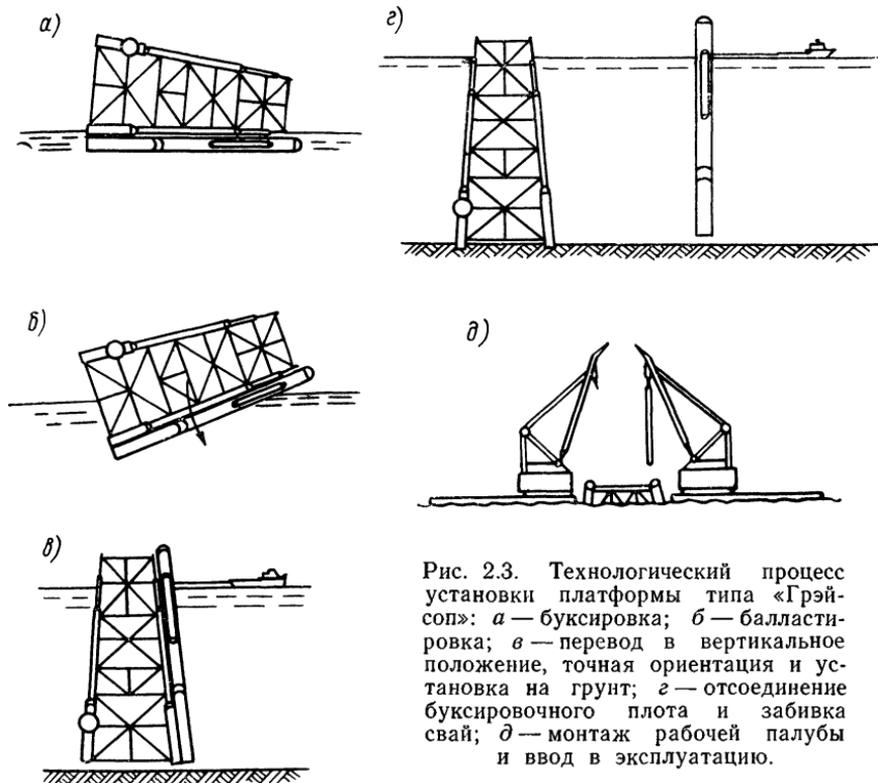
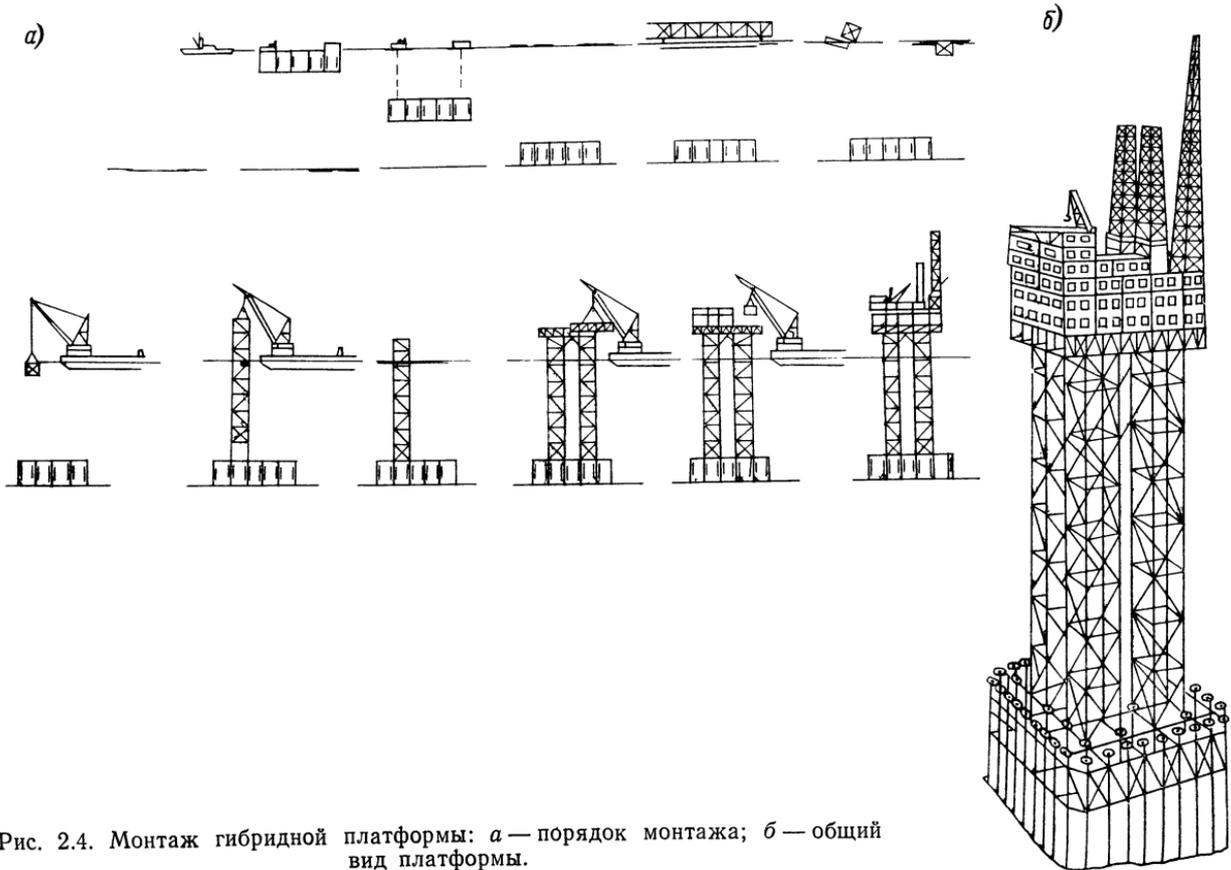


Рис. 2.3. Технологический процесс установки платформы типа «Грейсоп»: а — буксировка; б — балластировка; в — перевод в вертикальное положение, точная ориентация и установка на грунт; г — отсоединение буксировочного плота и забивка свай; д — монтаж рабочей палубы и ввод в эксплуатацию.

ский процесс проведения работ иллюстрируется рис. 2.3. При установке использовались два крановых судна, с помощью которых выполнялись требуемая ориентация понтона и удерживание конструкции от горизонтальных смещений.

Наиболее ответственный процесс при установке — балластировка понтона. Именно она определяет закон движения конструкции, силу удара при взаимодействии с грунтом. В данной операции управление балластировкой осуществляла ЭВМ, установленная на борту судна обеспечения: она подавала команды, определявшие последовательность затопления отсеков понтона. Чтобы стабилизировать движение по мере перехода в вертикальное положение и уменьшить опрокидывающий момент, на



ферме были смонтированы два сферических поплавка диаметром 15,5 м каждый. После перевода конструкции в вертикальное положение ее еще раз ориентировали и, добавив балласт, опускали на грунт. После вхождения опор на расчетную глубину, понтон отсоединяли и отводили на безопасное расстояние. Затем следовала забивка свай с помощью оборудования, установленного на крановом судне, бетонирование свай, монтаж рабочей палубы [43].

Процесс установки полностью собранной гравитационной платформы выглядит несколько проще и занимает меньше времени. Однако и в этом случае наиболее ответственной операцией является балластировка емкостей. Здесь, кроме опасности превысить скорость спуска, результатом чего может быть недопустимый удар о грунт, существует опасность разрушения стенок из-за превышения расчетного перепада давления. После установки и расчетного заглубления в грунт рубашки (или вспомогательных свай) из пространства под фундаментной плитой вытесняют воду, заполняя его цементным раствором.

Монтаж гибридной платформы, предложенной фирмой «Редпарт дорман лонг» (рис. 2.4), включает три фазы [42]. На первой доставленное с помощью специального понтона и заполненное до определенной отрицательной плавучести основание подъемными механизмами опускается на грунт. Если под ним необходимо выровнять грунт, то применяют специальный подводный экскаватор, обладающий регулируемой плавучестью. Для этого основание останавливают на определенном расстоянии от грунта, под него подводят экскаватор, которому придают положительную плавучесть с тем, чтобы он мог работать, опираясь колесами в нижнюю поверхность фундаментной плиты. На второй фазе трубчатая ферма, доставленная на плаву (за счет собственной плавучести), переводится в вертикальное положение, опускается по направляющим тросам на основание и стыкуется с ним при помощи соединительных муфт. Третья фаза — установка рабочей палубы, доставляемой полностью в собранном и оснащеном виде на транспортном понтоне, который заводится между верхними концами опор фермы, несколько выступающими из воды. Четыре домкратные стойки на рабочей палубе вставляются в муфты угловых опор, а палуба поднимается на требуемую высоту над поверхностью моря и фиксируется в этом положении.

Существуют и другие проекты установки гибридных платформ.

Чисто подводные хранилища и рабочие помещения для установки оборудования можно строить по способу, разработанному японскими проектировщиками. Сооружение под водой монтируется из железобетонных блоков-модулей. Каждый модуль закрыт временными перекрытиями из стальных штампованных листов с ребрами жесткости, подкрепленными временными пере-

городками. Все модули имеют по углам стыковочные узлы с наклонными направляющими поверхностями [49].

Модули доставляют на плаву, заполняют водой и опускают с помощью лебедок, установленных на заякоренных понтонах (рис. 2.5). Для того чтобы повысить точность установки и обеспечить привязку к месту, на каждом блоке монтируют реперную вышку с аппаратурой. Конструкция фундамента нижнего модуля сходна с основанием обычного гравитационного сооруже-

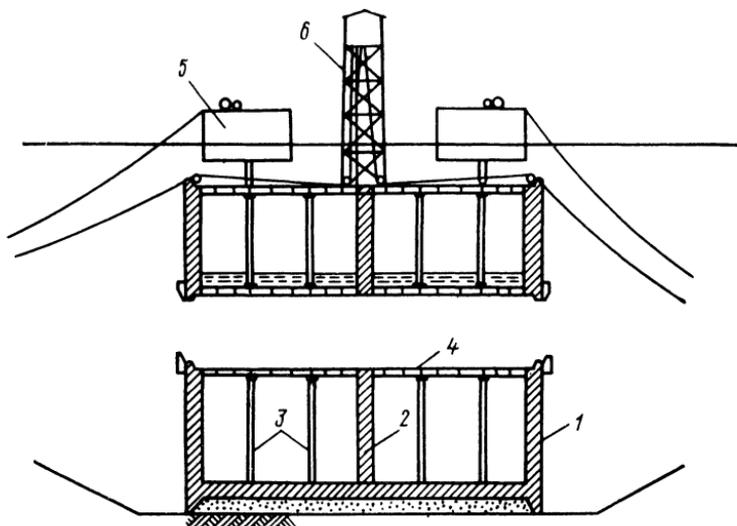


Рис. 2.5. Сборка хранилища модульной конструкции.

1 — донный блок; 2 — стационарная переборка; 3 — монтажная переборка;  
4 — съемная крышка; 5 — понтон; 6 — вышка.

ния. Фундамент опускается на предварительно подготовленную постель или прямо на грунт. Полость между фундаментной плитой и грунтом цементируется. Если грунт невозможно выровнять, используют вспомогательные домкраты и сваи. Первичная герметизация стыков модулей осуществляется с помощью резиновых уплотнителей, заложенных по периметру каждого модуля. После постановки верхнего блока воду откачивают, разбирают временную крышку и переборки, а стыки заливают бетоном.

Преимущества модульного способа строительства — меньшие затраты времени на изготовление отдельных блоков в результате одновременного или поточного способа производства, удешевление доставки блоков и их монтажа за счет применения простых транспортных и грузоподъемных средств, потенциальная возможность автоматизации монтажа и принципиальная возможность создания сейсмостойких блочных конструкций.

При подводном монтаже крупногабаритных сооружений можно применять и методы крупнопанельного строительства. Такое дробление оправдывается, например, в тех случаях, когда нельзя обеспечить доставку в район постройки законченных модулей. Помехой может служить, в частности, постоянный ледяной покров. В этом случае отдельные элементы сооружений доставляют подводным транспортным аппаратом. Обычные железобетонные блоки при таком строительстве мало пригодны: они недостаточно прочны, легко повреждаются при транспортировке и перевалке. Более подходят для этих целей сталебетонные конструкции, в которых бетон заключен между стальными пластинами. Если последние снабжены с внутренней стороны поперечными и продольными ребрами, воспринимающими скальвающие напряжения и предотвращающими коробление плит при деформации под нагрузкой, то такие композитные элементы приобретают значительные преимущества перед обычными и предварительно напряженными конструкциями из железобетона.

Сталебетонным конструкциям свойственна большая несущая способность при наличии растягивающих напряжений, они лучше работают на изгиб, сохраняя при этом водонепроницаемость стенок, несмотря на всегда имеющиеся в бетоне микротрещины и поры. Композитные сталебетонные панели обладают более высокой способностью к деформации, большим энергопоглощением под нагрузкой, их конструктивные особенности надежно защищают их от опасности повреждения при ударе плавающими и падающими телами. Слой бетона в них как бы заключен внутри стальной оболочки, связь с которой обеспечивается за счет армирующей сетки. При изготовлении такой конструкции предварительно свариваются металлические элементы, одновременно служащие опалубкой, а уже потом полость заливается бетоном. В металлических элементах могут быть заранее проделаны необходимые монтажные отверстия. Такие конструкции предназначены прежде всего для очень крупных глубоководных сооружений. Они удобны при монтаже на строительной площадке, в доке и на плаву, их нетрудно сопрягать с железобетонными элементами. Затраты на их производство и последующие эксплуатационные расходы по обслуживанию конструкций из них достаточно низки<sup>1</sup>.

Неразъемные соединения — основной вид соединений при строительстве подводных сооружений. Их получают бетонированием, склеиванием, сваркой. Используют болтовые и другие механические соединения, но, как правило, лишь для предварительного закрепления элементов. В этих же целях применяют различные приспособления, автоматизирующие и механизмирующие монтаж и позволяющие сократить время выполнения монтажных операций, повысить их точность.

<sup>1</sup> Экспресс-информация ВИНТИ «Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы», 1978, № 32, реф. 290, с. 16—23.

**Подводное бетонирование.** Подводное бетонирование при выполнении глубоководного монтажа — одна из основных операций при установке свайных конструкций, когда необходимо обеспечить надежное соединение свай с направляющей трубой платформы или с ее опорой (если забивка свай ведется через опоры); это заключительная операция и при установке бурозаливных свай, при обеспечении надежного контакта с грунтом фундаментных плит гравитационных сооружений.

Подводное бетонирование в практике гидротехнического строительства на мелководье является одним из основных способов создания различных монолитных гравитационных сооружений, опор типа колонн-оболочек и т. д. Технология этих работ описана в специальной литературе [24, 26]. Многие методы бетонирования, разработанные применительно к малым глубинам, почти без изменения взяты на вооружение и в глубоководном строительстве. Например, для устранения неровностей или уклонов дна под гравитационными сооружениями используется способ «бетонирования в мешках». Свежеприготовленным бетоном, часто со специальными добавками, регулируемыми время схватывания, заполняют мешки вместимостью до 200 кг, сшитые из нейлона или другой прочной ткани. После заполнения и заделки шва мешки опускают на дно и укладывают с помощью водолазов или дистанционных манипуляторов. Для большей плотности укладки часть мешков (примерно 3—5 %) изготовляют вместимостью до 20 кг бетона.

В глубоководном строительстве применяются и методы бетонирования, известные из гидротехнического строительства: укладка путем вертикального перемещения подающей раствор трубы, укладка с применением бетононасосов. В частности, цементирование опор платформ осуществляется нагнетанием цементного раствора в придонную часть. Обычно цементирование производится по трубопроводам, идущим с рабочей палубы через специальные укладочные узлы — пакеры. С их помощью цементный раствор закачивают в нижнюю герметизированную часть опоры, а вытесняемую воду удаляют через выпускное отверстие. Нагнетание цементного раствора продолжают до тех пор, пока он не пойдет из выпускного отверстия. Недостаток этого метода — возможность утечки цемента из опоры в случае механических повреждений стенок и появление в результате этого заполненных водой пустот.

Утечки вследствие повреждения кожуха опоры могут быть выявлены еще до цементирования, если использовать способ цементирования под давлением. В этом случае утечки определяют с помощью сжатого воздуха, наблюдая за вытеснением морской воды из кольцевого зазора между свайей и оболочкой. Если рост давления прекратился раньше, чем было достигнуто требуемое давление цементирования, соответствующее известному гидростатическому давлению, то это означает наличие утечки на

определенной глубине. Координату отверстия находят по давлению воздуха, повреждение ликвидируют и процесс вытеснения продолжают.

Для цементирования под давлением кожух опоры (направляющей трубы) герметизируют в верхней части, там же устанавливают два разнесенных по вертикали штуцера. Через верхний штуцер подают сжатый воздух до полного вытеснения воды из зазора между кожухом и сваей. Затем через нижний штуцер начинают закачивать цементный раствор, одновременно регулируя давление воздуха с тем, чтобы оно в точности соответствовало текущему подъему уровня раствора. Закачку раствора ведут до тех пор, пока давление его столба не уравнивает гидростатическое давление. Процесс затвердевания происходит практически при атмосферном давлении. После затвердевания цемента оставшуюся часть кольцевого зазора также заливают раствором.

Эффективность метода цементирования под давлением проверялась при установке свайных оснований на промыслах Мексиканского залива, где до 1975 г. с его помощью было установлено более 40 платформ на глубинах до 90 м. Метод экономичен по сравнению с обычными методами цементирования. В случае применения подводного гидравлического пакера для цементирования свай, установленных в направляющих трубах, этот метод позволяет уменьшить расходы в два раза [42].

**Подводная сварка.** При выполнении подводных работ применяют несколько видов электросварки, отличающихся степенью защищенности зоны горения дуги от среды. Это прежде всего открытая сварка электродом с покрытием («мокрая» сварка), сварка в атмосфере инертного газа, создаваемой в небольшом прозрачном колпаке, защищающем конец горелки, сварка внутри погружной камеры типа водолазного колокола, заполненного инертным газом, сварка внутри гипербарической камеры, заполненной гелио-кислородной смесью, сварка внутри нормобарической камеры (рис. 2.6). В последних двух случаях сварной шов полностью изолируется от воздействия среды.

Выделяются три категории сварочных работ, которые отличаются степенью ответственности и соответственно требованиями, предъявляемыми к качеству шва. К первой категории относятся работы по монтажу несущих металлических конструкций и трубопроводов. В этом случае сварные соединения, как правило, выполняют в сухих камерах. Ко второй категории относятся работы по текущему ремонту подводных конструкций, их осуществляют в сухих подвижных камерах, но иногда допустимо и применение мокрой сварки. К третьей группе относится сварка при аварийных работах, в том числе и при судоподъеме, чаще всего выполняемая мокрым способом.

Надо отметить, что в настоящее время наибольший объем сварочных работ под водой выполняется мокрым способом. Тех-

нологические приемы мокрой сварки детально описаны в литературе (см., например, [12, 24, 30]). К недостаткам мокрой сварки относятся трудность наблюдения за поведением дуги и ванны расплавленного металла, быстрое охлаждение шва, приводящее к появлению значительных температурных напряжений, увеличение хрупкости материала в шве из-за насыщения его водородом, неустойчивость горения дуги при повышенных давлениях на больших глубинах. Качество мокрой сварки постоянно совершенствуют, вводя новые покрытия для электродов, применяя защитные газы, стабилизируя объем дуги подачей в зону сварки водяной струи под давлением и т. д. Мокрую сварку ведут специальными электродами, используя держатели, которые отличаются более надежным узлом крепления электрода, простым герметичным кабельным вводом. Электроэнергия подается по изолированным сварочным проводам сечением до 120 мм<sup>2</sup>. Сварку ведут при токах до 500 А, что в два-три раза превышает максимальные значения сварочного тока при сварке на воздухе. Используется только постоянный ток, как наименее опасный при поражении водолаза. Широкую популярность получили разработанные специально для выполнения сварочных работ под

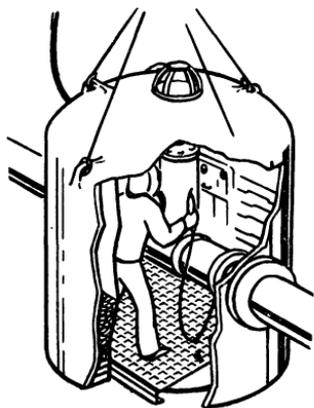


Рис. 2.6. Пример выполнения подводной сухой сварочной камеры.

водой полуавтоматы типа «Нептун-5» и ППСР-300—2 (см., например, [12]), созданные в институте электросварки АН УССР им. Е. О. Патона.

При сухой сварке обеспечивается не только более высокое качество шва. Сухая сварка позволяет в глубоководных условиях создать условия для применения автоматического оборудования, обеспечить наиболее благоприятные условия для персонала. Правда, при сухой сварке в камерах возникают свои проблемы, связанные с изменением металлургии сварки при повышении давления. Так, при сварке в камерах, продуваемых воздухом с поверхности, из-за насыщения воздуха водяными парами возможно наводораживание шва, вследствие высокого давления азота повышается его растворимость в расплавленном металле и соответственно увеличивается хрупкость последнего. Отрицательное воздействие оказывает и кислород — причина появления в материале шва включений окислов. При сварке в атмосфере гелия возникают неприятности, связанные с большими тепловыми потерями в сварном шве, требующими возмещения, т. е. дополнительных затрат энергии. С повыше-

нием давления увеличивается напряжение в дуге, уменьшается стабильность переноса металла. Борьбу с этими нежелательными эффектами ведут с помощью специальных обмазок, использования таких технологических приемов, как предварительный прогрев электродов и материала свариваемого стыка, замены в глубоководных камерах гелия аргоном, более подходящим для выполнения сварки.

Для работы в камерах очень эффективно применение электродной проволоки со специальными покрытиями и проведение

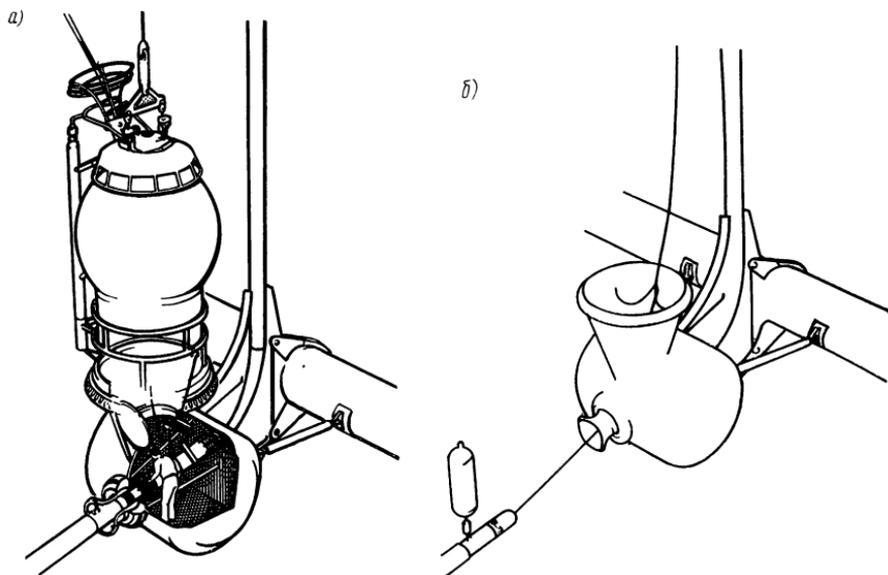


Рис. 2.7. Сварочная система фирмы «Локхид петролеум сервис»: а — транспортный блок состыкован со сварочной камерой; б — сварочная камера.

сварки в среде защитных газов. Благодаря этим мерам увеличивается скорость наплавки металла, обеспечивается непрерывность процесса (исключается необходимость замены электрода), сводятся к минимуму операции по зачистке шва и удалению шлака, поддерживается стабильность горения дуги. При правильном подборе легирующих элементов и защитной газовой среды обеспечиваются высокие механические свойства сварного шва, а саморегулирующее свойство дуги упрощает технологию сварки.

При выполнении запланированных монтажных работ сухие камеры заранее устанавливают в местах будущих стыков с тем, чтобы после введения в них присоединяемых трубопроводов отжать (откачать) воду и дать возможность персоналу проник-

нуть в камеру из специальной транспортной капсулы (рис. 2.7). Подобные системы уже использовались специалистами фирмы «Локхид петролеум сервис» для сварки швов при стыковке вертикальных трубопроводов эксплуатационных платформ с донными трубопроводами (установивалась платформа «Тистл-А» на глубине 152 м между Шетландскими островами и Норвегией в Северном море). Диаметр сварочных камер платформы составлял 2,4 м. Все сварочные работы выполнялись в атмосфере защитного газа (75 % азота и 25 % двуокиси углерода) при помощи сварочной машины, доставлявшейся в транспортной камере. Для очистки камеры от сварочных газов и дыма использовался двухступенчатый электростатический осадитель дыма производительностью 28,3 м<sup>3</sup>/мин типа «Смог-хог», выпускаемый фирмой «Юнайтед эр специалисте» (Канада). Осадитель задерживал до 99 % частиц размером 0,01 мк и полностью защищал сварщиков от вредного воздействия дыма. На этой платформе указанным способом было присоединено 14 вертикальных трубопроводов [112].

В настоящее время различными зарубежными фирмами выпускается несколько модификаций камер, позволяющих вести монтаж конструкций на глубинах до 1300 м. Более подробно с проблемами и способами глубоководной сварки и оборудованием для нее можно познакомиться в недавно вышедшей в издательстве «Судостроение» книге Г. Хаукса [60].

**Механизация монтажа.** При проведении глубоководных монтажных работ механизация и автоматизация необходимы, так как это не только повышает безопасность выполнения операций и удешевляет стоимость работ. Такой способ прежде всего позволяет вести монтаж дистанционно, без непосредственного участия человека, а только так и можно осваивать недоступные сейчас для человека районы Мирового океана.

Многие строительные операции поддаются механизации и даже автоматизации, но для комплексной автоматизации подводного монтажа необходим единый подход, заключающийся не в замене ручного труда механизированным на отдельных операциях, а в разработке таких конструкций, в которых был бы заложен принцип автоматической сборки под водой.

Устройства, выполненные на таком уровне, уже существуют. Разработаны и испытаны системы, позволяющие вести без присутствия водолаза монтаж устьевого оборудования подводных скважин, подключать их к подводным манифольдам, а манифольды — к магистральным трубопроводам и стоякам эксплуатационных платформ. Разработаны и применяются устройства, обеспечивающие стыковку в подводном положении отрезков глубоководных трубопроводов большого диаметра, присоединение их к основаниям платформ подо льдом в арктических условиях и т. д.

При разработке подводных систем возможен и другой путь: не автоматизировать операции, что очень часто приводит к неоправданно большим затратам средств, а создавать для персонала, выполняющего работу по монтажу на большой глубине, условия, близкие к условиям на поверхности. Об этом пути уже упоминалось ранее: это — выполнение монтажа в нормобариче-

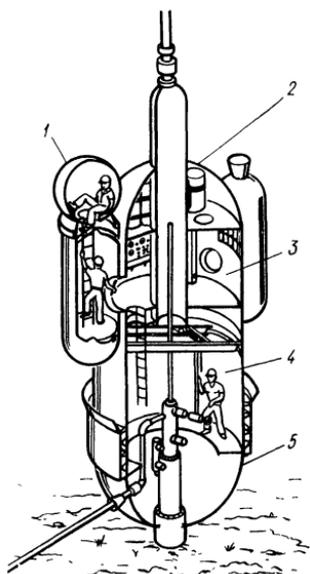


Рис. 2.8. Нормобарическая станция для обслуживания подводного сооружения.

1 — транспортная камера; 2 — рабочая камера; 3 — пульт управления; 4 — рабочее помещение; 5 — стыковочная полусфера на подводной скважине.

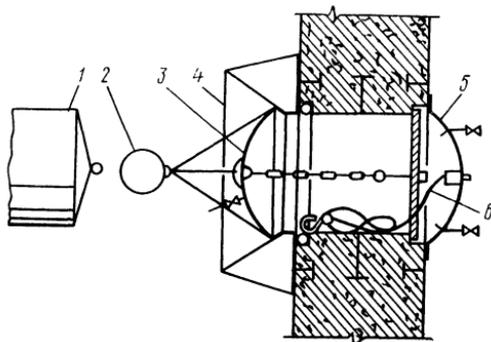


Рис. 2.9. Устройство для присоединения трубопровода к подводному хранилищу.

1 — оголовок трубопровода; 2 — поплавок; 3 — наружная крышка с талрепом; 4 — коническая направляющая; 5 — внутренняя крышка; 6 — монтажный трос с гаком.

ских станциях, установленных на требуемой глубине и снабженных всеми необходимыми приспособлениями для эффективного проведения операций. Подобные устройства разработаны и уже применяются различными зарубежными фирмами. На рис. 2.8 приведен проект такой станции, предложенный специалистами фирмы «Трансуорлд дриллинг». В этой станции при нормальных атмосферных условиях можно вести работы на глубинах до 460 м (возможно и дальнейшее увеличение глубин), используя самый современный инструмент и приспособления. Станция снабжена всеми необходимыми устройствами для обеспечения жизнедеятельности и безопасности персонала, который доставляется на дно в специальных транспортных капсулах. Этот вариант станции предназначен для установки и присоединения трубопроводов, распределительных коллекторов, измерительной аппаратуры на устье подводных скважин, снабженных специальной стыковочной полусферой для присоединения станции.

Станцию можно использовать для инспектирования и обслуживания сооружений [92].

Многие подводные монтажные операции можно выполнить только при комплексном подходе. В качестве примера возьмем такую типичную операцию, как присоединение трубопровода к резервуару подводного хранилища. Рис. 2.9 иллюстрирует один из вариантов решения этой задачи, предложенный французскими специалистами. Прежде всего подводное хранилище (или другая установка) должно быть оборудовано тоннелями для ввода трубопроводов. Со стороны моря входное отверстие такого тоннеля снабжается конической направляющей, обеспечивающей центровку трубопровода. Входное отверстие первоначально закрыто крышкой с поплавком, а сама крышка зафиксирована винтовым талрепом. С внутренней стороны тоннель также закрыт крышкой с достаточно надежным узлом крепления. Через сальник в этой крышке в полость хранилища вводится монтажный трос, ходовой конец которого с гаком уложен в тоннеле [46]. Для того чтобы подключить трубопровод (он заглушен и имеет на узле заглушения крепящую скобу), монтажник изнутри хранилища снимает внутреннюю крышку, отдает стопорную гайку талрепа, удерживающего наружную крышку, и вновь герметизирует тоннель. Наружная крышка теперь удерживается только давлением воды, так как в помещении, примыкающем к тоннелю, давление равно атмосферному. Стоит открыть вентиль затопления тоннеля, как крышка, снабженная поплавком, после выравнивания давлений поднимается на поверхность. Теперь остается зацепить гаком троса скобу заглушки трубопровода, втащить его внутрь тоннеля и загерметизировать с помощью пневматического уплотнения, установленного в его стенке. Затем монтажник снимет внутреннюю крышку, подтащит трубопровод на требуемую длину, отрежет заглушку, подключит трубопровод к внутренним коммуникациям хранилища, а кольцеобразное пространство между трубопроводом и стенкой тоннеля продует сжатым воздухом и заполнит эпоксидным компаундом. Когда последний затвердеет, можно будет удалить пневматическое уплотнение.

Разработано несколько вариантов устройства ввода трубопроводов и устройств для подводного соединения трубопроводов, но этим, безусловно, не ограничен диапазон приспособлений для подводного монтажа. Постоянно совершенствуются и способы соединения элементов при подводном строительстве сооружений, где возможностей для механизации и автоматизации более чем достаточно. В качестве примера автоматизации сборки крупногабаритных секционированных сооружений на рис. 2.10 приведено устройство для крепления к фундаментам пустотелых модулей подводных тоннелей. Это устройство может быть использовано и при монтаже блочных конструкций другого типа [48]. Для реализации этого способа монтажа в бетон-

ной плите фундамента или основания необходимо предусмотреть пазы (траншеи), в которые будут введены нижние части узлов крепления, установленные на монтируемом модуле. После осуществления контакта между модулем и фундаментом кулисы узлов крепления раскрываются с помощью привода, а их опорные плиты упираются в стенки пазов. Теперь нужно закрепить плиты к стенкам с помощью анкерных болтов какой-нибудь известным способом, например с помощью пороховых зарядов,— и операция завершена.

Заметим еще раз, что при подобных способах подводного монтажа стационарных сооружений отдельные элементы (или

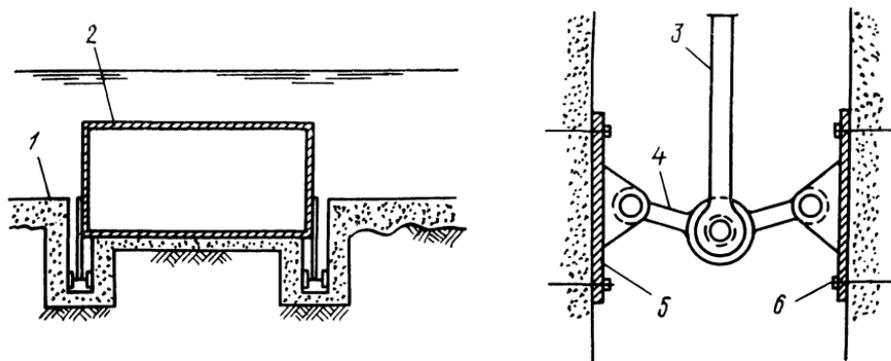


Рис. 2.10. Способ присоединения конструкций к фундаментам.

1 — фундамент; 2 — монтируемый блок; 3 — крепежная тяга; 4 — кулиса; 5 — опорная плита; 6 — анкерный болт.

полностью готовые к эксплуатации конструкции) изготавливаются на береговых базах, а затем транспортируются на плавучем транспорте к месту установки и монтируются. В ряде случаев монтажные операции включают лишь точную ориентацию сооружения, опускание его на грунт и придание расчетной остойчивости путем баллаستировки.

#### 2.4. Прокладка трубопроводов и кабелей

Проблемы, встающие перед подводными технологами-специалистами по прокладке трубопроводов, достаточно сложны. Здесь и трудности самой прокладки, которая должна проводиться точно по заданной трассе в минимальный срок, в сложных погодных условиях и с минимальными затратами; здесь и стыковка трубопроводов с уже действующими сооружениями, защита их от возможных повреждений, от коррозии. Стоимость работ зависит и от параметров трубопроводов (протяженность, материал, толщина стенки, вид защиты), от глубин, которые необходимо преодолеть, условий эксплуатации, предполагаемого срока службы трубопровода. Последнее, в частно-

сти, определяет степень защищенности от коррозии, величину заглубления в грунт и возможность ремонта в случае аварии [5].

Одним из первых перед технологом встает вопрос выбора материала трубопровода. Характер требований к материалу неоднозначен и зависит от способа укладки и назначения трубопровода. Основные требования к стали для подводных нефте- и газопроводов — высокий предел текучести, низкое содержание углерода, малое содержание водорода. Предел текучести определяет возможность укладки нитки трубопровода на заданную глубину и то давление, под которым будет вестись перекачка продукта. С этим же параметром связана толщина стенки трубы. От содержания углерода зависит свариваемость, а от содержания водорода — надежность шва. Сварной шов, насыщенный водородом, склонен к микротрещинам при старении, причем появляются они уже после того, как проведен контроль качества сварки и стык заизолирован. Микротрещины могут привести к превышению напряжений при укладке и разрушению трубопровода. Немаловажной является и коррозионная стойкость труб под воздействием как перегоняемых по ним продуктов, так и морской воды. Важно учесть ударную вязкость материала, обеспечивающую его способность противостоять случайным ударам. Наиболее подходящими для глубоководных нефте- и газопроводов являются марганцовистые стали с пределом текучести около 450 Н/мм<sup>2</sup>.

Выбор толщины стенки трубопровода диктуется не только конструктивными, но и технологическими требованиями. Известно, например, что тонкостенная труба легче и лучше сваривается, а скорость сварки — один из основных показателей времени и стоимости укладки. Кроме того, уменьшением толщины стенки можно добиться снижения ее массы и понижения растягивающих усилий в трубопроводе при укладке с трубоукладчика на больших глубинах, особенно за пределами шельфа [76].

На трубопроводы, укладываемые в этих условиях, сильно влияет не только качество материала, но и точность геометрии труб. Небольшая овальность (более 1,0 %) может привести к потере устойчивости под действием сложных напряжений, возникающих в трубе при одновременном воздействии изгиба и гидростатического сжатия. Потеря устойчивости проявляется или в сплющивании трубы или в появлении гофров на ее поверхности.

Технологические свойства трубопровода зависят и от его защитных покрытий. Сама защита морского трубопровода — сложная инженерная задача, успешное выполнение которой во многом зависит от технологии нанесения покрытий. Основная цель защиты — предохранить трубопровод от коррозии и механических повреждений. Однако часто защитные покрытия вы-

полняют комбинированные функции. Например, внутренние покрытия трубопроводов, созданные на основе эпоксидных смол, призваны не только защитить материал от разъедания транспортируемыми продуктами, но и уменьшить гидродинамическое сопротивление движению, возникающее в результате взаимодействия потока со стенкой. В последние годы появились трубопроводы, покрытые изнутри специальным защитным слоем из резины, способной гасить ударно-волновые явления в жидкостях, транспортируемых с большими скоростями. Требования к внутренним покрытиям высоки: они должны обладать хорошей стойкостью в агрессивной среде и быть достаточно прочными по отношению к механическому износу.

Многфункциональность характерна и для наружных покрытий. Чаще всего они играют роль не только защитного элемента, но и утяжелителя, обеспечивающего определенную плавучесть трубопровода при прокладке, когда он не заполнен жидкостью, и в процессе эксплуатации (в последнем случае утяжеление способствует остойчивости трубопровода). При прокладке по слабым грунтам утяжеление должно быть подобрано таким, чтобы трубопровод не погрузился в грунт под действием силы тяжести, что может привести к появлению в нем недопустимо высоких напряжений и аварии.

Обычно защитные покрытия многослойны. Сначала наносится антикоррозионный слой, потом на трубу надевается рубашка из армированного бетона. Разработаны покрытия, объединяющие функции защиты и утяжеления. Примером может служить изоляционное покрытие типа «сомастик» [99]. В качестве связующего используется битум (15 частей), наполнителем служит песок (65) и мел (20 частей). Для повышения прочности покрытие армируют небольшим количеством стекловолокна. «Сомастик» наносится на поверхность трубы, предварительно нагретую и покрытую битумной грунтовкой. Плотность этого покрытия можно изменять, вводя различные наполнители.

К качеству изолирующих покрытий предъявляют очень высокие требования. Так, трубы для одного из крупнейших подводных газопроводов Экофиск — Эмден протяженностью 443 км (диаметр трубы 914 мм, рабочее давление 14 МПа, пропускная способность 40 млн. м<sup>3</sup> в сутки) покрывали слоем «сомастик» толщиной 16 см. Покрытие должно было обладать стойкостью на растяжение не менее 88 Н/см при скорости нагружения 230 Н/ч, не растрескиваться до определенного момента при изгибе вокруг стандартного стержня, выдерживать довольно большую ударную нагрузку. Кроме того, покрытие испытывалось на сцепление с основой, для чего его растягивали между двумя пластинами, предварительно подготовленными так же, как и поверхность трубы. Требовалось обеспечить напряжение отрыва не менее 0,5 МПа. В процессе подготовки труб комплекс испытаний покрытия проводился не менее двух раз в сутки.

Поверх изолирующего покрытия устанавливаются аноды электрохимической защиты. Обычно это массивные сборные кольца из цинка, магния или алюминия, которые присоединяются к трубе с помощью медных изолированных проводников, привариваемых термитной сваркой. Количество анодов определяется величиной защищенной поверхности трубопровода. Масса анода зависит от срока службы трубопровода. Для анодной защиты трубопровода Экофиск—Эмден были использованы цинковые аноды массой 454 кг; они были установлены через каждые 132 м непосредственно поверх покрытия «сомастик» [104].

Следующий этап подготовки труб — нанесение бетонного покрытия. Применяются химически стойкие сорта бетона на цементе марки 350 и выше. Плотность защитного покрытия регулируют, используя различные наполнители — от обычного песка до железной руды. При нанесении такого покрытия необходимо обеспечить определенное его сцепление с изолирующим покрытием. Сцепление не должно быть слишком большим, так как образующиеся при застывании бетона усадочные трещины могут поразить и изоляцию; поэтому между ними вводят разгрузочную прослойку, гарантирующую определенное сцепление. Покрытие из бетона должно сохраняться в течение всего срока службы трубопровода, а его местные повреждения не должны приводить к разрушению соседних участков. Сохранность бетонного покрытия лимитируется стойкостью арматуры против коррозии. Стоимость активной защиты арматуры с помощью электрохимических методов очень высока, поэтому часто применяют пассивные методы. Прежде всего, арматуру устанавливают так, чтобы она не имела электрического контакта с трубой. От контакта с водой ее защищают слоем бетона, приготовленного по специальной технологии, отличающегося повышенной водонепроницаемостью (не более 3 см) и низким относительным содержанием воды (отношение массы воды к массе цемента не более 0,5) [100].

Бетонное покрытие не только защищает трубопровод, но и придает его стенкам дополнительную прочность, принимая на себя часть растягивающих напряжений в процессе укладки. Отрицательная сторона применения бетонного покрытия заключается в увеличении жесткости труб. Иногда приходится даже прорезать бетон на всю толщину покрытия кольцевыми канавками, чтобы гарантировать заданную жесткость трубопровода. Однако в большинстве случаев проблема решается сама собой: при затвердевании в бетонном монолите появляются трещины. Чтобы придать бетонному покрытию необходимую прочность, трубы выдерживают на складе не менее четырех недель.

Мы довольно подробно останавливаемся на подготовительных работах, предшествующих самой прокладке трубопровода,



Рис. 2.11. Схема технологического процесса укладки морского трубопровода.

потому что от качества их выполнения во многом зависит успех всей дорогостоящей и очень сложной операции (рис. 2.11).

Можно выделить три наиболее характерных способа укладки: 1) наращивание ранее уложенного на дне участка трубопровода с помощью трубоукладочного судна, 2) транспортировка и заглобление готового отрезка трубопровода, 3) протаскивание уложенного на грунт отрезка трубопровода. Способ укладки выбирается в зависимости от глубины, природных условий, назначения трубопровода, его диаметра и т. д. При большой протяженности трубопровода может оказаться необходимым на различных участках трассы применять различные способы укладки и их комбинации.

При прокладке наращиванием обычно применяются специализированные трубоукладочные суда, оснащенные сварочным и подъемным оборудованием, системами для изолировки стыков, контроля качества сварки и укладки. В практике строительства трубопроводов используется несколько типов таких судов, из которых наиболее современные позволяют укладывать трубы диаметром до 1200 мм на глубине до 300 м (диаметром 400 мм на глубине до 600 м) со скоростью до 2 км/сут. Эти суда (их часто называют трубоукладчиками третьего поколения) водоизмещением до 60 тыс. т несут на борту большой запас труб (последний может пополняться в процессе работы). Их двухкорпусная конструкция (рис. 2.12) позволяет вести работы при высоте волн до 5,4 м, что обеспечивает сокращение простоев по погодным условиям (около 20 % рабочего времени в условиях Северного моря).

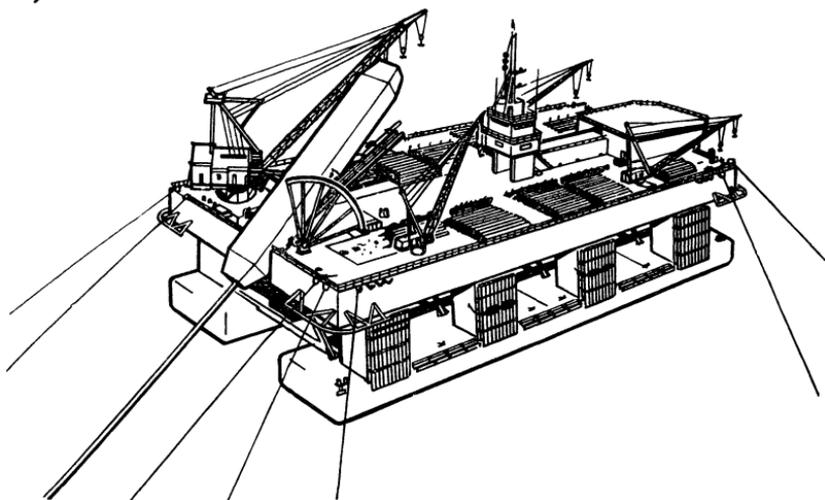
Во время укладки суда перемещаются с помощью мощных якорных лебедок, якоря заносятся буксирами обеспечения. Якорные системы позволяют осуществить точную проводку судна по трассе и создать необходимые усилия для компенсации натяжения трубопровода (натяжные устройства таких судов развивают усилия до 1,5 Мн) [51, 54].

Трубопровод наращивается на механизированной монтажной линии, состоящей из нескольких участков, на которых последовательно ведется подготовка стыков труб, центровка, прихватка, полуавтоматическая сварка, радиографический контроль и изолировка стыков. Готовый участок опускается на дно с помощью наклонной рамы (или стрингера), обеспечивающей плавный изгиб трубы.

Постройку участка трубопровода методом подключения готового отрезка можно проводить двумя способами. В первом случае готовый отрезок, собранный на береговой базе, с помощью понтонов буксируют на плаву к месту прокладки. Во втором — готовый отрезок наматывают на барабан специально оборудованного самоходного трубоукладчика. При транспортировке в отдаленный район второй метод предпочтительнее в силу его меньшей зависимости от погодных условий. Первые

опыты такой укладки были проведены в Северном море в 1969 г. Со специально переоборудованной баржи укладывали трубы диаметром 152—305 мм на глубину 150 м со скоростью 1860 м/ч

*a)*



*б)*

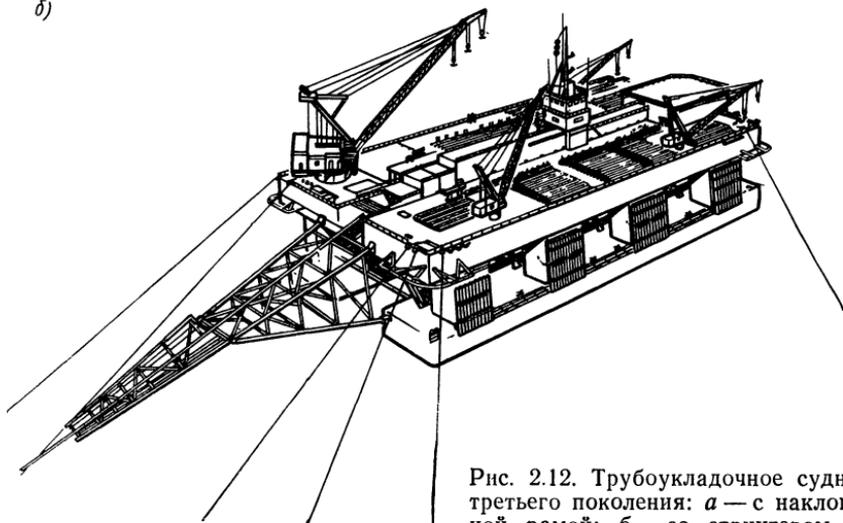


Рис. 2.12. Трубоукладочное судно третьего поколения: *a* — с наклонной рамой; *б* — со стрингером.

[76]. Современный трубоукладчик с барабаном (рис. 2.13) укладывает трубы диаметром до 600 мм на глубину до 275 м (уменьшение диаметра трубы ведет к соответствующему увеличению глубины). Скорость укладки 3 км/ч, работы могут проводиться на волнении до 2,5 м. Следует отметить и недостатки

этого способа: несколько увеличенную толщину стенок (что ведет к удорожанию строительства), а также ограниченный диаметр труб и еще более ограниченный выбор защитного покрытия, которое может быть только полиэтиленовым или эпоксидным. Трудоемка береговая подготовка к монтажу, а сам процесс укладки носит выраженный циклический характер. Большой технологический недостаток — остаточная спиральность труб, из-за чего не только увеличивается сопротивление транспортируемых по ним жидких и газообразных продуктов, но и исключается укладка труб в заранее вырытые траншеи. Однако в настоящее время — это единственный хорошо освоенный

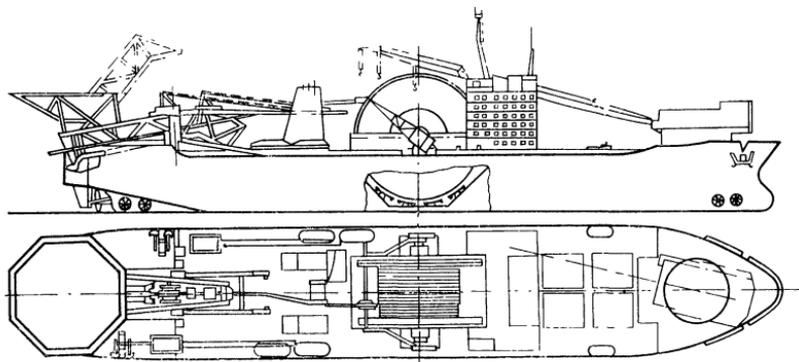


Рис. 2.13. Трубоукладочное судно с барабаном.

метод укладки труб диаметром 457 мм на глубину 550 м. Кроме того, он незаменим и в случае необходимости срочной прокладки трубопровода, например в аварийной ситуации [76].

При укладке трубопроводов протаскиванием практически отпадают ограничения по глубине прокладки, так как при использовании этого метода исключается провисающий участок — источник высоких напряжений, уменьшается толщина трубы (что в случае необходимости можно компенсировать введением ребер жесткости), а растягивающие напряжения, возникающие при протаскивании, становятся менее опасными, так как уравниваются гидростатическим давлением на концы незаполненного трубопровода.

Если на небольших глубинах протаскивание можно осуществить с помощью лебедки, установленной на корме заякоренной баржи, то на больших глубинах такой способ оказывается неэффективным: он не позволяет регулировать горизонтальную составляющую усилия протаскивания без значительных изгибающих моментов. Поэтому при глубоководной прокладке трубопровод перемещают путем подъема донного балласта или его протаскивания по дну (рис. 2.14) [69]. В обоих случаях исполь-

зуются два гравитационных элемента — подвижный блок и неподвижный якорь. В первом случае подвижный блок приподнимают с поверхности, заставляя трубопровод перемещаться в горизонтальном направлении. Во втором — с помощью гидравлических лебедок, установленных на подвижном блоке, подтягивают и его, и трубопровод к неподвижному якорю. В обоих случаях для выполнения следующего шага подвижный блок и якорь перемещают в заданном направлении. Преимущество второго способа состоит в том, что подвижный блок одновременно выполняет роль бульдозера, выравнивающего поверхность дна; кроме того, этот метод позволяет получить большие усилия протаскивания, так как используются одновременно массы и якоря, и донного блока.

Усилие протаскивания можно значительно уменьшить, если приподнять трубопровод над дном с помощью понтонов с прикрепленными к ним цепями для регулирования плавучести [72]. При таком методе протаскивания расстояние между трубопроводом и дном поддерживается автоматически, что делает процесс перемещения более безопасным и позволяет уменьшить уровень напряжений. Правда, реализация такого метода требует применения большого количества понтонов, которые надо присоединять, продувать и отсоединять. Однако принципиально использование понтонов может сделать протаскивание полностью подводной операцией.

По оценкам зарубежных специалистов, затрата средств при использовании донного протаскивания в некоторых случаях в два раза меньше, чем при укладке с помощью трубоукладочных судов. Особое место этот способ занимает в проектах по освоению северных месторождений, когда все работы по бурению и прокладке трубопроводов предполагается проводить прямо со льда (рис. 2.15), и в проектах организации добычи за пределами континентального шельфа [76].

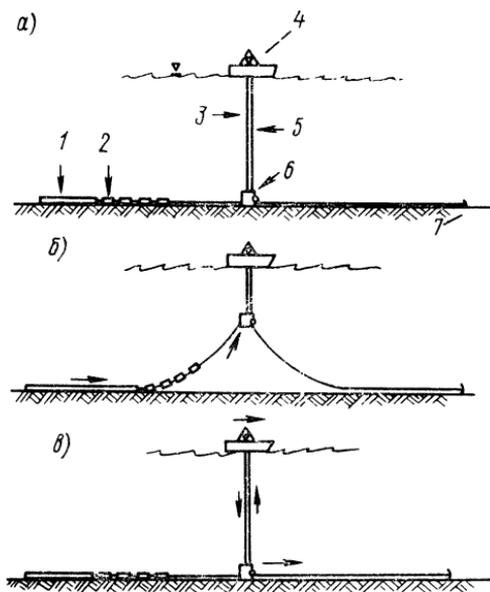


Рис. 2.14. Прокладка подводного трубопровода подъемом донного балласта: а — исходное положение; б — подъем балласта; в — перемещение балласта. 1 — трубопровод; 2 — оправки; 3 — подъемный трос; 4 — судно с подъемником; 5 — якорный трос; 6 — балластный блок; 7 — якорь.

Технологический процесс укладки трубопровода в открытом море — дело сложное и ответственное, требующее постоянного выполнения ряда контрольных мероприятий. В частности, необходимо непрерывно контролировать курс трубоукладчика, в особо ответственных случаях применяя системы гидроакустических или радионавигационных буев для разметки трассы, как это делалось, например, при работах на трассе Экофиск-Эмден,

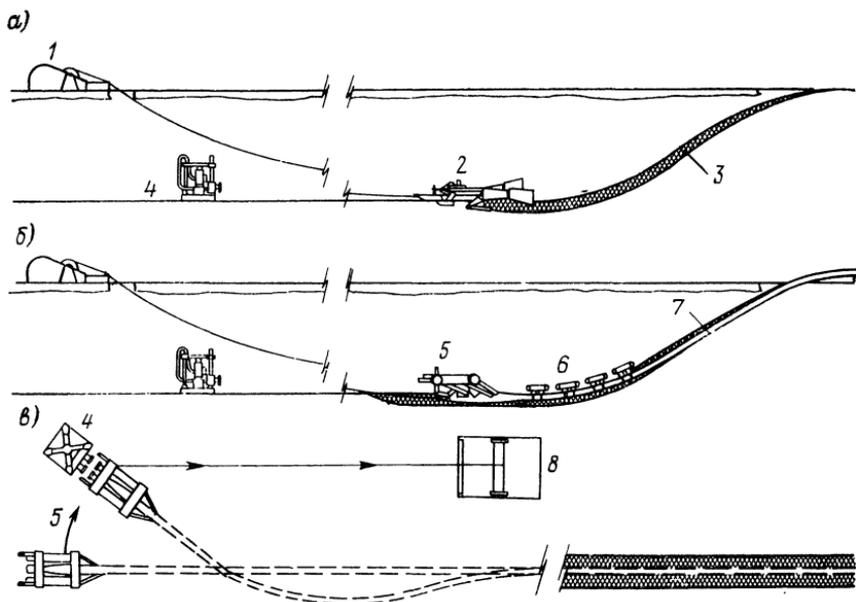


Рис. 2.15. Протаскивание трубопровода под льдом; а — подготовительные работы; б — протаскивание; в — подключение трубопровода.

1 — основная лебедка; 2 — траншекопатель; 3 — траншея; 4 — оголовок подводной скважины; 5 — стыковочный узел; 6 — понтоны; 7 — трубопровод; 8 — вспомогательная лебедка.

когда нужно было преодолеть скальные выходы. Их решили засыпать каменной отсыпкой шириной 18 м (при глубине моря от 46 до 61 м). Контроль передвижения трубоукладчика велся с помощью двух береговых микроволновых станций, получавших сигналы от трех запросчиков-ответчиков, установленных в известных точках трассы. Кроме того, за прокладкой постоянно следил экипаж подводного аппарата «Пайсис-3».

При укладке необходимо контролировать не только направление, но и контакт с грунтом; трубопровод не должен провисать, так как постоянно действующие напряжения могут привести к усталости материала и вызвать аварию. Если же опасное провисание обнаружено, его необходимо ликвидировать. Так, при прокладке в Персидском заливе одного из трубопроводов

диаметром 610 мм на шести провисших участках водолазы уложили под трубой мешки с цементом размером  $3 \times 1,2$  м.

В процессе укладки постоянно проверяется и внутреннее состояние уложенных труб с целью выявить потерю устойчивости. Для контроля используют специальные плунжеры, протягиваемые тросом.

Чтобы предохранить трубу от случайных повреждений, ее обычно заглубляют в грунт. Траншея под трубопровод может быть вырыта заранее с помощью гидромониторной баржи. На строительстве промыслов в Северном море такой способ заглубления использовался до глубин 180 м. В настоящее время внедряется способ заглубления уже уложенного трубопровода с помощью специальных подводных снарядов.

Известны механические и гидравлические устройства для выемки грунта, существует даже способ заглубления труб без выемки грунта, состоящий в гидравлическом разжижении последнего под трубопроводом и последующем погружении в него трубы под действием силы тяжести. Сами устройства для заглубления выполняются в виде систем на гусеничном ходу, движущихся рядом с трубопроводом, или систем, скользящих непосредственно по нему. Примером может служить выпускаемая фирмой «Текномэйр» грунторазрабатывающая машина ТМ-102. Она оснащена двумя выносными манипуляторами с грунторазрабатывающими гидравлическими и механическими устройствами, а также балластной системой, регулирующей устойчивость машины на дне. Телевизионная аппаратура позволяет наблюдать за ходом работ. Управление машиной и снабжение ее энергией производится по кабелю с обеспечивающего судна.

Из систем, передвигающихся по трубопроводу, в настоящее время широко рекламируется установка КМТ фирмы «Квейнер Бруг» (Норвегия). Установка снабжена четырьмя балластными танками, толкающим устройством, позволяющим ей скользить на роликах по трубопроводу, гидравлическими приспособлениями для размыва грунта, телевизионной системой, обеспечивающей точную установку на трубопровод. К достоинствам систем, движущихся вдоль трубопровода, относится способность без специальных мер следить за всеми изгибами последнего, что очень упрощает заглубление криволинейных трубопроводов.

Требуется специальных устройств и такая операция прокладки, как пристыковка трубопровода к подводному хранилищу, к манифольду (располагаемому на дне управляемому распределительному устройству), к стояку эксплуатационной платформы, просто к отрезку трубопровода, проложенного другим трубоукладчиком. В настоящее время разработан ряд оригинальных стыковочных устройств (подробнее о стыковке трубопроводов см. в § 2.5).

Специфические трудности связаны и с укладкой подводных кабелей. Надежность и помехозащищенность кабельных линий,

возможность использования их не только для переговоров и передачи телеграфных сообщений, но и для ввода данных в ЭВМ, делает их неотъемлемой частью современных систем связи. Кроме того, с помощью кабелей можно решать задачи энергоснабжения удаленных в море потребителей, энергоемких производственных комплексов, расположенных как в толще воды, так и на дне. Такой вид передачи энергии особенно выгоден в районах с тяжелыми погодными условиями на поверхности, в районах с ледовым покровом, т. е. везде, где установка собственных энергоблоков и снабжение их топливом затруднены. Недостатки энергокабеля — его высокая стоимость (около 1 млн. дол. за 1 км при нагрузке 100 МВт) и очень высокие требования к его защите от случайных повреждений.

Кроме стационарных кабелей, лежащих на дне, широко используются подвижные, которые проходят в толще воды и служат для соединения различных плавучих объектов с донными и береговыми сооружениями. Такие кабели отличаются от неподвижных еще более жесткими условиями эксплуатации из-за знакопеременных нагрузок, а работать они должны без ухудшения электрических и механических характеристик также в течение десятилетий. Особенно большим напряжениям подвергаются места стыковки кабеля с плавучим сооружением, где кабель одновременно находится под действием сложных напряжений и быстрее изнашивается. В этих случаях применяют кабели с повышенной прочностью на растяжение, а также используют различные компенсаторы вертикальных перемещений в виде петель и амортизаторов. Важными характеристиками таких кабелей являются гибкость, способность противостоять скручиванию, плотность на единицу площади поперечного сечения.

Основное оборудование для укладки кабеля связи — это судно-кабелеукладчик, оснащенное совершенной навигационной системой, устройством для заглубления кабеля в грунт, лебедкой грузоподъемностью 40—50 т. Кабель подается прямо из трюма или с барабана, радиус которого должен быть не менее удвоенного допустимого радиуса изгиба кабеля. Судно обязательно оснащается фрикционным тормозом для удержания кабеля.

Конструкция кабеля зависит от назначения и места укладки. Кабели дальней связи снабжаются промежуточными усилителями для предотвращения затухания сигнала. Эти усилители достаточно громоздки. Например, диаметр усилителя для трансатлантического кабеля ТАТ-6 составляет 330 мм (при диаметре кабеля 76 мм), а масса 273 кг. Для того чтобы пропустить усилители через тормозные устройства, требуются специальные приспособления. Способы защиты кабеля также неодинаковы. Если на глубоководных участках, безопасных с точки зрения повреждения якорями и орудиями лова, он имеет только полиэтиленовую защитную оболочку, то на участках, требующих защиты, применяют кабель в стальной броне, защищенной от кор-

розии цинковым покрытием. При этом на мелководных участках до 500 м укладывают кабели с более мощной броней, чем на глубоководных. Поэтому масса кабеля в броне колеблется от 12,5 до 18,7 т/км. Защита кабеля обычно рассчитывается на безаварийную работу в течение 25 лет.

Процесс укладки трансокеанского кабеля в районах, где он не требует защиты от орудий лова, и там, где такая защита необходима, различен. В первом случае его просто опускают на дно, следя только за тем, чтобы прокладка точно соответствовала выбранной изыскателями трассе, а на кабеле не было излишних слабину и натяжения. Во втором случае кабель обычно погружают в грунт. Величина заглубления зависит от глубины моря, от навигационной и ледовой обстановки. Обычное заглубление составляет примерно 60 см, однако оно имеет смысл только тогда, когда точно установлено, что грунт в районе прокладки достаточно стабилен. В Северном море, например, наблюдались случаи, когда над кабелем образовывались наносы толщиной более пяти метров, которые уже через шесть месяцев оказывались размывшими. В подобном случае заглубление бесполезно и необходимо применять другие способы защиты. В районах, подобных Северному морю, кабель, по мнению ряда специалистов, наиболее безопасно укладывать в створе с трубопроводами: капитаны траулеров стараются избегать встреч с ними, в то время как вытащить одиночный кабель современному траулеру ничего не стоит [75]. Тралам доступны глубины до 900 м, поэтому сейчас на этих глубинах предпочитают закапывать кабель в грунт. Исключение составляют районы с выходами скальных пород на дне, куда рыболовные суда с донными тралами обычно не рискуют заходить.

Заглубление кабелей связи в грунт ведут одновременно с их прокладкой с помощью устройств, буксируемых судном-кабелеукладчиком. Используют несколько типов таких устройств. Главное место среди них занимают плужные укладчики и различные водоструйные аппараты. В качестве примера можно привести плужное устройство «Си плу-4», разработанное для прокладки кабеля ТАТ-6 [74]. Этот плуг предназначен для укладки кабеля в траншею шириной 10 см на основном участке и в траншею шириной 40 см в тех местах, где расположены усилители. Поэтому плуг снабжен двумя лемехами — широким и узким. Скорость движения плуга измеряется с помощью двух мерных колес, управляется плуг по кабелю, по нему же на борт судна передаются данные о скорости движения, глубине моря, температуре воды, глубине траншей, положении плуга относительно дна. С помощью телекамеры оператор на борту кабелеукладчика следит за всем процессом подводной укладки.

Плуг опускается на дно с помощью буксирного троса, закрепленного в центре тяжести системы. После контакта с грунтом точка прикрепления троса переносится ближе к носовой

части и лемех плуга опускается на заданную глубину. С помощью такого плуга было заглублено около 350 км кабеля ТАТ-6 со средней скоростью 1 км/ч.

Существует несколько различных конструкций плужных устройств. В одних применяется плуг, жестко закрепленный относительно рамы, в других это соединение подвижно, что позволяет изменять положение плуга и глубину траншеи при встрече со сложными грунтами и преодолевать подводные препятствия. Для прокладки кабеля по трассе с резкими поворотами разработана конструкция с плугом, закрепленным в поворотной сборке. Возврат в нормальное положение обеспечивается скручивающимся стержнем, восстанавливающим положение плуга сразу после снятия усилия, вызванного поворотом.

В литературе описаны и другие устройства, часто сочетающие механические и гидродинамические принципы. В качестве примера можно привести роторное устройство с гидромотором и цепным приводом, в котором грунт из траншеи, вынутый ковшем, попадает на лоток и смывается в сторону струей воды, подаваемой по шлангу с судна.

Выбор типа устройства для заглубления кабеля диктуется глубиной прокладки и характером грунтов по трассе. В частности, специалистам, ведущим прокладку трансатлантического кабеля ТАТ-6, пришлось отдать предпочтение механической системе перед гидродинамической из-за низкой эффективности гидромеханического способа размыва плотных глин, из которых сложено дно в районе Атлантического побережья вблизи Лос-Анджелеса.

Большой опыт по прокладке подводных трубопроводов и кабелей накоплен советскими специалистами по подводной технологии при форсировании судоходных и несудоходных рек, заливов и проток [25].

## 2.5. Ремонтные работы

Эксплуатация подводных сооружений связана с необходимостью проведения различных ремонтных работ. Это может быть замена неисправных блоков и узлов установок, восстановление разрушенных фундаментов, ремонт металлоконструкций, трубопроводов и т. д. Подобные работы могут выполняться в порядке планово-предупредительного ремонта, в срочном или аварийном порядке. Предпочтение, безусловно, отдается плановому ремонту. Все службы контроля состояния сооружений создаются для того, чтобы вовремя предсказать надвигающуюся опасность — угрозу отказа. Своевременный ремонт — одно из основных условий безаварийной работы подводного сооружения в течение всего срока его эксплуатации и в то же время средство продления эксплуатации этого сооружения.

**Ремонт трубопроводов.** Наибольшее число ремонтных работ падает на трубопроводы. Причины отказов трубопроводов подразделяются на следующие основные категории: коррозия труб, главным образом внутренняя от транспортирования продуктов; истирание трубопроводов в месте их пересечений, вызванное волновыми воздействиями, и повреждения от усталости металла в местах присоединения и пересечения трубопроводов, включая коррозионную усталость, как следствие суммарного воздействия коррозии и циклической нагрузки; повреждения, вызванные производством строительных работ в непосредственной близости от трубопроводов, в том числе бурением, судовыми якорями при перемещении плавучих средств во время штормов, и другие механические повреждения; деформации дна, включая размывы и оползни.

Технология ремонта подводных трубопроводов довольно сложна. Она требует применения специальных технических средств и способов производства работ, причем весьма различных в связи с исключительным разнообразием условий на каждом подводном переходе.

Все существующие в настоящее время виды ремонта подводных трубопроводов можно подразделить на два основных класса: наружный ремонт и внутренний (устранение повреждений изнутри трубопровода). Наружный ремонт можно выполнять, подняв на поверхность воды участок трубопровода или непосредственно на дне моря.

Ремонт с подъемом трубопровода на борт судна-трубоукладчика или специальной баржи обладает определенными преимуществами. В этом случае обеспечиваются тщательная инспекция поврежденного участка, более качественная сварка и контроль шва, а сама сварочная операция выполняется значительно быстрее и не требует применения дорогостоящего оборудования, отпадает необходимость в заполнении трубопровода водой. Однако этим методом можно пользоваться только на сравнительно малых глубинах — с увеличением диаметра трубопровода, глубины и при неблагоприятных погодных условиях его применение становится нецелесообразным.

Процесс ремонта методом подъема включает следующие операции. Поврежденный участок трубопровода отмывают от грунта, разрезают на дне и оба конца поднимают на поверхность. Практически всегда в этом случае приходится вваривать дополнительный участок трубопровода, длина которого, как правило, будет не меньше глубины моря в месте подъема концов. Значительные затруднения возникают при обратном опускании такого трубопровода, имеющего «запас слабину». Обычно для укладки применяют большое число понтонов с регулируемой плавучестью. Разновидностью способа ремонта трубопровода с подъемом его концов является прокладка нового участка в виде «петли» из двух параллельных трубопроводов.

При ремонте поврежденного трубопровода на дне не нужно увеличивать длину трубопровода (необходимую для подъема его на поверхность). На мелководных участках в зависимости от характера и размера повреждения можно использовать различные муфты, зажимы или сварку. В последнее время применяются кессоны и опускные колодцы, в которых поврежденные участки трубопровода заменяют новыми.

Прокладка трубопроводов на глубинах, недоступных для водолазов, заставила разработать новые методы и средства ремонта.

Уже применяются устройства, позволяющие выполнить операции по замене поврежденного участка на глубинах от 600 до 1200 м. В основу их действия положены различные принципы. Например, устройство типа «коннектор» сращивает отрезки с помощью шаровой муфты, снабженной червячным редуктором и приводом от гидромотора (рис. 2.16). Уплотнение осуществляется за счет механического сжатия прокладки из эластомера.

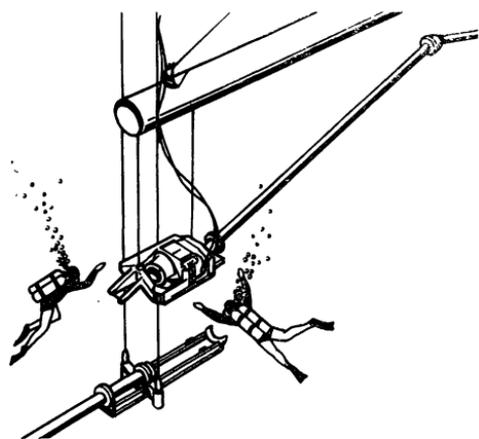


Рис. 2.16. Сращивание трубопроводов с помощью шаровой муфты типа «коннектор».

Правда, это и подобные ему устройства для подводной стыковки трубопроводов диаметром более 900 мм и углом

между ними  $10^\circ$  и более используются главным образом для прокладки морских трубопроводов [96].

За рубежом разработаны комплексные системы ремонта, в которых основной упор делается на автоматизацию процесса и дистанционное управление с поверхности воды [98]. Системы включают рабочую платформу — подводный агрегат для ремонта трубопроводов, подводный транспортный аппарат и энергоблок (рис. 2.17). Рабочая платформа дистанционного управления имеет все необходимое оборудование для вскрытия грунта, резки, удаления и замены поврежденного участка трубопровода (насосы, очистные устройства, резаки и контрольные приборы). Подводный транспортный аппарат катамаранного типа служит для доставки платформы к месту производства работ. Он имеет дистанционное управление и обладает достаточной мощностью и маневренностью, чтобы принять заданное положение над трубопроводом или на дне моря.

В последнее время для ремонта трубопроводов помимо обычной сварки применяется сварка взрывом под водой. Преимуще-

ство этой сварки состоит в том, что ее могут выполнять относительно малоквалифицированные легководолазы. Суть ее технологии заключается в следующем: в результате взрыва заряда две свариваемые части соударяются друг с другом с заданной скоростью и при заданном давлении, образуя твердое соединение, основанное на межмолекулярных связях. Перед взрывом свариваемые кромки подготавливаются с помощью подводной трубосварочной машины. Затем две свариваемые части трубопровода соединяются встык и помещаются в специальную втулку с кольцевым зазором в районе будущего соединения. В зазор помещается пневматическое уплотнение, зона сварки обезвоживается, продувается и просушивается.

Внутренность трубы также обезвоживается с помощью надувных мешков, которые служат и для частичного поглощения энергии взрыва заряда. Качество сварного соединения проверяется ультразвуком. Все действия контролируются с надводного судна по кабелю. Используемое при этом оборудование отличается сравнительно небольшой массой. Наиболее тяжелыми являются рамные конструкции для крепления трубопроводов. Масса трубосварочной подводной машины — около 1,5 т, масса блока оборудования для продувки и сушки зоны сварки — около 3 т.<sup>1</sup>

В Японии и Англии ведутся работы по использованию сварки трением для ремонта подводных трубопроводов. Первые эксперименты дали положительные результаты.

Ремонт подводных трубопроводов с удалением поврежденных участков и последующей приваркой новых — дорогостоящая операция, поэтому там, где возможно, производят местный ремонт с помощью наложения заплат, установки бугелей, муфт и т. д. [24]. В связи с этим успешно внедряются клеи, предназначенные для наложения заплат и герметизации различных конструкций и трубопроводов как на воздухе, так и под водой.

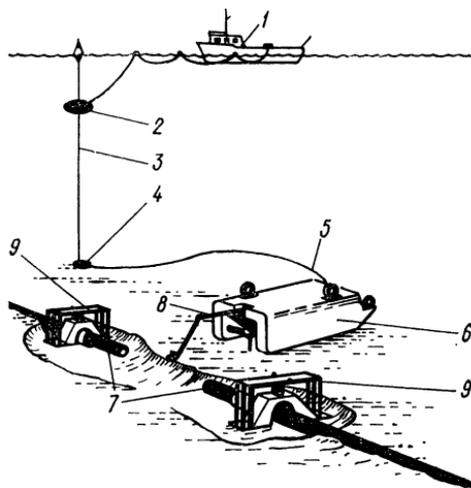


Рис. 2.17. Система для дистанционного ремонта подводного трубопровода.

1 — судно обеспечения; 2 — лифт; 3 — кабель-трос; 4 — якорно-соединительное устройство; 5 — соединительный кабель; 6 — рабочий аппарат; 7 — подготовленные концы труб; 8 — сменный инструмент; 9 — удерживающие устройства.

<sup>1</sup> См. «Oil and Gas I.», 1975, v. 73, № 46, p. 57.

Технология ремонта трубопроводов с применением этих клеев следующая: сбрасывают давление в поврежденном трубопроводе, зачищают поверхность трубопровода в месте ремонта, готовят клеевую композицию; на поверхность трубопровода наносят армирующий материал, пропитанный клеем, и наращивают его на необходимую толщину; поверх армирующего материала ставят хомуты или производят оклетнение. После полимеризации связующего, для чего требуется определенное время, трубопровод готов к эксплуатации.

Обязательным условием хорошего качества и долговечности ремонта с помощью клеев является тщательная подготовка поверхностей, подлежащих соединению. Перед нанесением клея они должны быть освобождены от возможных загрязнений (ржавчины, окислы, краски, обрастаний и т. д.) с помощью различных видов механической, химической и даже термической очистки.

Наружный оберточный слой армирующего материала с клеевой пропиткой следует накладывать с нахлестом (2—3 см витков) и следить за тем, чтобы он плотно прилегал к покрытию (без пустот, морщин и складок). Конец намотки должен быть перекрыт следующей лентой на длину не менее 5 см. Качество армированного покрытия проверяют пооперационно в процессе нанесения путем внешнего осмотра и проверкой числа слоев, ширины нахлеста, силы сцепления (прилипаемости) слоя со слоем или с поверхностью, плавности сопряжения наформовки с поверхностью нанесения. При внешнем осмотре покрытия необходимо убедиться в отсутствии морщин, пропусков, трещин, бугров, вздутий, впадин, расслоений.

Ремонт кабелей. Причинами повреждений морских кабелей, в основном, являются якоря, тралы, льды, землетрясения, а также трение о скальный грунт в зоне шельфа. Хотя в районах с такими условиями проложено всего 10 % морских кабелей, однако именно здесь производится до 90 % ремонтных работ [83].

Для выполнения ремонтных работ на кабельных линиях необходимо специально оснащенное судно с носовым расположением рабочей площадки, мощной кабельной лебедкой (грузоподъемностью не менее 35 т), приборами для контроля натяжения кабеля, специальными термостабилизированными отсеками для проведения электрических измерений параметров кабелей и трюмами с запасом кабелей. Кроме того, на таком судне должен быть поисковый подводный аппарат, снабженный достаточно чувствительным магнитометром и набором инструментов для обрезки и захвата концов кабеля, для подключения подводных стыковочных узлов.

Операция по ремонту кабеля начинается с определения возможных точных координат места повреждения, для чего используется измерительная аппаратура, работающая по принципу

локации участка с нарушенными электрическими свойствами. Затем в этот район немедленно уходит ремонтное судно. С помощью подводного аппарата или тралением по дну кошкой находят один из концов кабеля, поднимают его на борт, постоянно контролируя натяжение, испытывают и заводят на предварительно установленный вспомогательный буй. Затем отыскивают и поднимают на борт второй конец, наращивают его, а судно тем временем возвращается к бую, где после повторных испытаний концы отрезков соединяют, опускают отремонтированный кабель на дно и в случае необходимости заглубляют в грунт. При большой глубине в районе работ укладку кабеля на дно ведут с таким расчетом, чтобы на нем не образовывались петли, которые могут послужить причиной новой аварии.

Если кабель не имеет разрыва, то его перед подъемом разрезают. Для этого якорь-кошку оборудуют резаком или используют резак, установленный на подводном аппарате.

Для ремонта кабелей на больших глубинах в настоящее время разрабатываются два типа устройств. Одно из них предназначено для полностью подводного ремонта и требует применения специального подводного аппарата. Второе представляет собой унифицированную кабельную муфту, которую на поверхности присоединяют к концам оборванного (отрезанного) кабеля с тем, чтобы их соединение выполнить в подводном положении у дна. Такой способ соединения избавляет от необходимости наращивать слишком длинный вспомогательный участок кабеля. Подводную часть работы и в этом случае должен выполнять глубоководный робот, например недавно поступивший на вооружение подводных технологов необитаемый подводный аппарат типа SCARAB, разработанный американскими инженерами специально для выполнения работ по прокладке и ремонту кабелей и инспекции действующих линий. Аппарат обнаруживает заглубленные в грунт кабели, отмывает их, производит подводную резку, установку зажимов и подъемных тросов на отрезанных концах, заглубляет кабели. Есть опыт использования для таких же целей обитаемого аппарата типа «Пайсис» и др.

Ремонт железобетонных сооружений. Разрушение железобетонных конструкций — результат воздействия как среды, так и случайных ударов при строительстве и эксплуатации. Наиболее подвержены разрушению район ватерлинии, места стыковки колонн оснований с фундаментными блоками, придонные участки. В районе ватерлинии на стойкость бетона сказывается одновременно воздействие морской воды, кислорода и животных-обрастателей. Конструкции, расположенные в глубине, менее подвержены разрушению. Вблизи грунта бетон, как, впрочем, и сталь, может истираться под воздействием подвижных абразивных осадков. В местах сочленений особенно сильно проявляется совместное воздействие среды и

усталостных эффектов, возникающих при значительных волновых нагрузках.

Методы ремонта бетона зависят от глубины его расположения, размеров и структуры поражений и временного фактора (время возникновения поражения, возраст бетона). Поражения могут быть в виде трещин, каверн, разломов, выбоин с частично или сильно поврежденной арматурой. Как правило, бетонные конструкции долговечны. Возникающие в поверхностных слоях микротрещины — следствие чрезмерных растягивающих напряжений при изгибе опор и колонн — большой опасности не представляют, так как после снятия растягивающего напряжения «самозалечиваются». Серьезное повреждение возникает только при разрушении достаточно большого объема материала, захватывающего арматуру. Оценивая опасность разрушения и выбирая способ ремонта, учитывают, что при проектировании арматура рассчитывалась таким образом, чтобы ее пластическая деформация начиналась только после разрушения бетона. Именно поэтому при обследовании на арматуре часто находят только следы механического воздействия, не представляющие угрозы для ее прочности. Кроме того, арматура обычно закладывается несколькими слоями с определенным запасом, благодаря чему даже при экстремальных нагрузках часть ее остается ненапряженной и достигается большая энергоемкость конструкции. Отсюда и самый распространенный способ ремонта повреждений — восстановление бетонного монолита.

Если глубина, на которой обнаружено повреждение, доступна для водолаза и объем работ невелик, то ремонт может быть выполнен вручную. Водолаз с помощью скребка или металлической щетки очищает полость, устанавливает опалубку, уплотняет ее и с помощью шланга от бетононасоса заполняет цементным раствором; вода из полости вытесняется через отверстие в верхней части опалубки. Опалубку можно устанавливать с помощью бандажей, крепить монтажным pistolетом, распорками и т. п. В тех случаях, когда ремонтируемая опора допускает увеличение массы и жесткости, сечение опоры в месте повреждения увеличивают, повышая тем самым прочность, особенно при частичном повреждении арматуры или плохом схватывании раствора с материалом опоры. Такой бетонный бандаж часто усиливают дополнительной арматурой. Если на участке опоры бетон разрушен полностью и опора в месте повреждения изогнута, ее выправляют механическим способом.

Изъеденный трещинами бетонный монолит может быть с успехом восстановлен методом инъекции цементного раствора под давлением. Для этого в монолите бурят на требуемую глубину ряд отверстий, вводят в них трубки для подачи раствора, заделывают поверхностные трещины и нагнетают раствор. О качестве заполнения пор судят по расходу раствора и по изменению давления в подающем трубопроводе.

В последнее время при ремонте железобетонных конструкций успешно применяют эпоксидные компаунды для заличивания трещин, ликвидации поверхностных повреждений, восстановления гидроизоляции. Эпоксидные компаунды обладают хорошими технологическими свойствами, высокой адгезионной способностью, обеспечивая усилие на отрыв не менее 5 МПа. Для армирования эпоксидных компаундов применяют стекловолокно в виде нитей и ткани.

Интересный способ нанесения защитного полимерного покрытия на железобетонные и стальные конструкции предложен во Франции. На одну сторону эластичной подложки, изготовленной из минерального, растительного, синтетического или металлического материала, наносится один или несколько слоев защитного красителя, приготовленного на основе синтетической двухкомпонентной смолы или другим способом. На другую сторону подложки наносится слой клеящего вещества и закрывается тонкой пленкой, легко отделяемой под водой. Подложка для удобства обращения нарезается листами (1×1 м). После окончания полимеризации красителя покрытие готово к употреблению [45].

## **2.6. Борьба с обрастанием и коррозией**

Подверженность подводных объектов обрастанию и коррозии накладывает особый отпечаток на весь процесс подводно-технических работ, во многом определяя их специфику как на стадии подготовки, так и на стадии выполнения. Учет этих явлений обязателен при эксплуатации самых различных сооружений, устройств и механизмов, применяемых для обеспечения подводного технологического процесса.

Как известно, обрастание — это поселение растительных и животных организмов на искусственных и природных твердых поверхностях, в том числе на камнях, подводных поверхностях судов, портовых и других сооружениях, на внутренних поверхностях промышленных водопроводных труб, конденсаторах тепловых электростанций и т. д. В результате обрастания судов и других подвижных средств повышается сопротивление их движению, возрастает требуемая мощность энергетических установок для сохранения первоначальной скорости. Так, увеличение шероховатости подводной части судна всего на 25 мкм повышает сопротивление его движению на 2,5 %. Сильное обрастание водоводов приморских и плавучих электростанций и заводов, обрастание заборных патрубков систем охлаждения часто приводит к их полной закупорке. В результате обрастания может нарушиться работа различных систем технического водоснабжения, гидроаппаратов и гидротехнических сооружений. Судовые и океанологические приборы и аппаратура, подвергшиеся обрастанию, преждевременно выходят из строя или дают

неверные показания. Обрастание гидроакустических буев, плавающих сетей заграждения и других дрейфующих объектов приводит к потере плавучести, увеличивает воздействие на них течений. Зарастание сетей, образующих рыбные загоны в морехозяйствах, снижает циркуляцию воды и ухудшает кислородные условия в огороженных участках.

Скорость обрастания различна. На быстроходных судах и объектах, как правило, размещается небольшое количество обрастателей: их биомасса не превышает  $10 \text{ кг/м}^2$  в год. На тихоходных судах и объектах их поселяется уже значительно больше: прирост биомассы в этом случае достигает  $20 \text{ кг/м}^2$  в год. Наибольший прирост биомассы ( $40 \text{ кг/м}^2$  в год и более) наблюдается при обрастании неподвижных и малоподвижных объектов, таких как плавучие маяки, буи, боны, сваи, причалы, трубопроводы и т. п. Однако следует отметить, что не только степень подвижности определяет интенсивность обрастания [6]. На нее влияет также температура и соленость воды, колебания температуры в зависимости от сезона, наличие течений, подвижных илов, распределение освещенности в толще воды и др.

Защита подводных объектов от обрастания значительно сокращает экономический ущерб, наносимый им, повышает надежность систем, механизмов и оборудования, работающих в подводных условиях, уменьшает опасность возникновения аварийных ситуаций. Средства и методы защиты от обрастаний и борьба с ними включают разнообразные способы, основанные на применении физических и химических процессов.

Наиболее простой способ борьбы с обрастанием — периодическая механическая очистка поверхностей подводных объектов. В настоящее время именно механическая очистка занимает первое место как по объему выполняемых работ, так и по разнообразию применяемых устройств и приемов. Слой обрастателей удаляют с очищаемой поверхности скребками, щетками, струей воды высокого давления и т. п. Подлежащий очистке объект поднимают, если это возможно, из воды или обрабатывают под водой с помощью водолазов, дистанционных манипуляторов и подводных аппаратов.

Подводную очистку можно выполнять двумя способами: с поверхности воды или непосредственно под водой. Применение первого способа возможно, если подводный объект расположен на сравнительно малой глубине, доступной для современных устройств и механизмов очистки. Этот способ часто используется в таком виде подводного производства, как морские хозяйства, акватории которых имеют систему постоянных или плавающих мостков, либо расположены в приливно-отливной зоне. В последнем случае очистка объектов выполняется с лодок во время отлива. Установки для производства работ с поверхности применяют также при очистке малотоннажных судов,

относительно ровных легкодоступных поверхностей крупных судов и гидротехнических сооружений (рис. 2.18).

Очистка подводных объектов водолазами — весьма трудоемкая и достаточно сложная операция, однако она является единственно возможной в тех случаях, когда очищаемый объект не может быть поднят на поверхность или очищен с поверхности. Эффективность водолазного труда при подводной очистке может быть повышена применением различных механизмирующих

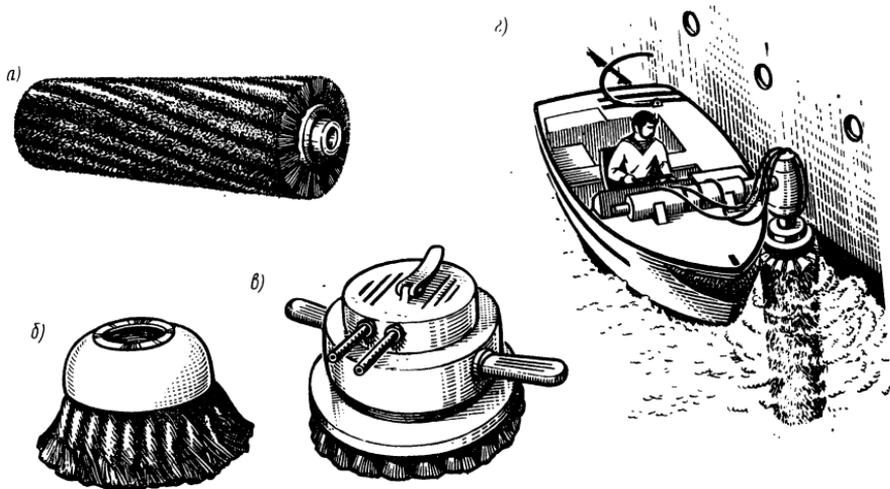


Рис. 2.18. Щеточный инструмент для очистки от обрастаний: а — цилиндрическая щетка; б — торцовая щетка; в — ручная пневматическая щеточно-зачистная машинка; г — надводная установка для подводной очистки поверхностей.

устройств и установок. От их наличия, характеристик и условий работы зависит выбор технологии подводной очистки [35].

Для ряда подводных объектов создается постоянно действующая система механической защиты от обрастания. Наиболее удобна система, использующая воздух. Создавая поток воздушных пузырей в непосредственной близости от защищаемой поверхности, система предотвращает оседание на нее личинок обрастателей. Для этих же целей могут быть применены струи воды, подаваемые под большим давлением, а также некоторые виды покрытий.

К физическим методам борьбы с обрастанием подводных объектов кроме механической очистки можно отнести создание около них термической, электрической, ультразвуковой или радиоактивной защиты.

Термическая защита заключается в периодическом нагреве защищаемой поверхности до определенной температуры либо в промывании ее теплой водой. Например, взрослые особи

и личинки основных обрастателей Черного моря баянусов и мидий гибнут при температуре воды 44 °С в течение 5—15 мин. Для термической защиты водоводов от мидий на Одесской электростанции используют воду, подогретую до 70—80 °С, которую периодически подают в защищаемые устройства. С другой стороны, для борьбы с обрастанием можно использовать и низкие температуры (вымораживание обрастателей).

Электрический метод основан на создании возле защищаемой поверхности постоянного или переменного электрического поля, которое предотвращает поселение организмов. По одной из схем металлические изолированные электроды размещают вдоль защищаемой поверхности и периодическим включением переменного электрического тока между двумя электродами создают электрическое поле. Подобная схема работает и на постоянном токе. Однако эффективна она лишь при больших плотностях тока — свыше 10 000 мА/м<sup>2</sup>.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых волн сравнительно высокой интенсивности поражать живые организмы. Частоту и интенсивность излучения защитных ультразвуковых установок необходимо выбирать исходя из конкретных условий, в частности при защите обитаемых объектов, например судов, не должно быть травмирующего действия ультразвука на экипаж. Что касается защиты необитаемых подводных объектов, то здесь обычно основным показателем является обеспечение максимальной надежности.

Радиоактивный метод борьбы с обрастанием основан на использовании различных радиоактивных изотопов со сравнительно длительным периодом полураспада. В большинстве случаев изотопы в виде порошкообразного металла, окислов или солей добавляются в необрастающие покрытия перед их использованием и в составе покрытия оказывают летальное воздействие на обрастателей. Так, при использовании в покрытии изотопа иттрия с поверхностной активностью 0,05 мКюри/см<sup>2</sup> и выше на защищаемой поверхности обрастания не возникает.

Химические методы борьбы с обрастанием заключаются в том, что поверхность защищаемого объекта периодически или постоянно обрабатывается токсичными для обрастателей составами. Водоводы, трубопроводы, трубы теплообменников, затворы и другие конструктивные элементы гидротехнических и энергетических сооружений успешно защищают от обрастаний хлорированием проходящей через них воды. Возможно и использование других химических веществ.

Наконец, в борьбе с обрастанием применяются различные типы специальных покрытий, пассивных и активных. Пассивные покрытия исключают применение ядов, что особенно важно в тех случаях, когда необходимо обеспечить особую чистоту водной среды, например в морехозяйствах, связанных с культивированием моллюсков, рыб, пищевых водорослей и т. п.

В простейшем виде в качестве пассивных покрытий используют различные полиэтиленовые или резиновые пленки, мешки, которыми закрывают защищаемый объект. Такие покрытия не защищают от обрастания, но позволяют быстро очищать объект от слоя обрастателей. В частности, полиэтиленовыми мешками удобно закрывать небольшие буи и другие небольшие плавающие объекты. Сравнительно быстро можно очистить от обрастателей элементы объектов, обложенные или обмотанные резиной.

Развитием пассивных покрытий являются отслаивающиеся покрытия, которые по достижении определенной величины обрастания сбрасывают один слой вместе с обрастателями, как бы автоматически самоочищая защищаемый объект.

Для уменьшения обрастания в покрытия (резину, пленку и т. п.) помещают специальные микрокапсулы с ядами, летальными для обрастателей. В этом случае покрытия становятся активными и по принципу действия аналогичными необрастающим краскам. Оболочка микрокапсул выполняется полупроницаемой и изготавливается из различных полимеров или пленкообразующих веществ (нитроцеллюлоза, парафин, желатин, полиэтилен) толщиной около 1 мкм. Размеры микрокапсул колеблются от 5 до 300 мкм. Применяя в покрытиях микрокапсулы различной толщины и размеров, можно регулировать выделение ядовитых веществ, обеспечивая тем самым равномерность выщелачивания ядов и более длительную защиту объекта от обрастания по сравнению с необрастающими красками.

К активным относятся и покрытия из ряда ядовитых для обрастателей металлов и сплавов. Действие их основано на способности большинства организмов накапливать в себе вредные элементы, что и служит причиной их гибели. Интересна в этом смысле медь. Медные покрытия толщиной 0,1—0,12 мм наносятся на защищаемые поверхности плазменным напылением, электроосаждением или гальванизацией. Такие покрытия можно наносить и на изделия из полимерных материалов. В частности, достаточно широко и успешно эксплуатируются полиэтиленовые сети с медным покрытием, которые обрастают в два раза медленнее, чем подобные сети без покрытия. Однако лучше всего противостоят обрастанию стальные плетеные сети с медным покрытием, полученным методом гальванизации [36]. Эффективной защитой от обрастания могут служить такие достаточно медленно растворяющиеся в воде металлические покрытия, как цинк с алюминием (0,1%) и кадмием (0,05%), кадмий с оловом (0,1 и 0,3% соответственно) и т. п.

К особенностям морской воды как коррозионной среды относятся: высокая концентрация растворенных солей; большое содержание хлоридов, в частности хлоридов натрия и магния (почти 90% солевого состава); содержание в воде депассиваторов ионов хлора и окислителя — растворенного кислорода;

присутствие микроорганизмов, водорослей, моллюсков и других живых организмов-обрастателей, в результате жизнедеятельности которых выделяются вещества, способствующие коррозии.

К этим факторам, определяющим коррозионную активность поверхностных слоев воды, на глубине добавляется воздействие гидростатического давления, изменение химического состава воды. Результаты ряда экспериментов [41] показывают, что на глубинах до 1800 м сплошная и питтинговая коррозия сталей и

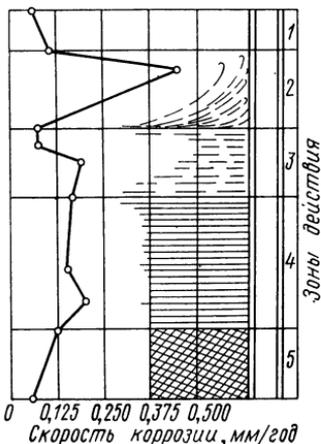


Рис. 2.19. Изменение скорости коррозии стальной сваи в различных зонах.

1 — атмосфера; 2 — морские брызги (в прилив); 3 — средний уровень отлива; 4 — спокойная вода; 5 — ил.

водных условиях, решающими могут быть не только чисто технологические характеристики, такие как скорость и равномерность нанесения покрытия, правильный режим сушки, температурные условия, но и, казалось бы, совершенно простые вспомогательные операции, например перемешивание или подогрев красок и грунтовок перед их использованием.

Серьезно могут повлиять на коррозионную стойкость объектов нарушения при установке средств защиты и определении их правильного размещения на объектах. Так, в результате неправильного размещения анода при катодной защите неподвижных металлических поверхностей возникают блуждающие токи и коррозия объекта значительно усиливается [41]. К этому же может привести отсутствие контакта между отдельными элементами защищаемого объекта, неправильно установленный режим защиты, плохо смонтированный протектор и многое другое.

некоторых других материалов не превышает тех пределов, которые отмечены у поверхности моря. Однако следует учесть, что агрессивность илов и осадков, а также сероводородное заражение воды в некоторых районах морей может стать причиной ускоренной коррозии (рис. 2.19). Характерные для морской воды небольшие колебания рН в интервале 7,2—8,6 не оказывают заметного действия на процессы коррозии.

В общем виде на коррозионную стойкость объектов, эксплуатируемых в водной среде, влияют три группы факторов: конструктивные, технологические и эксплуатационные (рис. 2.20).

Из технологических факторов укажем способ и условия нанесения покрытий, качество их выполнения при изготовлении и монтаже изделий, а также в период проведения ремонтно-профилактических работ в подводных условиях [35]. Здесь, как и в над-

Рис. 2.20. Классификация факторов, влияющих на стойкость конструкций против коррозии и обрастания.



Тщательно должны отрабатываться технология нанесения покрытий и режим защиты при совместном применении необрастающих антикоррозионных покрытий и электрохимических методов защиты.

Подготовка поверхностей, защищаемых покрытиями и электрохимически, должна быть особенно хорошей. Здесь важен вид покрытия, способ его нанесения и качество адгезии. В случае отслоения покрытия, при его повреждении возможно возникновение интенсивной местной коррозии с образованием активных катодных участков. Необходимо помнить, что необрастающее покрытие наносится поверх антикоррозионного.

Как известно, действие электрохимических методов защиты основано на эффекте катодной поляризации — отрицательном отклонении электрического потенциала от стационарного при наложении постоянного электрического поля между катодом (защищаемая конструкция) и анодом в электролите. При этом отрицательный полюс генератора постоянного тока соединяется с защищаемым металлом, а положительный — с анодами, изолированными от металла и установленными на внешней его поверхности или вне ее. Стационарный потенциал корродирующей стали в морской воде составляет примерно 0,35 В (по водородной шкале). При возрастании катодной поляризации скорость коррозии стали уменьшается, а при достижении потенциалом значения около 0,55 В коррозия практически прекращается. Катодная поляризация может также создаваться присоединением к защищаемому металлу специального протектора — металла с более сильным отрицательным электродным потенциалом, который быстрее разрушается в морской воде. Как правило, для протекторов используются алюминиевые сплавы. Первый вид защиты называется катодным, второй — протекторным.

При электрохимической защите отмечается повышение щелочности воды у катодов. Это заставляет внимательно относиться к выбору типа покрытия. Достаточно щелочестойкими являются покрытия на основе поливиниловых, эпоксидных, эпоксидно-пексовых, полиуретановых и некоторых других смол, а также на основе этинолевого лака. При катодной поляризации стали (до 0,55 В) эти лакокрасочные покрытия не подвергаются разрушению. При более низких значениях поляризации возможно разрушение лакокрасочного покрытия. В этом отношении одним из наиболее долговечных следует считать покрытие на основе эпоксидной смолы. Высокой стойкостью обладает применяемое в последнее время покрытие с катодным слоем из цинковой пыли на основе этилсиликатов. Однако его обязательно следует наносить сплошным слоем, без пропусков.

Чтобы уменьшить возможность разрушения покрытия, в последнее время прибегают к снижению нормативного значения защитного потенциала примерно до 0,40 В. При такой поля-

ризации подавляется склонность стали к язвенной коррозии, а скорость равномерной коррозии остается небольшой (0,06—0,10 мм/год), что допустимо [13]. В этом случае неравномерность распределения потенциала по защищаемой поверхности будет сравнительно невелика, что и обеспечит эффективную защиту металла от коррозии без повреждения лакокрасочных покрытий.

## Глава 3

---

### ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

#### 3.1. Добыча нефти и газа

В настоящее время наиболее бурно развиваются те отрасли морской технологии, которые связаны с освоением морских месторождений нефти и газа. Если в середине 60-х годов из морских месторождений было получено лишь 3 % мировой добычи нефти, то в настоящее время эта величина составляет примерно 30 %, а к 2000 г., приблизится к 50 %.

Ученые и инженеры ведущих промышленных стран в кратчайшие сроки разработали большое число конструкций специализированных буровых установок различных типов, отработали различные варианты проходки морских скважин, решили вопросы обустройства и освоения разведанных месторождений, наладили промышленное проектирование и строительство морской буровой и промысловой техники, обеспечили обслуживание морских нефтепромыслов.

Чрезвычайное обилие проблем, решаемых при организации морской разведки и добычи нефти и газа, разнообразие применяемых методов и типов технических средств не позволяют в объеме одного параграфа подробно рассмотреть состояние работ в этой области. Да это и не нужно, поскольку различные аспекты технологии морской добычи нефти и типы морских буровых и эксплуатационных установок подробно обсуждены и описаны в ряде специальных работ [4, 19, 22, 51, 55].

Здесь же мы коснемся проблем, связанных с освоением богатейших арктических месторождений нефти и газа. Учитывая высокую перспективность советского арктического шельфа и естественный интерес отечественных специалистов к буровым работам в Арктике, рассмотрим основные особенности проведения морского нефтепоискового бурения на примере континентального шельфа Канады, где к настоящему времени накоплен значительный опыт разведки нефти, начатой различными фирмами еще в 1966 г.

При планировании и организации разведочных работ в Арктике основополагающим фактором являются чрезвычайно

суровые природные условия. Зимой здесь обычно температура —35—40 °С (временами она понижается до —55 °С), летом температура не превышает +10 °С. Вода имеет практически постоянную температуру —2 °С и очень высокую соленость, за исключением заливов, куда впадают крупные реки. Другой важнейший фактор — сплошное ледовое покрытие толщиной 1,65—1,8 м с ноября по июнь. Гудзонов залив свободен от льда только 2,5—3 месяца в году, а Лабрадорский шельф — не более четырех месяцев. Характерной особенностью летних сезонов являются плавающие льды и дрейфующие со скоростью 2 км/ч айсберги (количество последних достигает 360 в год). Они представляют серьезную опасность для разведочной техники, поскольку вероятность их столкновения со стоящим на месте буровым судном достигает, например, в июне 35 %. Особенно опасны айсберги в частые туманы. К этому следует добавить, что ветровые и волновые условия канадских континентальных вод сходны с условиями Северного моря, поэтому волны высотой 12—15 м и ветры со скоростью 110 км/ч можно ожидать на любом участке шельфа в течение всего сезона бурения.

Из сказанного видно, какие жесткие требования должны предъявляться к техническим средствам, используемым при проведении разведочных работ в Арктике. С одной стороны — это высокая степень автономности и способность нести большие запасы материалов и вспомогательного оборудования, с другой — обеспечение эффективного и безопасного ведения работ в условиях сильных штормов, туманов и дрейфующих айсбергов летом и мощных ледовых полей зимой.

Частичное решение перечисленных выше проблем было найдено в создании искусственных намывных островов, строительство которых, как правило, велось в летнее время. Однако их целесообразно создавать на мелководье, где глубина моря не превышает 10 м, причем высота грунта над уровнем воды не должна быть более 4,5 м. Чтобы обеспечить одинаковую нагрузку при любом направлении движения льдов, все острова делают круглыми в плане. В зависимости от применяемых материалов и способа укрепления береговых откосов различают три основных типа островов. В первую очередь это песчано-гравийные острова с естественными уклонами (1:5) берегов. Примером может служить построенный в летние сезоны 1972—1973 гг. остров «Иммер-КВ-44». Однако острова с неукрепленными берегами подвержены интенсивному разрушению. Так, у данного острова на месте укладки осталось лишь 95 000 м<sup>3</sup> песчано-гравийной смеси из общего объема 300 000 м<sup>3</sup> уложенного материала. Второй тип представляют острова с откосами (уклон 1:3), укрепленными железобетонными блоками. Острова третьего типа создаются путем укладки по периметру острова мешков с песком и заполнения его центральной части

илом, уложенным на гравийную подушку. В 1974—1975 гг. было построено четыре таких острова размером  $75 \times 115$  м и высотой над уровнем моря 3 м. Стоимость сооружения одного острова 2,5—3 млн. дол. [51].

На более глубоких участках в арктических морях эксплуатируются стационарные металлические платформы высокой прочности, среди которых выделяются платформы со сложной многоколонной системой опоры о дно и одноопорные платформы — моноподы. Последние считаются перспективными, так как обеспечивают более безопасные условия эксплуатации за счет лучшего взаимодействия цилиндрической колонны с движущимся ледяным полем, которое благодаря небольшой площади контакта раскалывается и обходит платформу, не вызывая торошения льда. Последнее очень важно, так как высота торосов достигает 30 м, что представляет чрезвычайно серьезную опасность для сооружения (торошение возникает в тех случаях, когда значение отношения ширины сооружения к толщине льда превышает 15).

Примером перспективной конструкции типа «монопод» может служить установка, разработанная учеными и инженерами фирмы «Империал Ойл» (рис. 3.1). Она предназначена для работы на глубинах до 12 м и представляет собой трехпалубную рабочую платформу размером  $24,4 \times 48,8$  м, где размещается буровое и вспомогательное оборудование, обеспечивающее бурение скважин глубиной до 6 км. Платформа монтируется на колонне диаметром 9,15 м и высотой 24,4 м, которая опирается на основание диаметром 96,7 м и высотой 7 м, установленное на морском дне. Масса платформы 15 тыс. т. В район работ ее транспортируют на плаву и устанавливают в специальный котлован. Погружение и всплытие платформы осуществляется за 12 ч, а на все операции по переводу ее из рабочего положения в транспортное требуется трое суток. Основание защищено от ударов льдин во время транспортировки бетонным кольцом толщиной 1,5 м, служащим также постоянным балластом при установке платформы на дно.

Помимо цилиндрических колонн возможно использование конических конструкций, способствующих вползанию

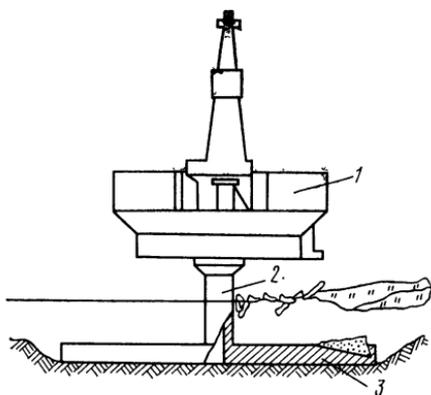


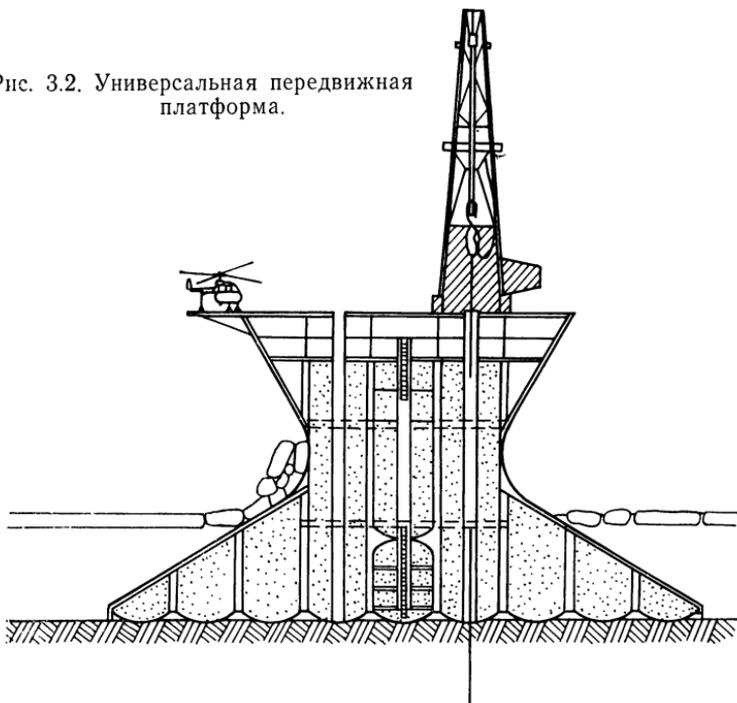
Рис. 3.1. Общий вид платформы типа «Монопод».

1 — рабочая платформа; 2 — колонка; 3 — основание.

движущегося льда по их наклонной поверхности и его разрушению. Расчеты показывают, что нагрузка на конус диаметром 23 м (на уровне воды) не будет превышать 32—43 МН. Это в три раза меньше нагрузок, испытываемых в аналогичных условиях цилиндрической колонной диаметром 9 м и равных 130 МН.

Перспективный проект универсальной передвижной платформы этого типа для бурения 32 скважин при глубине моря

Рис. 3.2. Универсальная передвижная платформа.



до 22 м разработан учеными фирмы «Термо дайнамикс». Конструкция (рис. 3.2) выполнена в виде двух усеченных конусов, повернутых вершинами друг к другу. Центральная цилиндрическая часть платформы и каркас нижнего конуса образованы системой концентрически расположенных стальных труб диаметром 12 м. Когда платформа устанавливается в точке работы, полости этих труб для придания несущей конструкции большей прочности и устойчивости заполняются льдом, который получают замораживанием морской воды. Ее нагнетают в камеры острова с помощью четырех вертикальных многоступенчатых насосов с подачей по 34 м<sup>3</sup>/мин, установленных в центральной трубе. В случае перемещения платформы на другую точку работы лед оттаивают нагревательной системой, обеспечивающей полное размораживание за две недели. Малая

осадка платформы в плавучем положении (3 м) позволяет буксировать ее четырьмя буксирами мощностью по 5200 кВт, вполне обеспечивающих движение со скоростью 7,5 км/ч при ветре до 16 м/с. Стоимость платформы не превышает 25—29 млн. дол., т. е. практически равна расходам на сооружение современных полупогружных платформ.

Гораздо более сложную проблему представляет ведение буровых работ в глубоководных районах моря. Вместе с тем именно в этих зонах расположены наиболее перспективные в геологическом отношении структуры, и стремление к освоению таких зон в значительной степени определяет содержание программ, осуществляемых нефтеразведчиками в канадской Арктике.

Первая попытка бурения в этих районах с помощью обычного заякориваемого бурового судна была предпринята в 1971 г. и оказалась неудачной. В 1973 г. французская нефтяная компания совместно со своим канадским филиалом сделала успешную попытку бурения разведочных скважин между полуостровом Лабрадор и Гренландией при глубине моря 183 м. Было использовано судно «Пеликан», снабженное системой динамического позиционирования над точкой работ.

Судно длиной 149 м и водоизмещением 15,5 тыс. т было построено в 1972 г. голландской фирмой «ИНС» специально для работ в сложных условиях Северного моря. Оно способно вести бурение при глубинах моря до 300 м, силе ветра до 100 м/ч и амплитуде бортовой качки 10°. Судно снабжено двумя гребными винтами регулируемого шага и пятью подруливающими шахтными установками, приводимыми в действие дизельными двигателями мощностью по 2500 кВт (рис. 3.3). В центральной части судна расположена рабочая шахта размером 7×8,25 м, над которой на рабочей площадке установлена пирамидальная буровая вышка высотой 44,8 м с гидронеприводным компенсатором вертикальных колебаний модели «Уникод» (ход 4,75 м). На площадке, кроме того, размещены установка для приготовления бурового раствора и цементная станция, а также буровая лебедка мощностью 600 кВт и пульт управления работой установки. По обеим сторонам вышки помещаются стеллажи для хранения обсадных и бурильных труб, подаваемых к рабочему месту при помощи двух кранов грузоподъемностью 25 и 40 т и специального механизма транспортировки секций бурильной колонны. Приготовленный буровой раствор хранится в трех цистернах общей вместимостью 143 м<sup>3</sup>, а его подача осуществляется двумя поршневыми насосами.

Для выполнения водолазных работ у устья скважины на судне имеется водолазный колокол фирмы «КОМЕКС» на шесть человек и декомпрессионная камера. Колокол опускается через шахту размером 3,05×3,8 м.

Система управления и контроля за положением судна относительно точки бурения включает две дублирующие друг друга системы: тросовый инклинометр фирмы «Геомеханик» и акустическую систему наведения фирмы «Алкател». Точность обоих методов такова, что позволяет гарантировать удержание

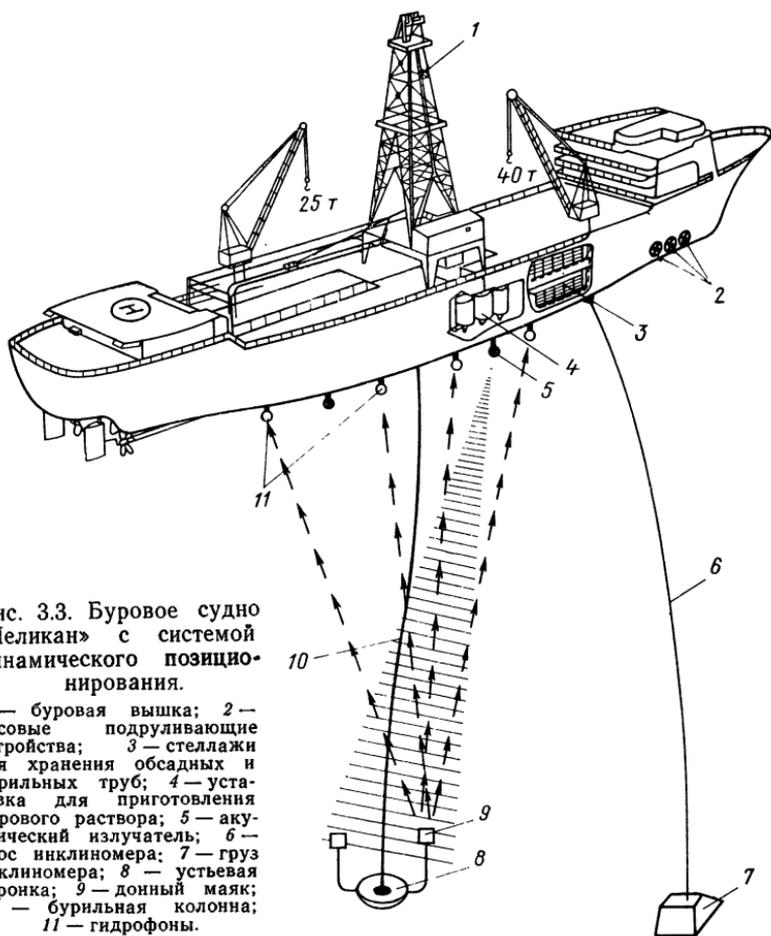


Рис. 3.3. Буровое судно «Пеликан» с системой динамического позиционирования.

1 — буровая вышка; 2 — носовые подруливающие устройства; 3 — стеллажи для хранения обсадных и бурильных труб; 4 — установка для приготовления бурового раствора; 5 — акустический излучатель; 6 — трос инклиномера; 7 — груз инклиномера; 8 — устьевая воронка; 9 — донный маяк; 10 — бурильная колонна; 11 — гидрофоны.

судна в пределах круга диаметром, равным 1 % глубины воды в точке работ. Расчет смещений и команд на подруливающие движители осуществляется цифровой вычислительной машиной марки «Томсон ЦСФ», установленной в рубке судна [22].

Результаты опытной эксплуатации судна «Пеликан» в целом оказались вполне успешными, однако компания, учтя специфические условия арктического бассейна, заменила «Пеликан» однотипным судном «Хэвдрилл», которое в дальнейшем было частично переоборудовано путем установки надделок

в подводной части и дополнительных подкреплений корпуса. На судне, получившем после переоборудования название «Эксплорер III», были также смонтированы два отопительных котла большой мощности и разветвленная система паропроводов для борьбы с обледенением корпуса, надстроек и бурового оборудования. Во избежание столкновения с айсбергами на судне были установлены два радара, которые, работая параллельно в диапазоне сантиметровых волн, позволяли определять наличие и размеры айсбергов в радиусе 46 км. Антенны радаров для предупреждения обледенения были снабжены защитным каучуковым покровом, внутрь которого нагнетался сухой воздух. При длине буровой колонны 3500 м усовершенствованная автоматизированная система обеспечения спуско-подъемных операций (СПО) позволяет кораблю покинуть место работы за 2 ч 40 мин. Кроме того, подводный устьевой превентер оборудован срезным механизмом, который в случае внезапной опасности обрезает колонну, после чего судно может начать движение в течение одной минуты.

В период 1973—1974 гг. судном «Эксплорер III» открыто два газоконденсатных месторождения, причем в процессе эксплуатации судно выдержало шторм в 11 баллов, а при 10-балльном шторме не покинуло точки бурения. Серьезную опасность представляли дрейфующие айсберги: за июль—август 1974 г. в радиусе 20 км от судна насчитали 233 айсберга.

Несмотря на успех работы судна «Эксплорер III», проблема проведения нефтеразведочных работ на глубоководных участках арктических морей далека от разрешения. Так, судну пришлось бросить три скважины в опасной ситуации без установки цементных пробок в стволах. Повторный ввод инструмента в скважины был осуществлен лишь в следующий буровой сезон через 10 месяцев, в течение которых пластовое давление сдерживалось лишь устьевыми превентерами и создавалась угроза подводного выброса нефти в условиях, когда из-за ледового покрова проведение аварийных работ было бы невозможно. Учитывая опасность подобного загрязнения среды, канадское правительство планировало запретить после 1979 г. проведение бурения в море Бофорта, если компании не обеспечат окончания работ на скважинах за 30 дней до конца сезона, т. е. до 25 сентября. Поскольку буровой сезон начинается в этих местах 1 июля, столь сжатые сроки не позволяют обеспечить проведение широких разведочных работ. По мнению экспертов, для продления срока работ потребуется строительство ряда мощных ледаколов, ввод которых в строй возможен не ранее 1982—1985 гг.

Подобная ситуация заставляет конструкторов разрабатывать новые образцы морских буровых плавсредств, специально приспособленных к ведению буровых работ в условиях мощных ледяных полей. При этом основное внимание направляется на

оснащение плавсредств системами разрушения ледового покрова вблизи корпуса. В зависимости от способа действия эти системы разделяются на пассивные и активные.

Типичным примером использования более простого и экономичного пассивного способа является проект несамоходной платформы фирмы «Дженерал дайнамикс». Здесь разрушение окружающего платформу льда и выталкивание ее из воды про-

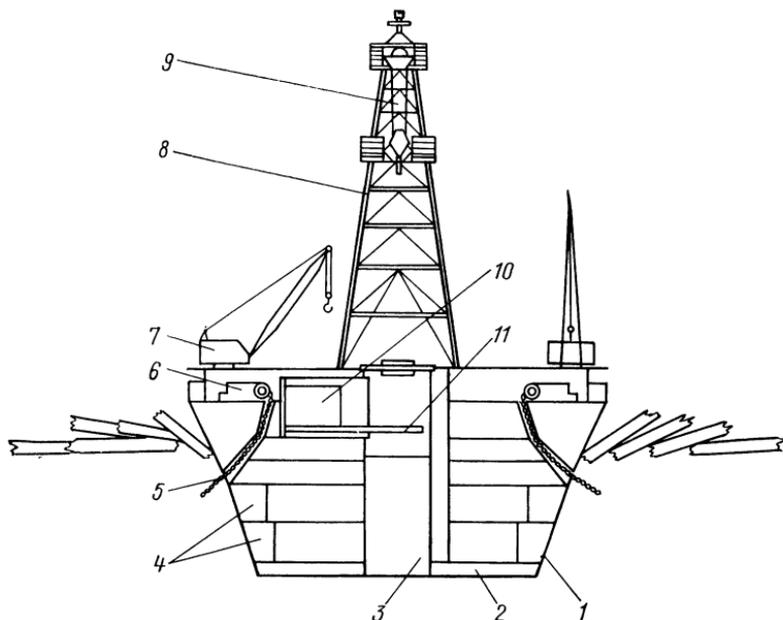


Рис. 3.4. Несамоходная платформа для бурения в Арктике.

1 — конический корпус; 2 — топливные цистерны; 3 — рабочая шахта; 4 — цистерны технической воды; 5 — якорные цепи; 6 — якорные лебедки; 7 — подъемный кран; 8 — буровая вышка; 9 — компенсатор вертикальных перемещений; 10 — устьевой превентер; 11 — рельсы.

изводится за счет сил веса платформы и сил натяжения якорных цепей, выведенных из корпуса ниже ледового покрова. С этой целью корпус платформы выполнен в виде двух усеченных конусов и снабжен центральной рабочей шахтой диаметром 7,6 м, которая служит для спуска водоотделяющей колонны и гидравлически управляемого превентера и позволяет вести бурение при кренах корпуса до  $15^\circ$  (рис. 3.4). Над шахтой установлена вышка с компенсатором вертикальных перемещений и роторная буровая установка. На палубе в специальных надстройках размещены восемь якорных брашпилей с якорными цепями массой 13,6 т и длиной 850 м каждая. На второй палубе находятся буровые насосы, смесительные емкости и це-

ментировочное оборудование. Третья палуба занята жилыми помещениями на 40 человек, четвертая — складами, пятая — машинным отделением, установкой для очистки сточных вод и двумя маневрирующими двигателями мощностью по 260 кВт для маневрирования над точкой бурения. Общее водоизмещение платформ 10 000 т при максимальном диаметре корпуса 45,7 м и высоте 16,7 м. Осадка корпуса составляет 12,5 м, а уклон борта по ватерлинии  $57^\circ$ , что при отсутствии ветра обеспечивает разрушение ледового покрова толщиной до 1,4 м. Как предполагают, с помощью такой установки можно будет выполнять буровые работы в течение 240 дней в году, а при использовании вспомогательного ледокола — в течение всего года. Проектом предусмотрена возможность отхода с точки работ в течение пяти минут в случае опасной ситуации, тогда как в обычное время для снятия платформы после завершения бурения требуется 16 ч [70].

Установки активного типа отличаются большей конструктивной сложностью, высокой стоимостью и повышенной энергоемкостью, но зато они обеспечивают возможность проведения работ в гораздо более тяжелых природных условиях. Идеи, заложенные в проекты подобных установок, чрезвычайно разнообразны и включают, например, использование нагревательных систем большой мощности (фирма «Арктик энжиниринг энд констракшн») или резание льда фрезами, установленными на колонне, которая соединяет погружные понтоны с надводной рабочей площадкой (фирма «SEDCO»).

В настоящее время наиболее близка к реализации идея колки ледяного поля за счет килевой качки корпуса, примененная в буровом судне, разработанном фирмой «Глобал марин» [51]. В носовой и кормовой частях судна установлены две пары цистерн, соединенных между собой системой трубопроводов и клапанов. Попеременным закачиванием воды в цистерны и ее удалением (с помощью двух компрессоров низкого давления мощностью 2600 кВт каждый) осуществляется продольное раскачивание судна с амплитудой 1,9 м, что при длине корпуса 125 м и водоизмещении 13 655 т создает момент, равный 150 МН·м. Такой момент достаточен для разрушения льда толщиной до 2,5 м. Судно оборудовано буровой вышкой высотой 48 м и грузоподъемностью 604 т, она рассчитана на статическую нагрузку, возникающую при качке с углом крена  $45^\circ$  и периодом 10 с. Имеется система компенсации вертикальных перемещений судна с ходом 6,1 м. Все рабочие площадки изолированы от внешней среды и снабжены системами надува горячего воздуха. Для удержания судна над точкой работ применена якорная система из восьми якорей массой 13,5 т каждый. Трехсотметровые цепи якорей выводятся через шлюзы, расположенные под нижней кромкой ледяного поля. Развозка якорей производится с помощью двух вспомогательных

ледоколов, а удержание судна над устьем обеспечивается регулированием длины и натяжения якорных цепей, которое осуществляется лебедками по сигналам акустических буюв, установленных на устьевом оборудовании. Сигналы принимают гидрофоны, размещенные на днище судна. Вспомогательные ледоколы помимо разводки якорей будут доставлять материалы с береговой базы снабжения, обустройство которой планируется провести в наиболее близкой от района работ точке берега примерно за год до начала бурения.

Все рассмотренные методы организации нефтеразведочных буровых работ на арктических акваториях основаны на мероприятиях по борьбе с ледяным покровом и его подвижками. Сложность конструкции применяемых при этом технических средств и высокий уровень эксплуатационных расходов заставляют искать новые варианты размещения оборудования в условиях, когда рост и движение ледовых полей оказывают на него минимальное воздействие.

В частности, американский консорциум «Панарктик ойл» с 1971 г. успешно внедряет бурение скважин с искусственных ледяных площадок, созданных намораживанием добавочных слоев льда на заданных участках ледового поля. Первым результатом этих опытных работ была проходка в 1974 г. скважины глубиной 938 м на участке моря глубиной 128 м. Операции по подготовке площадки включали проходку во льду нескольких скважин, из которых с помощью насосов общей подачей  $151 \text{ м}^3/\text{ч}$  осуществлялась циклическая заливка морской водой круговой площадки, предварительно подготовленной с помощью дорожно-строительной техники. Каждый очередной слой льда намораживался после того, как температура предыдущего понижалась до  $-5^\circ\text{C}$ . При температуре воздуха  $-35^\circ\text{C}$  удавалось проводить в сутки два цикла намораживания, увеличивая толщину льда на 64—89 мм.

За два месяца первоначальная толщина льдины, равная 600 мм, была доведена до 3,6 м, что позволило принять на нее транспортные самолеты «Геркулес» массой 75 т и смонтировать буровое оборудование общей массой 500 т, которое включало буровую установку «Кардвелл модел А-50» с вышкой высотой 29,5 м и трехцилиндровым грязевым насосом «Ойлвелл РТ-350». Скважины бурились трубами диаметром 89 мм, подводное устье соединялось с рабочей площадкой водоотделяющей колонной диаметром 253 мм, допускавшей смещение буровой установки относительно подводного устья в пределах 5 % глубины моря.

Важнейшим элементом установки было теплоизолирующее покрытие, благодаря которому температура льда под буровой установкой поддерживалась в пределах  $-10^\circ\text{C}$ . Скважина была пройдена за 42 дня. За этот период горизонтальное смещение льда составило лишь 0,6 м, а вертикальное — 0,5 м.



которую при помощи транспортной капсулы в подводную станцию доставляются необходимые материалы, а также производится смена рабочего персонала. В надводной базе размещаются воздухозаборники, от них по шлангу воздух поступает в жилые помещения станции. Отдельный шланг служит для отвода отработанных газов.

Существуют и другие варианты проектов дистанционно управляемых установок.

Необходимо отметить, что во всех нефтедобывающих странах продолжается непрерывный процесс совершенствования используемых технических средств и методов работы в море. Вместе с тем разрабатываются принципиально новые типы оборудования, предназначенные как для уже освоенных, так и для вновь разведанных районов.

### **3.2. Разработка прибрежных месторождений твердых ископаемых**

По сравнению с объемом добычи морской нефти и газа объем добычи твердых морских полезных ископаемых менее значителен и в среднем составляет всего несколько процентов мировой добычи на суше. Однако для различных видов сырья эта величина колеблется в широких пределах, что объясняется, в частности, степенью доступности подводного сырья (подводных залежей) для разработки. Так, продукция морских россыпей уже сейчас составляет около 30 % добычи из «сухопутных» россыпей. Истощение «сухопутных» месторождений вызвало в последние годы повышенный интерес к добыче морских полезных ископаемых и привело к совершенствованию применяемых для этой цели технических средств.

Следует отметить, что помимо истощения сухопутных месторождений развитие морского горного дела стимулируется в некоторых странах общим недостатком сырьевых ресурсов. Примером тому может служить Япония, где ввиду острого дефицита железорудных ресурсов ведется интенсивная разведка и добыча титаномагнетитовых железистых песков на шельфовых месторождениях. Причем объем добычи стремительно растет: с 30 тыс. т в 1970 г. до 20 млн. т, которые намечено получить в 1982 г.

На несколько особом положении стоит добыча драгоценных металлов и алмазов, потребность в которых также постоянно растет. Например, в США запасы золота на суше (до 2,5 тыс. т) по прогнозам специалистов будут выработаны к 1995 г., поэтому в настоящее время ведутся интенсивные разведочные работы на континентальном шельфе, где уже открыты месторождения с общими запасами 1,5 тыс. т. Из морских россыпей в заливе Гуд Ньюз на побережье Беренгова моря США добывают 90 % всей производимой в стране платины. За время экс-

плуатации месторождения на нем было добыто 200 т сырой платины, а ежегодная добыча в настоящее время доведена до 50 кг в год.

Помимо перечисленных полезных ископаемых большое значение в мировом производстве имеет подводная добыча тяжелых минералов, в первую очередь рутила и циркона. Их удельный вес в мировом производстве титана и циркония достиг соответственно 90 и 75 % (в основном за счет разработки прибрежных морских россыпей Австралии).

Однако главное место в прибрежных разработках в настоящее время все же принадлежит подводной добыче строительных материалов, составляющих примерно половину всего объема добычи твердых полезных ископаемых.

По мнению специалистов, в ближайшие годы подобное положение существенным образом изменится благодаря интенсивному росту потребления сырья и связанному с ним переходу на более богатые и рентабельные подводные месторождения, в которых среднее содержание полезных компонентов, как правило, в несколько раз превышает аналогичные показатели «сухопутных» месторождений. Создание эффективных технических средств подводной добычи позволило уменьшить расходы на получение готовой продукции. Так, средняя стоимость 1 т оловянного концентрата, извлекаемого из морских месторождений, примерно в полтора раза меньше стоимости 1 т «сухопутного» концентрата.

В связи с этим государственные организации развитых капиталистических стран приступили к систематическим работам по картированию шельфовых зон. Например, Служба геологических съемок США проводит долгосрочную программу по геологическому картированию дна акваторий у своего побережья в масштабах 1 : 1000 000, 1 : 250 000 и 1 : 125 000 с последующей передачей материалов промышленным корпорациям для изучения морских ресурсов. Аналогичную программу, рассчитанную на 1974—1983 гг., осуществляет Географический институт Японии. Он планирует выполнить картирование (с помощью сейсмопрофилирования, бурения и космического фотографирования) 55 тыс. км<sup>2</sup> наиболее перспективных в геологическом отношении районов шельфа Японии, общая площадь которого равна 280 тыс. км<sup>2</sup>.

Несмотря на совершенство и высокую эффективность геофизических методов основным способом разведки подводных месторождений полезных ископаемых продолжает оставаться бурение разведочных скважин. Как правило, для этих целей используется сухопутное буровое оборудование, тем или иным способом приспособленное для работы в морских условиях. До недавнего времени наибольшее распространение имели простейшие несамоходные понтоны, разработанные в индивидуальном порядке различными геологоразведочными организациями

применительно к конкретным условиям работ и оснащенные буровыми вышками, передвижными электростанциями и буровыми станками различных марок.

В общем случае цикл проходки подводной разведочной скважины с борта несамоходного понтона включает следующие операции. Понтон транспортируют в район работ и устанавливают на точку бурения путем развозки и постановки нескольких якорей. С понтона спускают направляющую колонну и забуривают в морское дно на некоторую глубину. Бурение ведется ударно-канатным способом с одновременной обсадкой скважины промежуточной колонной до заданной глубины, затем обсадную и направляющую колонны извлекают, а установку перебазировывают на новую точку.

В последние годы в практику морского бурения стали широко внедрять погружные управляемые колонковые пробоотборники. Незначительные габариты и масса этих установок позволяют эксплуатировать их с борта самоходных плавсредств малого водоизмещения, оборудованных грузоподъемными средствами для спуска на дно пробоотборника. В общем виде его конструкция представляет комбинацию грунтоноса, погружного рабочего узла и опорной рамы, связанных с судном рабочим тросом и гибкой линией для передачи энергии к рабочему узлу. Принцип работы пробоотборников и вид используемой энергии могут быть различными. Например, ударно-забивной пробоотборник МП-1 включает в качестве рабочего узла пневмоударник РП-111, сжатый воздух к которому поступает по шлангу от судового компрессора. Пробоотборник снабжен специальным грузом, обеспечивающим его автоматическое включение в работу при касании дна, и свободно подвешенной к грузу опорой с разводящимися лапами [63].

Бурение скважин с использованием погружных управляемых колонковых пробоотборников может проводиться без постановки плавсредства на якорь. Цикл бурения включает сборку пробоотборника на палубе, спуск его на дно, отбор пробы и подъем на поверхность с последующим извлечением керна. При этом затраты времени на проходку одной скважины, а также стоимость работ примерно в 3—4 раза меньше, чем при бурении с понтона. В настоящее время специалисты разных стран работают над совершенствованием конструкций управляемых пробоотборников. Они считают, что, используя рабочие узлы комбинированного действия и увеличивая глубину бурения, можно резко расширить области их применения.

Рациональная глубина бурения с помощью пробоотборников — 12—15 м, так как при дальнейшем увеличении высоты пробоотборников возникают сложности с их эксплуатацией. Поэтому для бурения скважин большей глубины по-прежнему продолжают использовать буровые станки, смонтированные на самоходных плавсредствах, что позволяет увеличить автоном-

ность и расширить районы использования таких плавсредств. Чтобы уменьшить зависимость буровых работ от погодных условий и состояния моря, буровые суда оснащают системами компенсации бортовой, килевой и вертикальной качки на волнении. Хотя по своим техническим характеристикам буровые суда сильно отличаются друг от друга, их объединяет тенденция к максимальной универсальности, основанная на использовании комплекса технических средств для картирования морского дна, поиска и разведки подводных месторождений.

В качестве примера можно рассмотреть оснащение одного из наиболее современных буровых судов «Берлинертор», построенного в 1975 г. для проведения морских инженерно-геологических исследований (рис. 3.6). Судовая буровая установка, предназначенная для бурения сква-



Рис. 3.6. Общий вид бурового судна «Берлинертор».

жин глубиной до 150 м при глубине моря до 200 м, включает вышку высотой 26 м и грузоподъемностью 50 т, станок «Шэфэр UB-200», обеспечивающий изменение крутящего момента от 15 000 до 3000 Н·м при 40—170 об/мин, лебедку грузоподъемностью 12,5 т, два буровых насоса и пневматический компенсатор вертикальной качки с ходом 4,75 м. На судне размещается 400 м бурильных труб. Бурение ведется ударно-забивным или вращательным способом. Помимо буровой установки на судне имеются два пробоотборника вибрационного и виброударного типов для опробования верхних слоев донных отложений на глубину до 40 м при глубине моря до 400 м. Поскольку с помощью пробоотборника нельзя получить ненарушенных образцов из слабоконсолидированных осадков, в комплекс технических средств входит подводная пенетрационная установка «PUP», позволяющая одновременно измерять *in situ*<sup>1</sup> лобовое сопротивление грунта, поверхностное и общее активное сопротивление и отношение поверхностного трения

<sup>1</sup> *In situ* (лат.) — в месте нахождения, на месте.

к лобовому при вдавлении специального конического зонда в осадки на глубину до 30 м. Пенетрометр может работать при глубинах моря до 200 м.

На судне установлена аппаратура для проведения батиметрической съемки, эхолотирования, сейсмоакустического профилирования, съемки донного рельефа с применением локатора бокового обзора, магнитометрии, а также подводная телевизионная установка, осуществляющая визуальный контроль за работой подводных систем. В судовой лаборатории можно определить плотность грунтов, их влажность, сопротивление сдвигу и сжатию.

Основными недостатками подобных установок являются высокий уровень затрат на их постройку и содержание, а также необходимость строительства дорогостоящих береговых баз, что, как правило, неприемлемо для геологоразведочных организаций, ведущих работы в прибрежной зоне. Поэтому в последние годы начинают все более широко использовать подводные буровые станки, которые включают монтажную платформу с системой ее ориентации на дне, буровой механизм с блоком управления, механизм выполнения спуско-подъемных операций и замены съемных керноприемников, а также приводы соответствующих узлов и систем. Станок доставляют на точку работ и опускают его на дно. Затем начинается собственно процесс бурения, состоящий из регламентированных повторяющихся циклов операций. Каждый из них включает проходку интервала скважины, отбор керна, извлечение пробы и ее размещение, подготовку станка к опробованию следующего интервала. Достигнув проектной глубины, извлекают из скважины бурильную колонну и размещают ее элементы на платформе станка, который затем переводится в транспортное положение и поднимается на судно. В результате практически полного устранения вспомогательных операций упрощается технология буровых работ и значительно снижаются затраты времени на бурение скважины. Кроме того, для обеспечения буровых работ можно использовать обычные суда малого водоизмещения и не удерживать их над точкой работ во время проходки скважины. Положительными факторами являются также меньшие потери времени из-за погодных условий и снижение трудоемкости буровых работ.

Зарубежные фирмы разработали большое число моделей буровых станков с узким целевым назначением. Наибольшее распространение получили полуавтоматические станки с дистанционным управлением, среди которых выделяются установки двух типов: с подачей керноприемников на суда и их кассетированием непосредственно на платформе станка. Последние ввиду ограниченной вместимости трубохранилища применяются только для бурения скважин небольшой глубины. Более широко применяются станки, снабженные специальными

транспортерами для подачи бурильных и керноприемных труб с судна и обратно. Однако такие установки требуют постоянного поддержания транспортной линии, т. е. фиксации судна

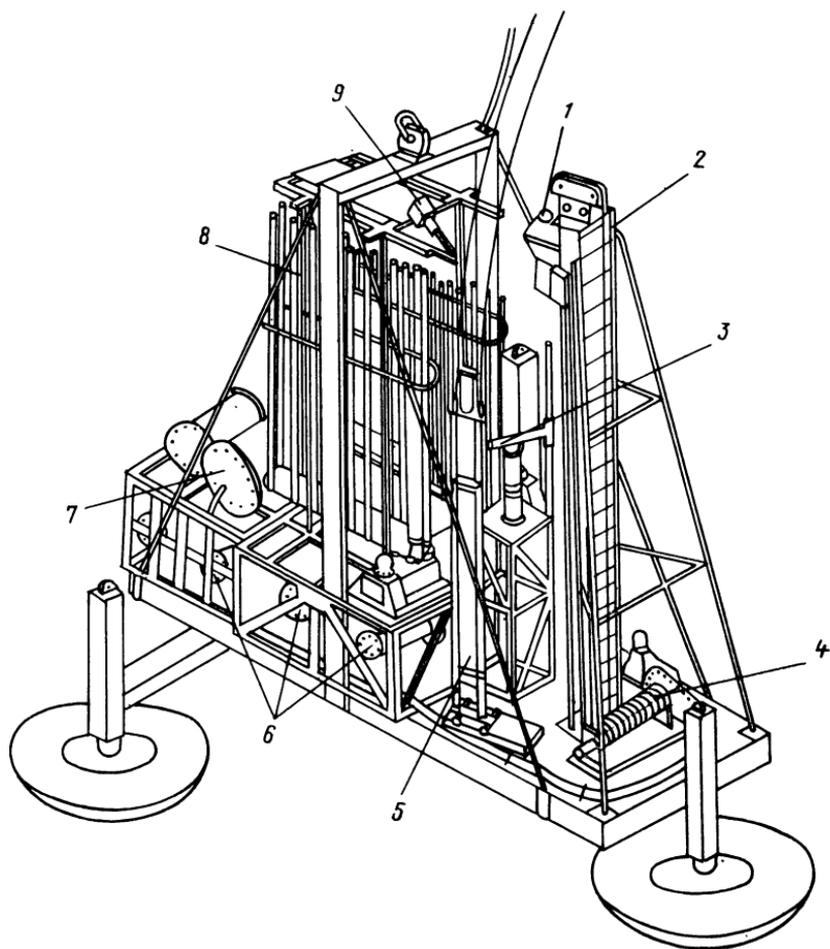


Рис. 3.7. Подводный буровой станок типа MAS-73.

1 — каретка вращателя; 2 — буровая вышка; 3 — механизм подачи труб; 4 — лебедка для подъема керноприемников; 5 — транспортер; 6 — контейнеры с механизмами привода; 7 — контейнеры с контрольной аппаратурой; 8 — трубоприемники; 9 — телекамера.

над точкой работ. Кроме того, у них большие потери времени на транспортировку труб (при больших глубинах моря затраты времени на транспортировку превышают время бурения). Поэтому в последнее время наметилась тенденция к созданию комбинированных подводных буровых станков с трубохранили-

шами и транспортером для подачи добавочных труб в случае бурения скважин большой глубины. К этому классу относятся, например, шведский станок «Мэрикор» и японский MAS-73 (рис. 3.7).

Все оборудование станка MAS-73 смонтировано на прямоугольной сварной платформе, снабженной тремя гидравлическими домкратами с шарнирно укрепленными опорными плитами, и включает две монтажные рамы, одна из которых является буровой вышкой, другая служит для размещения двух трубоприемников и контрольно-приводной аппаратуры. По внутренней грани вышки с помощью цепного механизма подачи перемещается каретка с гидроприводом, обеспечивающим вращение колонны со скоростью 5—120 об/мин при крутящем моменте до 3000 Н·м. Бурильные и керноприемные трубы перемещаются на ось бурения с помощью вращающегося захвата с выдвижным телескопическим податчиком. Этот же механизм подает заполненные керноприемные трубы в подъемную капсулу транспортера. Как и в большинстве современных подводных станков, в MAS-73 применен электрогидравлический привод. Погружной электродвигатель маслососа получает энергию с борта судна по специальному кабелю, служащему одновременно для передачи информации, телевизионного изображения с платформы станка на пульт управления и команд на приводы различных узлов.

Выбор способов разработки морских месторождений полезных ископаемых определяется как типом месторождения, так и природно-климатическими условиями участка работ, в частности его удаленностью от берега и глубиной моря. Например, россыпные месторождения вблизи берегов на глубинах до 5 м успешно разрабатываются канатно-скреперными установками, размещаемыми на берегу. Этот способ получил широкое распространение в ФРГ, США, ГДР и Японии, где создано большое число установок этого типа. Основной проблемой здесь является монтаж и перебазирование задней опоры, располагающейся в море. Один из вариантов ее разрешения — монтаж опоры на специальной тележке, передвигающейся по рельсам, уложенным на дне вдоль береговой линии. При этом обеспечивается непрерывная разработка подводного карьера. Береговые опоры в этом случае монтируются на салазках и перемещаются тяговыми лебедками или имеют собственный привод. Другая характерная особенность береговых опор — их большая высота, необходимая для того, чтобы уменьшить длину соприкосновения тягового троса с дном и сократить длину пути волочения ковша по дну при чрезвычайно большой общей длине хода ковша.

Технологию скрепирования можно усовершенствовать, применив колесные ковши, приводимые в движение собственными двигателями или бесконечным тросом лебедки, которая уста-

навливается на берег. Второй тип привода используется в канатно-скреперной установке (рис. 3.8), разработанной на базе самоходного экскаватора. Она включает стрелу большой длины с подпорной стойкой и высокоскоростной лебедкой, трос которой пропущен через систему блоков, и лебедку, смонтированную на колесном ковше (скрепере) и связанную с осью ведущих колес ковша при помощи редуктора. Протаскивание троса через барабан лебедки ковша против часовой стрелки застав-

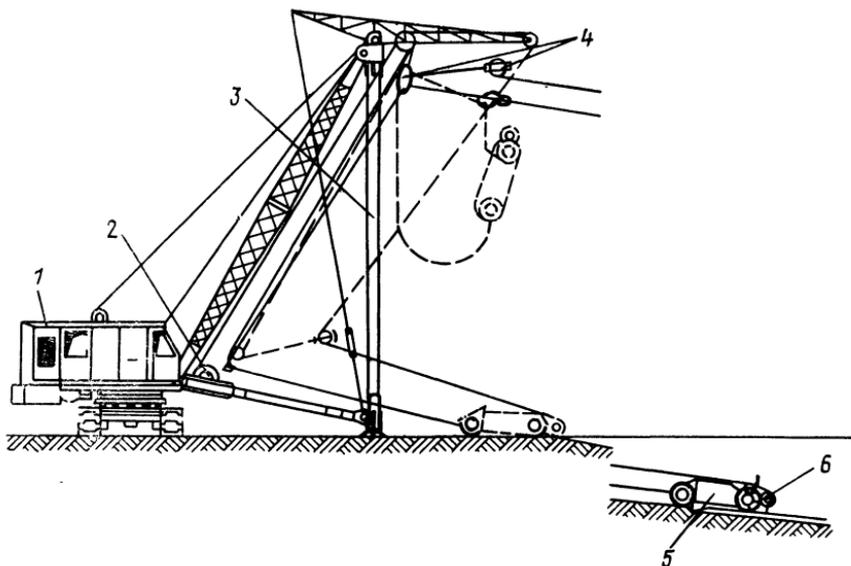


Рис. 3.8. Канатно-скреперная установка с колесным самоходным скрепером.

1 — экскаватор; 2 — лебедка; 3 — подпорная стойка; 4 — система блоков; 5 — скрепер; 6 — лебедка скрепера.

ляет ковш перемещаться в море, а при обратном движении — выходить на берег, где ковш при помощи вспомогательной системы роликов поднимается на стреле и опрокидывается.

Другой вариант разработки прибрежных россыпей, проводимой японскими компаниями, основан на использовании самоходных дистанционно управляемых бульдозеров. Одна из первых моделей, разработанная фирмой «Коматцу» в 1968 г., прошла успешные испытания на глубинах до 20 м. Производительность бульдозера, перемещавшего грунт на расстояние 10 м, была порядка 40 м<sup>3</sup>/ч (рис. 3.9). Последняя модель установки включает обеспечивающее судно-катамаран водоизмещением 210 т. В качестве главного двигателя используется дизель мощностью 270 кВт. Бульдозер работает от генератора переменного тока мощностью 300 кВт при напряжении 3300 В.

Электрoэнергия подается по кабель-тросу длиной 150 м, намотанному на барабан кормовой лебедки. Спуск рабочего механизма на дно осуществляется краном грузоподъемностью 40 т. Для точного позиционирования установки на дне применяется акустическая система. Подводные бульдозеры выпускаются также компанией «Хитачи констракшн мэшинэри».

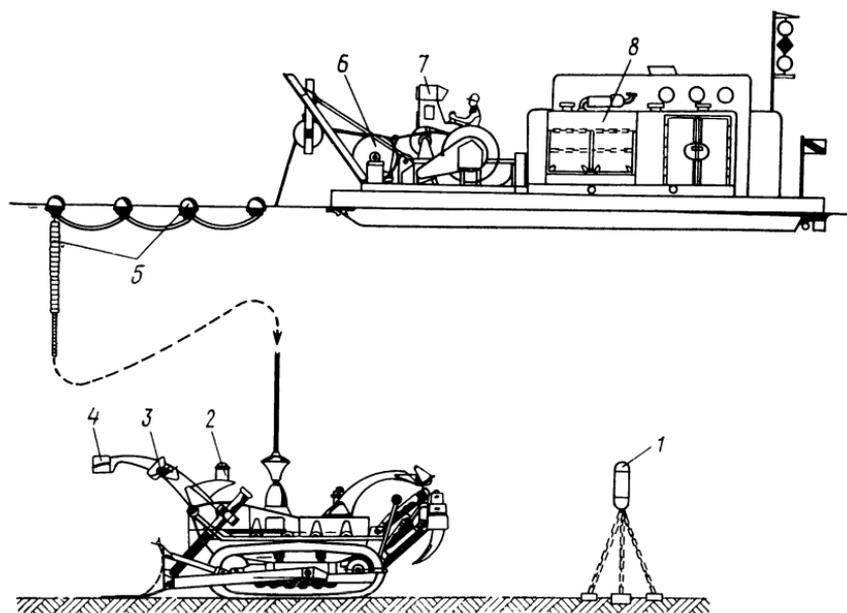


Рис. 3.9. Дистанционно управляемый подводный бульдозер.

1 — приемник; 2 — ультразвуковой излучатель; 3 — телекамера с прожектором; 4 — гидролокатор; 5 — поплавки; 6 — тросовая лебедка; 7 — пульт управления; 8 — генератор.

Современные подводные бульдозеры можно использовать на весьма значительных глубинах моря (до 60 м) в комплексе со специальными системами для подъема горной массы. Примером такой системы служит установка, разработанная и построенная в 1971 г. фирмой «Мицуи кайё кайхацу». Она представляет собой затопляемый в месте работ понтон длиной 107,5 м, шириной 32 м и высотой 21 м. Комплекс установленного на нем оборудования включает три крана с грейферными захватами, три погрузочных конвейера и два разгрузочных транспортера. Краны поднимают грунт на поверхность, конвейеры загружают его в трюмы, транспортеры перегружают добытую горную массу на грузовые суда. Производительность комплекса — 250 т/ч.

Однако в подавляющем большинстве случаев разработка подводных месторождений твердых полезных ископаемых, расположенных в рыхлых грунтах, производится с помощью драг. Среди них принято выделять установки черпающего типа (грейферные, одночерпаковые и многочерпаковые) и всасывающие установки (с грунтовыми насосами, эжекторные и эрлифтные).

Выбор типа драги зависит как от глубины моря, так и от условий залегания и вида полезного ископаемого. Например, одноковшовые грейферы рационально использовать на месторождениях с мощной продуктивной толщей, так как одно из важнейших преимуществ снарядов этого типа — возможность проведения работ на больших глубинах моря и в условиях волнения. Их весьма эффективно использует, например, канадская компания «Грейт Кэнейдъен ойл сэндз», добывающая с помощью трех грейферных установок нефтеносные пески, залегающие слоем в 60 м на глубине 610 м. Годовая производительность трех установок достигает 300 тыс. т, что при среднем содержании нефти 17 % обеспечивает высокую рентабельность работ.

С другой стороны, при добыче такого полезного ископаемого, как алмазы, залегающие в галечниковых отложениях, расщелинах и изломах донных пород, могут успешно применяться маневренные эрлифтные установки. Они позволяют одновременно обогащать поднимаемый материал и сбрасывать отработанную породу непосредственно в месте добычи. Так, производительность добывающего судна «Дайманкус» водоизмещением 3812 т на глубине моря до 120 м составила 300 т/ч твердого материала. Работали три эрлифтные установки с диаметром всасывающего отверстия 406 мм и диаметром пульпопровода 460 мм. Пульпа поступала в обогатительную установку, последовательно проходя обезвоживающий сепаратор диаметром 2,1 м, классификатор, аккумулирующий бункер, смесительный конус и сепаратор с тяжелой средой, в котором легкий материал поднимался вверх и удалялся, а тяжелая фракция, включая алмазы, разгружалась на сортировочный стол.

Подводные песчаные и гравийные карьеры разрабатываются с помощью земснарядов, способных поднимать большое количество материала, не нуждающегося в обогащении, тогда как для добычи залегающих на дне руд, содержащих олово, железо, золото и т. д., как правило, необходимы земснаряды с режущей головкой или многоковшовые драги, обеспечивающие разрыхление продуктивного слоя, полное его отчерпывание на всю глубину до подстилающего слоя и обогащение добываемой горной массы.

Типы и конструкции многочерпаковых и землесосных снарядов подробно рассмотрены в ряде специальных работ [65]; поэтому мы остановимся лишь на особенностях их эксплуата-

ции в морских условиях, где они испытывают сложное воздействие волн, ветра, сильных течений, вертикальной, килевой и бортовой качки и рыскания, что отрицательно сказывается на

на работе рыхлительных и грунтозаборных механизмов. В связи с этим землесосы с гидрорыхлителем снабжаются всасывающими трубопроводами, включающими поворотные скользящие сальники и шарниры, со специальными системами их гибкой подвески, в которых постоянно поддерживается заданное натяжение при всех движениях судна (рис. 3.10, а).

Что касается многочерпаковых драг и земснарядов с механическими рыхлителями, то поддержание постоянного контакта рабочих органов с поверхностью грунта при заданном рабочем давлении представляет в условиях свободного движения судна гораздо более сложную задачу хотя бы потому, что рабочие головки рыхлителей и ковши обычно имеют тенденцию зарываться в грунт. Чтобы обеспечить их нормальную работу, используют плавсредства специальной конструкции, например полупогружные платформы, менее подверженные воздействию моря,

Рис. 3.10. Схема подвески рабочего оборудования драг при работе на волнении: а — землесос с гидрорыхлителем; б — многочерпаковая драга.

1 — грунтозаборник; 2 — поворотный сальник; 3 — универсальный шарнир; 4 — скользящий поворотный сальник; 5 — гибкая подвеска трубопровода; 6 — черпаковая рама; 7 — гидропневматические цилиндры; 8 — шарнирные стержни; 9 — поворотная ось; 10 — гидропневматический буфер.

или оборудуют плавсредства компенсаторами качки, а также создают гибкое соединение между корпусом плавсредства и жестким землеройным рабочим органом.

Примером последнего решения служит земснаряд, запатентованный голландской фирмой «ИНС» (рис. 3.10, б). Черпаковая рама драги соединяется с понтоном через ось, опирающуюся

юся на два шарнирных стержня и гидropневматические цилиндры таким образом, что понтон может перемещаться относительно оси. Последняя при этом перемещается вокруг копающего конца ковшовой рамы, который подвешивается к корпусу понтона с помощью гидropневматического буфера, регулирующего натяжение подвесных тросов и автоматически поддерживающего постоянное давление на грунт. Аналогичное автоматическое регулирование предусмотрено в гидropневматических цилиндрах. Такое устройство позволяет полностью компенсировать продольно-горизонтальную, вертикальную и килевую качку на волне высотой до 3 м [78].

Многочерпаковые установки широко применяются на глубине моря порядка 15—20 м, хотя известны установки, приспособленные для работы на глубинах до 50 м. В качестве примера можно привести индонезийскую государственную корпорацию «П. Н. Тимах», ведущую интенсивную добычу кассетерита в проливах между островами Суматрой и Банка с помощью 13 многочерпаковых драг. Крупнейшая из них «Банка-1», построенная в 1966 г. компанией «Саймонс — Лобнитц» (Шотландия), представляет собой прямоугольную несамостоятельную баржу длиной 91,5 м, шириной 24,4 м, высотой борта 4,9 м с осадкой 3 м. Она работает на глубине моря до 40 м, бесконечная цепь перемещает 142 черпака вместимостью по 0,5 м<sup>3</sup> со скоростью 6,7 м/мин. Суммарная мощность двигателей равна 2800 кВт, четыре дизельных двигателя мощностью по 450 кВт используются для привода черпаковой цепи. Стоимость драги 6,7 млн. дол. Годовая производительность составляет 2400 т оловянного концентрата, который содержит 50 % беспримесного олова.

Землесосные снаряды с рыхлителями различных типов работают в более глубоких водах. Например, канадская фирма «Сидбэк» использует их на разработке низкокачественной россыпи магнетитовых песков (месторождение Дьювэль) у северного побережья залива Святого Лаврентия. Годовая производительность снаряда длиной 91,44 м, шириной 29,26 м и высотой борта 5,48 м составляет 762 тыс. т первичного концентрата. Мощность фрезерного рыхлителя равняется 2240 кВт, а мощность привода 812-мм грунтозаборных насосов — 1500 кВт. Исходный материал по подъемному трубопроводу поступает на решетки для отделения крупных включений. Отсев идет в приемный бункер, а затем четыре центробежных насоса подают материал в ротационные распределители, каждый из которых питает 16 магнитных сепараторов. Полученный концентрат перекачивается на берег, где подвергается вторичному обогащению, а отходы сбрасываются в выработанный котлован.

Производительность землесосов можно повысить, расширив подводный забой с помощью специальных грунтозаборных установок, подающих горную массу к трубопроводу. В этом

случае кроме всего прочего удастся уменьшить влияние морского волнения на работу грунтоприемного устройства и драги. Так, японские инженеры разработали специальное устройство, снабженное механизмами для срезания и подгребления разрабатываемого грунта к всасывающему трубопроводу землесоса. Устройство представляет собой смонтированную на салазках раму с двумя балластными цистернами, на которой размещены герметичный машинный блок с электродвигателями и контрольно-аварийной аппаратурой, а также вращающийся шнековый нож диаметром 0,6 м и длиной 2,2 м. Спуск устройства на дно и его всплытие, а также изменение угла наклона шнека к забойу, т. е. регулировка его заглубления в грунт, осуществляется изменением плавучести цистерны. Исходным параметром для регулировки заглубления шнека и изменения скорости буксировки служит консистенция пульпы, контролируемая с помощью конситомера. Принцип работы прибора основан на определении массы участка пульпопровода с пульпой. Показания прибора передаются на панель управления. Испытания показали, что одновременная эксплуатация трех таких устройств позволяет обрабатывать забой шириной до 10 м с суммарной производительностью до 300 м<sup>3</sup>/ч при максимальной концентрации твердого вещества в пульпе до 52 % [73].

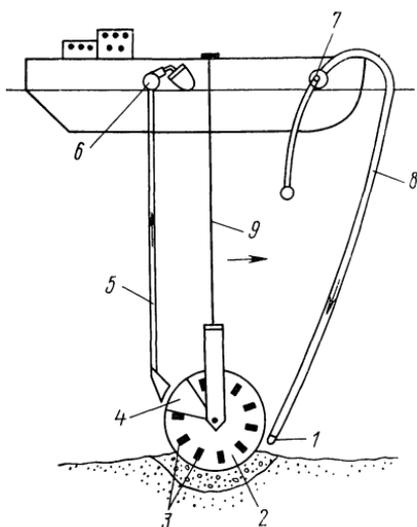


Рис. 3.11. Схема установки для подводной добычи титано-магнетитовых песков с придонным обогащением.

1 — гидромонитор; 2 — магнитный сепаратор; 3 — постоянные магниты; 4 — немагнитная зона; 5 — транспортный трубопровод; 6 — подъемный насос; 7 — насос гидромонитора; 8 — трубопровод гидромонитора; 9 — трос.

Дополнительное повышение производительности добычных установок и снижение эксплуатационных расходов может быть получено за счет внедрения придонного обогащения железосодержащих песков у заборника землесоса. На рис. 3.11 показана принципиальная схема экспериментальной установки этого типа, разработанная и испытанная японскими учеными на месторождении титаномагнетитовых песков с содержанием полезного ископаемого 5 %. Магнитный сепаратор выполнен в виде рамы с системой постоянных магнитов, установленных таким образом, что на вращающемся барабане сепаратора диаметром

0,6 м образуется секторная немагнитная зона. Барабан вращается электродвигателем, а сам сепаратор буксируется по дну со скоростью 1,5—3 м/с. На пути его движения верхний слой донного грунта разрушается гидромонитором, вода к которому подается по трубопроводу от судового насоса. Взвешенные в воде магнитные частички притягиваются к поверхности барабана и вращаются вместе с ним до момента входа в немагнитную зону, где они засасываются подъемным насосом в транспортный трубопровод и подаются в бункер судна. Опытная установка с напряженностью магнитного поля на поверхности барабана  $2,8 \cdot 10^4$  А/м обеспечивала 100 %-ное извлечение магнитной фракции разрабатывавшихся песков при средней производительности 10 т/ч.

Помимо разработки подводных россыпных месторождений в рыхлых отложениях морского дна, в настоящее время ведется интенсивная подводная добыча твердых полезных ископаемых из коренных месторождений, залегающих под морским дном. Среди них наибольшее значение имеют барит, железная и никелево-медная руда, сера, каменный уголь и известняк, добываемые на более чем 100 подводных рудниках в прибрежных водах Австралии, Греции, Ирландии, США, Финляндии, Великобритании, Чили и Японии. Схемы основных способов разработки подобных месторождений показаны на рис. 3.12.

Примером разработки подводных рудных месторождений с помощью взрыва может служить американский рудник «Кэстель айлэнд майн» на Аляске, где с 1969 г. ведется добыча барита из рудного тела (замещенный баритом известняк мощностью залегания 30 м), перекрытого толщей рыхлых отложений и слоем воды в 30—40 м. В настоящее время продукция рудника составляет 15 % общей добычи барита в стране.

Ведется также интенсивная разработка природной серы в донной толще Мексиканского залива. Учитывая очень высокое качество получаемого продукта (до 99,9 % серы), можно считать рентабельной добычу на расстоянии до 175 км от берега из пластов, залегающих на глубинах до 350 м под дном. Добыча ведется расплавлением серы по методу Фраша: в продуктивных пластах бурят скважины и опускают в них колонну из четырех концентрических труб, из которых наружная (обсадная) труба достигает кровли пласта, а вторая — его подошвы. В пространство между второй и третьей трубами в скважину под давлением 1,5 МПа подается перегретая вода при температуре не менее 160°, которая через специальную перфорацию проникает в трещины серосодержащей породы. При этом сера выплавляется, а подаваемый в скважину под давлением 7 МПа воздух вспенивает серонасыщенную жидкость, видимую эрлифтом на поверхность (рис. 3.12, б). Все рабочее оборудование рудника монтируется на свайных основаниях, соединенных с основной эксплуатационной платформой при

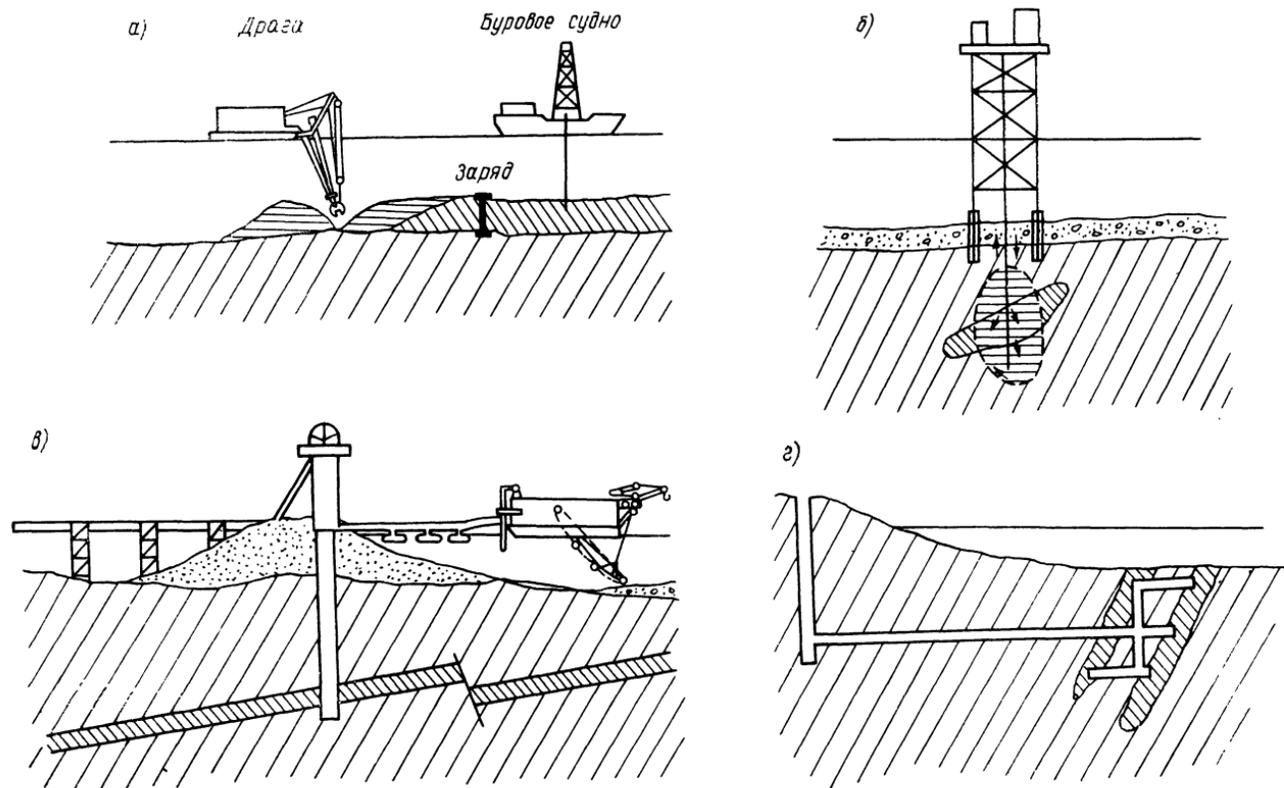


Рис. 3.12. Основные способы разработки подводных месторождений твердых ископаемых, расположенных в коренных породах: *а* — разрушение рудного тела взрывом с последующим отчерпыванием породы; *б* — бесскрышная добыча методом растворения с последующей откачкой раствора; *в* — с помощью шахт, подводимых с искусственных островов; *г* — выработками, проходимыми с берега.

помощи эстакад длиной до 2 км. Глубина моря в месте установки оснований не превышает 15 м.

Шахтный способ разработки подводных месторождений получил широкое распространение, в частности при подводной добыче каменного угля, на долю которой в Японии, например, приходится более 25 % всей продукции угольных шахт страны. Добыча ведется с помощью выработок, проходимых с берега (месторождение «Убе» на острове Хонсю), а также посредством создания искусственных (месторождение «Такасима») или использования естественных (месторождение «Мики») островов. Кроме Японии интенсивная добыча угля из подводных месторождений ведется в Великобритании и Канаде.

### 3.3. Разведка глубоководных месторождений

Проведенные за последнее десятилетие интенсивные океанографические и геологические исследования океанского ложа показали почти повсеместное присутствие отложений полезных ископаемых, годных к промышленному использованию. Однако в ближайшее время практическое значение могут иметь только два вида глубоководных месторождений — металлоносные илы и железомарганцевые конкреции.

Подготовка к разработке таких месторождений требует выполнения комплекса инженерно-технических изысканий (см. § 2.1), дополненных промышленной разведкой месторождения (определение его размеров, продуктивной толщи, физико-химических свойств отложений). На основе данных изысканий выбирается оптимальный способ добычи, проектируется соответствующая техника. Поскольку процесс разработки глубоководного месторождения — многолетнее предприятие, требующее значительных капиталовложений, ему обычно предшествует этап опытно-промышленной разработки, позволяющий на практике опробовать технику, уточнить детали технологии.

Подход к разработке металлоносных илов можно проиллюстрировать на примере месторождения, открытого в рифтовой зоне Красного моря в 1948 г. во время глубоководных гидрографических исследований, проводившихся шведским научно-исследовательским судном «Альбатрос». Месторождение представляет собой примерно 25-метровый слой жидких илов общим объемом около 50 млн. т. Среднее содержание железа в илах составляет 29 %, цинка — 3,4 % (максимальное 11 %), меди — 1,3 % (максимальное 7 %), серебра — 54 части, а золота 0,5 части на 1 млн. частей. Хотя глубина моря составляет примерно 2100 м, гелеобразный характер осадков позволяет обеспечить чрезвычайно простую разработку продуктивной толщи путем откачки илов на поверхность.

Учитывая незначительную мощность продуктивной толщи и ограниченную площадь месторождения, для разведки широко

применяли обычные океанографические поршневые грунтовые трубки разных моделей. Трубка включает сборную колонковую трубу (грунтосос) с режущим башмаком и затвором для удержания отобранной пробы. На верхнем конце трубки крепится

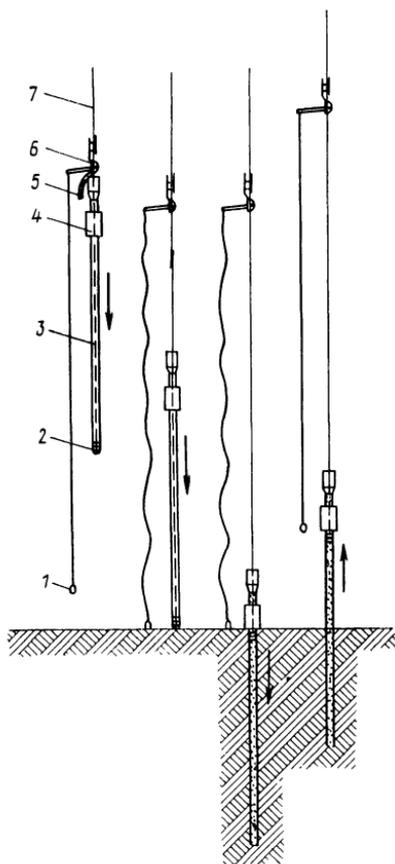


Рис. 3.13. Схема работы поршневой ударной грунтовой трубки.

1 — груз-разведчик; 2 — поршень; 3 — грунтосос; 4 — рабочий груз; 5 — вспомогательный поршневой трос; 6 — сбрасывающий механизм; 7 — судовый трос.

секционный рабочий груз и стабилизатор. С помощью серьги трубка подвешивается к сбрасывающему механизму, обычно выполняемому в виде рычага с соотношением плеч 1 : 10—1 : 15. К длинному плечу рычага присоединяется трос, суммарная длина которого равна высоте трубки и выбранному расстоянию ее свободного падения. На нижнем конце троса укреплен груз-разведчик. К короткому плечу крепится сама трубка, соединенная с основным тросом через вспомогательный трос, прикрепленный к поршню, который свободно перемещается внутри грунтососа. Сбрасывающий механизм (рис. 3.13) поворачивается в момент касания дна грузом-разведчиком, и трубка падает вниз, внедряясь в осадки. Высота сбрасывания обычно равна 2—4 м. Длина вспомогательного троса выбирается такой, чтобы поршень фиксировался на уровне морского дна: в этом случае проба в грунтососе не сжимается по вертикали под действием силы трения грунта о внутреннюю стенку грунтососа, так как гидростатическое давление исключает разрежение под поршнем. Длина грунтососов, определяющая глубину проникновения трубки в толщу породы, колеблется от 10 до 45 м, диаметр керна составляет 46—180 мм, масса груза — 300—6000 кг. Основные направления в улучшении конструкций тру-

бок — создание более совершенных пробоудерживающих устройств, систем натяжения троса, более надежных механизмов сброса, систем крепления поршня и способов его удержания на уровне грунта.

В результате изысканий в Красном море было оконтурировано три перспективных участка, приуроченных к впадинам «Ди-

скавери», «Чейн» и «Атлантис II». В сентябре 1976 г. по договору с саудовско-суданской комиссией по использованию ресурсов Красного моря компания «Пройсаг А. Г.» (ФРГ) разработала проект освоения месторождения во впадине «Атлантис II». Программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, рассчитанная на 5—6 лет, включает детальную разведку, создание оборудования для выемки илов и их обогащения, разработку мер по защите окружающей среды. В настоящее время ведется конструкторская проработка добывающего комплекса, в состав которого войдет судно с системой динамического позиционирования над погруженным в толщу илов выемочным агрегатом (положение последнего определяется по сигналам акустического маяка). Транспортировка ила на поверхность будет осуществляться по шарнирной колонне с помощью погружного насоса.

Разработка месторождений конкреций имеет свои трудности. По мнению специалистов, промышленное месторождение должно обеспечивать добычу не менее 1 млн. т конкреций в год в течение 25 лет. Площадь такого месторождения может быть определена по формуле [102]

$$S = \frac{PT}{C e_D e_S [1 - (g + a)]}, \quad (3.1)$$

где  $S$  — полная площадь, км<sup>2</sup>;  $P$  — годовая добыча, млн. «сухих» т;  $T=25$  лет — время эксплуатации;  $C=5 \div 15$  кг/м<sup>2</sup> — допустимая промышленная концентрация конкреций;  $e_D$  — КПД драгирования, представляющий собой отношение собранных конкреций к имеющимся и колеблющийся от минимально допустимого предела 30 % до максимально достижимого в настоящее время уровня 70 %;  $e_S$  — КПД захвата (отношение площади, обработанной драгой, к площади, которая могла бы быть обработана), %;  $g$  — отношение площади участка, не имеющего требуемого содержания конкреций, к полной площади участка, %;  $a=10$  % — часть участка, непригодная к разработке по различным причинам.

Расчеты, проведенные по этой формуле на основе данных предварительной разведки известных месторождений, показали, что полная площадь  $S$  должна быть не менее 10 тыс. км<sup>2</sup>.

Комплекс работ по разведке, подготовке и эксплуатации такого месторождения оценивается в 5 млн. дол. Большая часть этих работ представляет собой набор стандартных океанографических исследований, выполняемых обычными методами и подробно описанных в специальной литературе. Поэтому здесь рассмотрим лишь работы, связанные непосредственно с исследованием продуктивной толщи. Примем, что последняя представляет собой обширные поля с мощностью залегания порядка 0,5—1 м с хорошо выдерживаемой плотностью распре-

ления конкреций в пределах однородных по геологическим условиям участков. Плотность распределения может в целом по месторождению изменяться в значительных пределах и достигать от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов на квадратный метр. Малая мощность толщи и ее неоднородность не позволяют непосредственно использовать для поиска и разведки обычные геофизические методы (сейсморазведку, магнитометрию, гравиметрию). Поэтому в данном случае

в качестве основного выбирают метод, сочетающий наблюдение (с помощью подводного телевидения и подводного фотографирования) с отбором точечных проб.

Наиболее эффективна установка теле- и фотокамер на исследовательских платформах, буксируемых судном на некотором расстоянии от дна. В качестве примера можно привести фототелевизионную систему DSS-125 фирмы «Хайдро Продактс», предназначенную для работы на глубине до 6100 м. Научное оборудование этой системы включает телекамеру, снабженную объективом с переменным фокусным расстоянием, что позволяет «приближать» изображение и

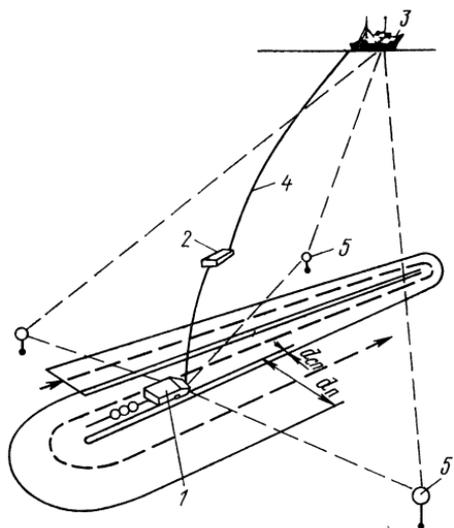


Рис. 3.14. Схема перемещения буксируемого зонда при разведке полигона. 1 — рабочая платформа; 2 — стабилизирующая платформа; 3 — судно; 4 — кабель-трос; 5 — донные маяки.

наряду с оценкой плотности распределения конкреций определять их форму (от которой зависит содержание металлов), производить экономическую оценку месторождения лишь на основе визуальной информации [106]. Кроме изображения дна на телеэкране постоянно фиксируются данные об угле обзора телеобъектива и его положения. На платформе установлены две 70-мм фотокамеры РС-705 с высокой разрешающей способностью, а также контейнер со стандартной цифровой телеметрической аппаратурой, обеспечивающей передачу команд и управления по одному коаксиальному кабелю вместе с видеосигналом. Система может эксплуатироваться при скоростях буксировки примерно от 1 до 3 км/ч.

При движении прямыми параллельными галсами (рис. 3.14), продолжительность съемки полигона может быть определена следующим расчетом [38]:

$$n = \frac{b}{d_n - d_{сп}}, \quad (3.2)$$

где  $b$  — ширина района обследования,  $d_n$  — ширина полосы обследования,  $d_{сп}$  — величина перекрытия смежных полос; полное время нахождения судна на галсе

$$T = \frac{L_0}{v_6} + t_1, \quad (3.3)$$

где  $L_0$  — длина галса,  $v_6$  — скорость буксировки,  $t_1$  — время циркуляции при переходе с одного галса на другой; общее время покрытия площади подводного месторождения

$$T_{об} = \left( \frac{L_0}{v_6} + t_1 \right) \frac{b}{d_n - d_{сп}}, \quad (3.4)$$

а в случае использования нескольких судов

$$T_{об} = \frac{1}{k_n n_c} \left( \frac{L_0}{v_6} + t_1 \right) \frac{b}{d_n - d_{сп}}, \quad (3.5)$$

где  $k_n$  — коэффициент перекрытия полос обследования смежных судов, определяемый точностью их удержания на параллельных курсах,  $n_c$  — число судов.

Для контроля данных, получаемых с помощью телевизионной съемки, и проведения лабораторных исследований конкреций в последнее время пробы донного материала начали собирать с помощью свободно падающих самовсплывающих грейферных пробоотборников. Длительность цикла получения пробы таким устройством с глубины 5000 м составляет около 2,5 ч при скорости подъема пробоотборника на поверхность примерно 1,2 м/с. Снос пробоотборника от точки сбрасывания лежит в пределах 0,6—4 км. Для поиска всплывшего пробоотборника кроме визуальных средств обычно используют радиопеленгаторы, позволяющие обнаруживать пробоотборники при волнении моря до 5 баллов на расстоянии около 30 км. С этой целью пробоотборники оборудуют возвышающимися над поверхностью воды уголковыми отражателями и проблесковыми маяками.

Для отбора проб большой массы в 1976—1979 гг. в СССР были сконструированы и испытаны автономные пробоотборники серии АП (рис. 3.15). Рабочий орган пробоотборника выполнен в виде грейфера со створками, шарнирно закрепленными на раме, смещенной с опорной штангой. На раме и створках установлены шкивы, через которые пропущен соединенный с поплавком рабочий трос. В верхней части поплавок

установлен пассивный отражатель для поиска всплывшего пробоотборника. Балластные грузы общей массой до 110 кг размещаются в специальных контейнерах, снабженных консоль-

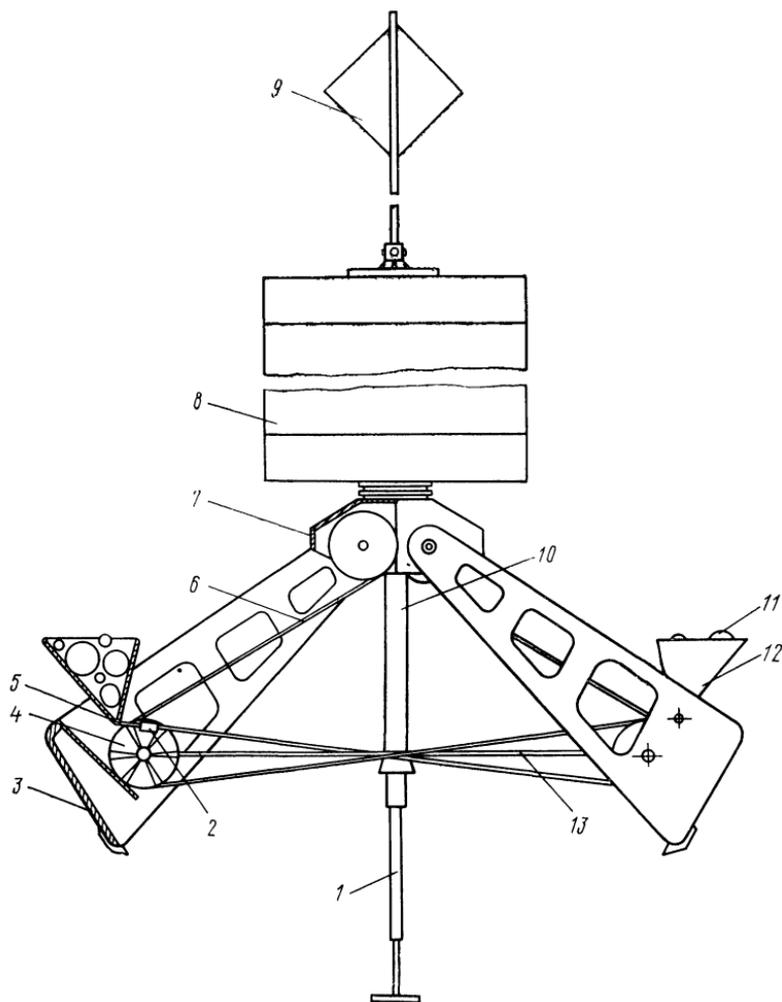


Рис. 3.15. Самовсплывающий грейферный пробоотборник серии АП.

1 — контактный штырь; 2 — упор; 3 — грейфер; 4 — шкив; 5 — ось контейнера; 6 — трос; 7 — рама; 8 — поплавок; 9 — радарный отражатель; 10 — опорная штанга; 11 — балласт; 12 — контейнер для балласта; 13 — тяга.

ными упорами. Эти контейнеры крепятся на створках грейфера посредством горизонтальных осей. Замковое устройство пробоотборника включает синхронизирующие тяги, шарнирно связывающие контактный штырь со створками грейфера при их пол-

ном раскрытии. Перед сбросом пробоотборника на дно створки грейфера разводятся и самофиксируются с помощью синхронизирующих тяг, которые воздействуют на консольные упоры и обеспечивают фиксацию контейнеров с балластным грузом в поднятом положении. Коснувшись морского дна, контактный

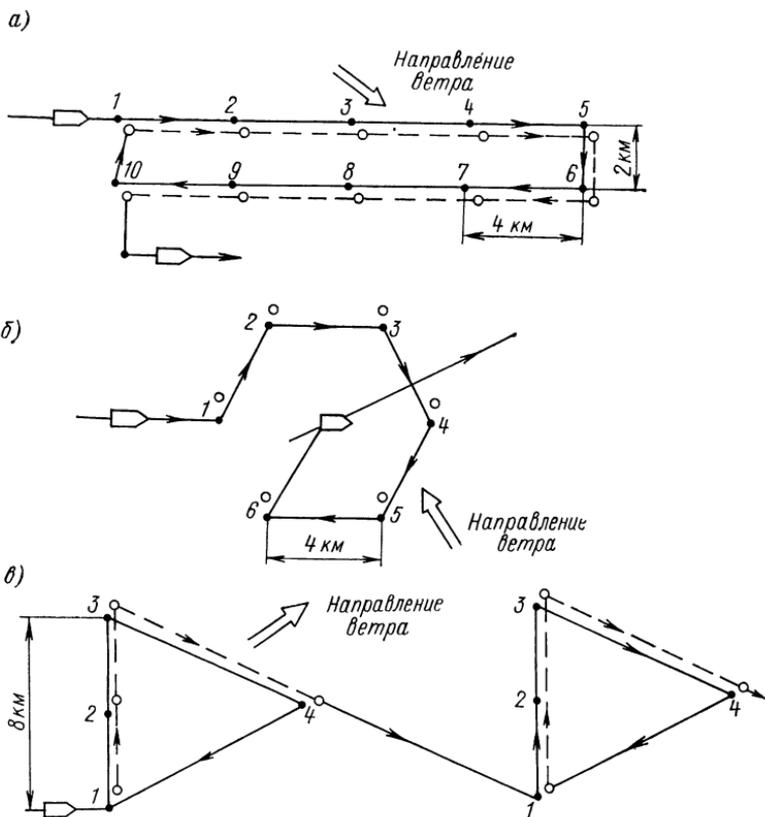


Рис. 3.16. Схемы маневрирования судна при использовании самовсплывающих пробоотборников: а — линейный способ; б — контурный способ; в — треугольный способ.

штырь начинает скользить вверх по опорной штанге, освобождая синхронизирующие тяги, и поворачивает контейнеры вокруг осей, в результате чего происходит сброс балласта. Освобожденные створки грейфера под действием подъемной силы поплавок, передаваемой рабочим тросом, сдвигаются, сгребая осадочные отложения. Закончив отбор, пробоотборник всплывает на поверхность<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Г. М. Лезгинцев, Е. А. Контарь, Е. И. Гарбуз. К вопросу создания глубоководных автономных приборов для исследований в океане.— Океанология, 1979, т. XIX, вып. 5, с. 924—929.

С целью уменьшить потери времени на повторное прохождение судном поискового маршрута для сбора грейферов ученые ФРГ провели сравнительный анализ трех основных способов перемещения судна с самовсплывающими пробоотборниками.

1. При традиционном, линейном, способе судно двигалось параллельными галсами, сбрасывая пробоотборники с кормы или борта в точках (1—10), расположенных друг от друга на расстоянии около 4 км (рис. 3.16). Местоположение судна в момент сброса регистрировалось судовой навигационной системой. Всего на одном галсе сбрасывалось пять грейферов, после чего судно переходило на другой галс, отстоящий от первого на расстоянии 2 км, и двигалось встречным курсом, сбрасывая еще пять пробоотборников. Затем оно возвращалось на первый галс, повторяя свой маршрут и собирая на ходу при помощи буксируемой сетки всплывшие пробоотборники. Такая схема работы позволила за один цикл, продолжительность которого при глубине моря 5 км составляла 7 ч, отобрать 10 проб грунта на площади около 30 км<sup>2</sup>.

В настоящее время этот способ является наиболее распространенным и рекомендуется для точных картировочных работ и разведки оконтуренных подводных месторождений. В зависимости от глубины моря и погодных условий частота сбрасывания грейферов, длина галсов и расстояние между ними могут меняться. В общем случае затраты времени на разведку прямоугольного полигона этим способом определяют следующим расчетом:

общее число парных галсов

$$n_1 = \frac{b}{2a}, \quad (3.6)$$

где  $b$  — ширина полигона,  $a$  — расстояние между галсами; время одного цикла работы на двух галсах

$$t = \frac{4l}{v} + 3t_{\text{разв}}, \quad (3.7)$$

где  $l$  — длина галса;  $v$  — скорость движения судна,  $t_{\text{разв}}$  — время на циркуляцию при переходе с галса на галс;

общее время на разведку полигона

$$T = \frac{4l}{v} n_1 + (4n_1 - 1) t_{\text{разв}}. \quad (3.8)$$

2. При контурном способе пробоотборники сбрасывались по периметру многоугольного контура, число углов (сбросов грейферов) которого колебалось от 6 до 10 в зависимости от необходимой плотности сети галсов (рис. 3.16, б). Расстояние между точками сброса, как и при первом способе, равнялось примерно 4 км, а радиус контура менялся от 1 до 5 км. После

прохождения всех точек судно становилось в центре участка для проведения замеров, требующих длительной стоянки, а катер собирал всплывающие пробоотборники. При этом способе каждый цикл охватывал площадь около 100 км<sup>2</sup>, причем время взятия 7—10 проб сократилось до пяти часов. Он был признан лучшим с точки зрения количества получаемой информации, затрат времени на один цикл и размеров обследуемого полигона.

3. Треугольный способ маневрирования представлял собой комбинацию линейного и контурного способов и применялся при поиске месторождений железомарганцевых конкреций. Он предусматривал сбрасывание грейферов по углам равностороннего треугольника со стороной, равной примерно 7,5 км, и одно сбрасывание посередине основания треугольника. За два цикла этим способом отбиралось 8 проб и обследовалась площадь около 220 км<sup>2</sup>. Время, затраченное на два цикла, составляло восемь часов.

Оптимальная скорость судна при всех трех способах маневрирования составляла 10—15 км/ч [67].

Несмотря на успешные результаты, полученные при ведении разведочных работ с помощью комплекса «буксируемая телеустановка + самовсплывающий грейфер», описанную методику разведки нельзя считать оптимальной. Весьма перспективным является оснащение буксируемых фототелевизионных платформ пробоотборниками и системами экспресс-анализа конкреций без их извлечения на поверхность. Считается, что несмотря на увеличение стоимости разведочного оборудования, добавочные расходы быстро окупятся в результате резкого снижения затрат времени на разведку. Работы в этом направлении ведутся многими зарубежными фирмами. Например, фирма «Хайдро продактс» оснащает описанную выше систему DSS—125 свободнопадающим грейферным пробоотборником и установкой для подводного анализа конкреций. В ФРГ работы в этой области ведет фирма «Дорнье», испытывавшая в 1977 г. систему, способную работать на глубине до 6000 м при скорости буксировки до 15 км/ч. Рабочая платформа системы оснащена сканирующим и обычным гидролокаторами, телемонитором, свободнопадающим пробоотборником с фотокамерой. Общая стоимость новой системы около 6 млн. дол.

Эта же фирма приняла участие в разработке конструкции системы EAS-01, обеспечивающей получение сведений о рельефе дна океана, сбор, оценку и определение плотности распределения конкреций на дне, а также определение их размеров, формы и содержания в них металлов.

Корпус устройства длиной 4 м, высотой 1,5 м, шириной 2,8 м снабжен кормовым П-образным стабилизатором, боковой предохранительной рамой и бронированным носовым экраном. В корпусе на пружинных амортизаторах установлены плат-

форма-носитель аппаратуры и приборов, на которой смонтированы гидролокатор переднего обзора, система для забора проб конкреций, зонд для анализа отбираемых конкреций методом нейтронной активации, система охлаждения германиевого детектора зонда, состоящая из криостата со встроенным усилителем и холодильной машины, блок автоматического управления, измерительные приборы и электрооборудование. Все узлы размещаются в прочных сферических контейнерах. Общая масса устройства около 4,5 т.

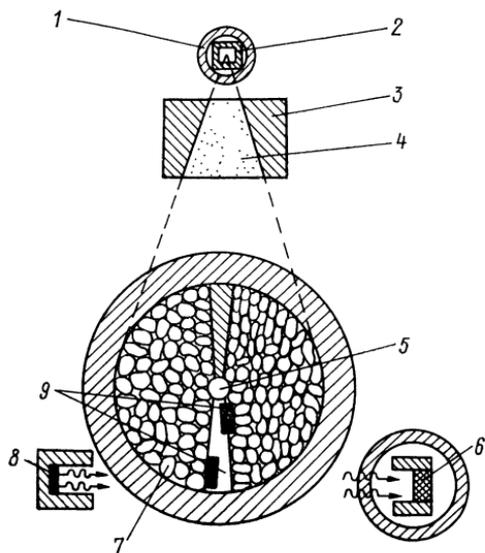


Рис. 3.17. Зонд для анализа конкреций методом нейтронной активации.

1 — герметичная капсула; 2 — германиевый детектор; 3 — свинцовые экраны; 4 — парафиновый экран; 5 — источник нейтронов; 6 — детектор системы контроля заполнения контейнера; 7 — исследуемый материал (конкреции); 8 — источник гамма-излучения; 9 — детекторы вторичного излучения.

изотоп калифорний-252 (рис. 3.17). Над камерой находится герметичная капсула германиевого детектора, отделенная от источника нейтронов литиевым и двумя парафиновыми экранами. Там же установлен дополнительный свинцовый экран, защищающий от излучения систему контроля заполнения камеры. Принцип действия зонда основан на том, что быстрые нейтроны тормозятся при взаимодействии с веществом, помещенным в камеру, и превращаются в тепловые. Последние легко захватываются ядрами элементов конкреций, что вызывает вторичное  $\gamma$ -излучение, причем интенсивность отдельных спектральных линий излучения зависит от концентрации соответствующих элементов. Это излучение регистрируется германиевым детектором и преобразуется электронной аппаратурой в ампли-

Общая масса устройства около 4,5 т.

Особый интерес представляют система для забора проб конкреций и зонд для проведения их экспресс-анализа. Система забора позволяет отбирать пробы, не останавливая буксировочное устройство. Она включает гибкий приемный трубопровод с всасывающей головкой, сепаратор, всасывающий насос, снабженный приводным электродвигателем, и приемную камеру со створками для ее осушения. Время забора пробы при плотности загрузки камеры 20 % и скорости буксировки около 5 км/ч всего 10 с. В центре приемной камеры помещен источник нейтронов —

тудный спектр импульсов, позволяющий судить о концентрации элементов. Система контроля заполнения приемной камеры конкрециями включает источник  $\gamma$ -излучения (изотоп торий-228 и сцинтилляционный счетчик). Цикл определения содержания металлов в конкрециях продолжается 10 мин.

Буксируемое устройство соединено с судном коаксиальным кабель-тросом диаметром 18,4 мм и длиной 8000 м, по которому поступает электроэнергия для питания узлов установки,

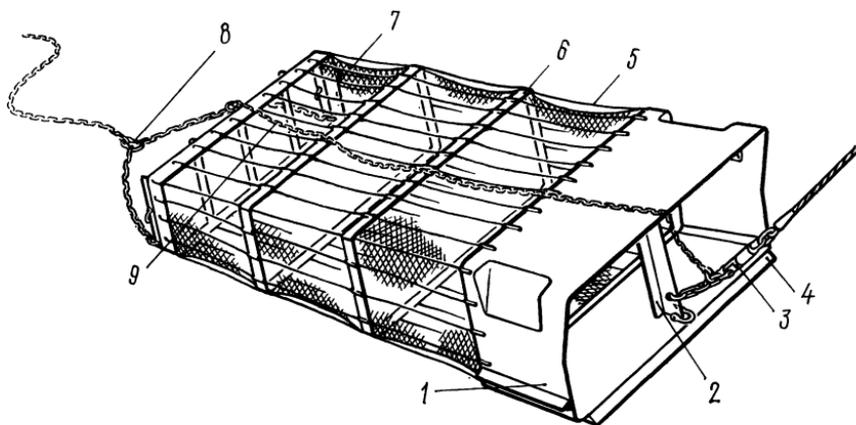


Рис. 3.18. Гигантская драга-волокуша.

1 — коробчатый черпак; 2 — распорка; 3 — размыкающий механизм; 4 — нож; 5 — трос каркаса; 6 — рама каркаса; 7 — нейлоновая сеть; 8 — якорная цепь; 9 — цепь безопасности.

передаются данные замеров, информация о работе узлов и команды управления. Все сигналы преобразуются подводным вычислительным устройством в цифровую форму и передаются в режиме кодово-импульсной модуляции. Обработка данных производится судовой ЭВМ, печатающей сведения о процентном содержании металлов в конкрециях, данные о местонахождении судна, плотности загрузки приемной камеры и структуре осадочных отложений.

Оператор получает на выводе ЭВМ все сведения о состоянии узлов подводного устройства и вмешивается в работу автоматической системы управления лишь после получения сигналов о неисправности. Он непосредственно управляет только опусканием зонда на дно, подготовкой к всасыванию и подъему устройства в режим буксировки, а сам цикл «всасывание — анализ» осуществляется автоматически.

В это время на борт судна передаются данные о контакте всасывающей головки с грунтом, работе насоса, степени загрузки камеры, температуре германиевого детектора и капсул с электронным оборудованием, информация о работе электро

двигателя открывания створок и о положении створок. В процессе буксировки выдаются данные о глубине, скорости, крене и дифференте устройства и т. д. Помимо основного корпуса, к буксировочному кабель-тросу на высоте около 100 м над дном крепится добавочный зонд с гидролокатором бокового обзора для поиска залежей конкреций и сбора топографических данных [89].

Для заключительного этапа разведки — получения крупномасштабных проб — обычно используют драги-волокуши. Од-

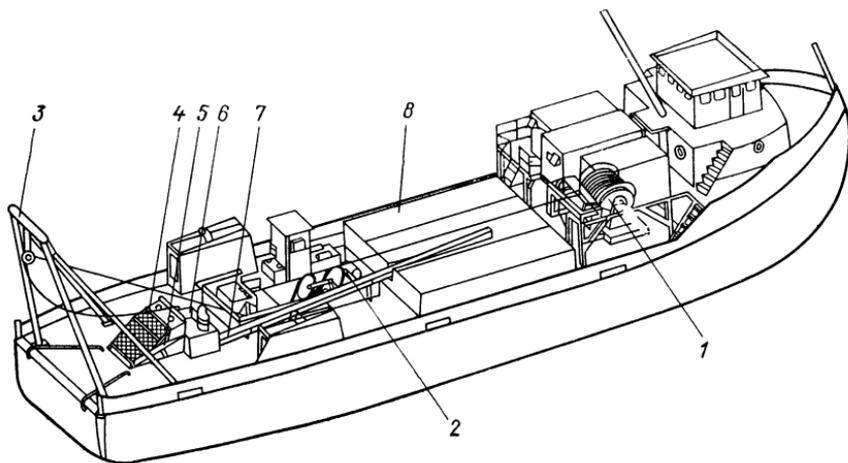


Рис. 3.19. Судно для подводного драгирования.

1 — приемный барабан; 2 — натяжное устройство; 3 — спусковая мачта; 4 — драга; 5 — наклонная платформа; 6 — бункер; 7 — транспортер; 8 — трюм.

нако производительность серийных драг не обеспечивает требований промышленной разведки. Поэтому были созданы специальные крупногабаритные драги (рис. 3.18). Одна из таких драг, разработанная компанией «Кеннекот эксплорэйшн», включает передний коробчатый черпак с вертикальной распоркой, служащей для крепления размыкающего механизма с буксирным тросом. По нижней кромке черпака установлен режущий нож шириной 152 мм. К задней стороне черпака крепятся продольные стальные тросы диаметром 12,7 мм, образующие с поперечными рамами каркас, на который надета прочная нейлоновая сеть. Ширина каркаса постоянно по всей длине драги и равна 2,13 м, а высота изменяется от 1,06 м на входе до 0,91 м у торца. Общая длина драги 3,6 м (рабочая вместимость около 7,22 м<sup>3</sup>). К задней раме каркаса крепится якорная цепь массой 227 кг, служащая стабилизирующим балластом и удерживающая гибкий каркас на дне океана в вытяну-

том положении. Верхняя часть концевой рамы каркаса соединена с буксировочным тросом так называемой цепью безопасности, которая срабатывает, когда черпак слишком глубоко внедрится в осадки или упрется в крупный валун. При этом натяжение в буксировочном тросе резко возрастает, в действие вступает размыкающий механизм и буксировочный трос через цепь переворачивает драгу, вырывая ее из грунта. Масса драги в воздухе — 1,27 т.

Для эксплуатации драги использовалось специальное судно (рис. 3.19), на котором помимо буксировочной системы была смонтирована вспомогательная установка для перемещения поднятой на борт драги, ее разгрузки и транспортировки отобранных конкреций. Такая установка, в частности, применялась в 1977 г. во время сбора конкреций для проведения технологических опытов. Требовалось собрать не менее 180 т. Эта задача была выполнена за 171 проход драги со средним извлечением 1,06 т конкреций за одно драгирование. По мере накопления опыта удалось увеличить разовое извлечение конкреций до 1,8 т. Средняя производительность составила при этом 4,5 т/сут, однако она была ниже возможной, так как не удавалось соблюдать правильного соотношения между скоростью движения драги и ее массой. Было рекомендовано использовать судно большего водоизмещения, оборудованное винтами регулируемого шага. В этом случае производительность установки может быть доведена до 9 т/сут [88].

В настоящее время разрабатываются новые перспективные образцы технических средств для отбора крупномасштабных проб железомарганцевых конкреций. В качестве примера можно привести самоходный роторный пробоотборник фирмы «Дойче Бабкок унд Вилькокс А. Г.», предназначенный для непрерывного отбора конкреций на глубинах до 6000 м. Фирма разработала несколько моделей пробоотборника (одна из них показана на рис. 3.20). Она включает сварную раму с хвостовым стабилизатором, снабженную носовым кожухом-обтекателем и четырьмя колесами, два из которых (диаметром 1,6 м) ведущие. В обтекателе, создающем при спуске и перемещении пробоотборника по дну гидродинамический эффект прижатия к грунту, размещается роторный механизм, обеспечивающий отбор образцов с полосы шириной 300 мм и глубиной от 50 до 100 мм. Отобранные пробы поступают в 18 специальных контейнеров вместимостью 0,12 м<sup>2</sup> каждый, подаваемых под загрузочное окно кольцевым транспортером. Общий объем проб 2,16 м<sup>3</sup>, их масса 5 т, масса пробоотборника — 4 т. Пробоотборник снабжен телевизионной установкой. Он прошел успешные испытания на глубине 6000 м в районе Гавайских островов [81].

Организация собственно промышленной добычи глубоководных железомарганцевых конкреций представляется на

современном этапе достаточно сложной: необходимо создать специальные системы и оборудование для разработки и сбора полезных ископаемых с океанского (морского) дна, для обогащения и транспортировки добытого сырья на поверхность, построить специальные плавсредства для обеспечения эксплуатации указанных устройств. Как уже отмечалось, решение таких задач требует серьезных материальных затрат и выполнения больших объемов опытно-конструкторских работ.

Одна из наиболее трудных задач — разработка эффективных систем транспортировки в толще воды. Ее традиционное решение — применение черпаково-канатных драгирующих систем. В свое время японский офицер Ито Масуда предложил

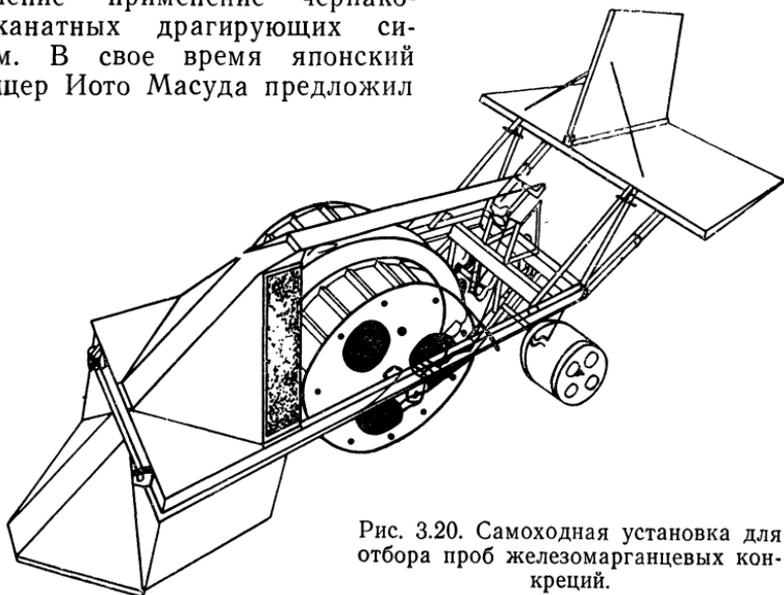


Рис. 3.20. Самоходная установка для отбора проб железомарганцевых конкреций.

драгирующую многочерпаковую систему CLB с бесконечным кольцевым тяговым канатом. Опытная установка была разработана компанией «Рисорсес Ассошиэйшн» и смонтирована на судне «Чиёда мару 2» водоизмещением 1400 т, длиной 80 м, шириной 11 м (рис. 3.21). Система включала замкнутый полипропиленовый трос диаметром 40 мм и длиной 8400 м с разрывным усилием 0,2 МН, сращенный из 200 секций. К тросу с интервалом 25 м с помощью двух 60-сантиметровых концов с быстроразъемными зажимами крепились черпаки и 25-килограммовые грузы, служившие для преодоления плавучести троса. Трос вытравливался и выбирался электролебедками, установленными в носовой и кормовой частях судна с разномощностью 70 м. Приводные электродвигатели лебедок мощностью 22 кВт обеспечивали выборку троса со скоростями 0,8, 0,43 и 0,21 м/с, причем натяжение в выбираемой ветви не превышало 0,07 МН, а в вытравливаемой — 0,02 МН. В процессе работы лебедки непрерывно перемещали канат, рабочая петля кото-

рого волочилась по грунту. В то же время судно могло перемещаться в боковом направлении со скоростью 0,75 км/ч при помощи двух подруливающих двигателей мощностью по 29 кВт. Порода из ковшей, поднятая на палубу, поступала в приемный бункер, а ковши отсоединялись от троса и вновь присоединялись к нему после его выхода из кормовой лебедки. Испытания опытной установки были проведены в августе 1970 г. на глубинах порядка 900 м, а в августе 1972 г. — на глубинах 1800—3600 м и показали положительные результаты. Из нескольких испытанных типов ковшей были выбраны черпаки размером  $0,8 \times 0,4 \times 0,23$  м с сетчатым дном, коэффициент заполнения которых составлял 25—30 %, иногда достигая 60 %. Анализ результатов показал, что при промышленной работе установка со 170 ковшами может обеспечить суточную добычу порядка 100 т на глубине 1800 м и 40 т на глубине 4500 м.

На основе результатов проведенных испытаний была разработана опытно-промышленная установка типа CLB производительною примерно 500 т/сут на глубине 5400 м. Ее разместили на судне «Куо Куон Мару 2» водоизмещением 16 600 т. Недостатком установки оказалось значительное сужение драгируемого участка при увеличении глубины. Так, на глубине 5000 м при разnose лебедок на 100 м ширина захвата не превышала 20 м.

Экономичный путь решения этой проблемы предложили специалисты французского центра океанологических исследований (CNEXO), разработавшие совместно с учеными компаниями «Ле Никель» проект усовершенствованной канатно-черпаковой системы CLB-2, в которой бесконечный канат перемещался лебедками, установленными на двух судах, идущих параллельными курсами. Это позволило значительно увеличить разнос лебедок, а следовательно, и ширину полосы драгирования дна. Промышленный вариант установки CLB-2 будет оснащен

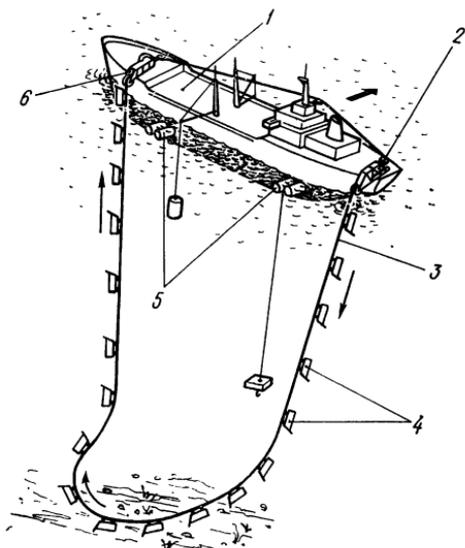


Рис. 3.21. Схема многочерпаковой драгирующей установки типа CLB.

1 — судно; 2 — кормовая срамливающая лебедка; 3 — полипропиленовый канат; 4 — черпаки; 5 — подруливающие двигатели; 6 — носовая подъемная лебедка.

черпаками вместимостью  $4 \text{ м}^3$  ( $0,8 \times 2 \times 2,6 \text{ м}$ ) и массой  $1 \text{ т}$ . Кольцевой канат диаметром  $240 \text{ мм}$  выдержит усилие до  $10 \text{ МН}$ . Общая длина каната при глубинах подводной разработки  $5500 \text{ м}$  составит  $13\,000 \text{ м}$ , причем расчетное натяжение в нисходящей и восходящей ветвях будет достигать  $1,5$  и  $3 \text{ МН}$  соответственно [27, 55].

Общий недостаток обеих систем — низкое качество разработки месторождения, особенно при неровном рельефе дна. С целью улучшения качества сбора конкреций была предложена новая модификация канатно-черпаковой установки. Бук-

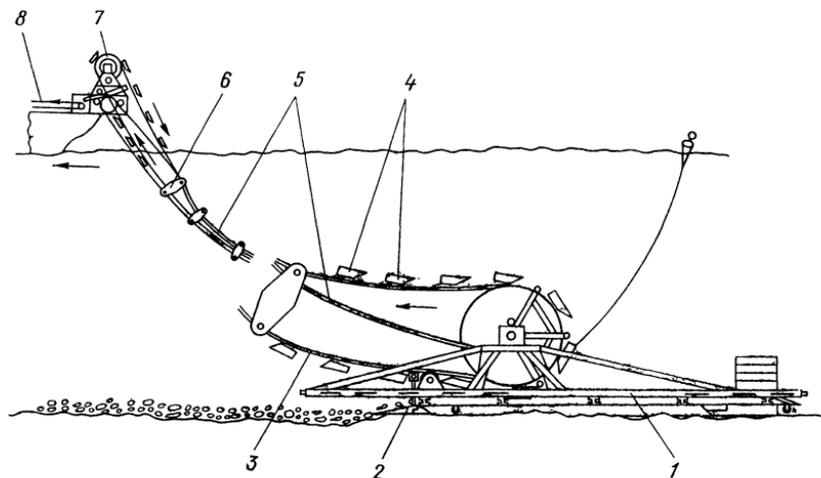


Рис. 3.22. Многочерпаковая драгирующая установка с буксируемым собирающим устройством.

1 — буксируемая рама; 2 — решетка-рыхлитель; 3 — рабочий канат; 4 — черпаки; 5 — буксировочные канаты; 6 — натяжные рамы с роликами; 7 — судовая лебедка; 8 — транспортер.

сируемое по дну собирающее устройство соединялось с судном при помощи системы тяговых канатов с направляющими роликами, через которые пропускался бесконечный канат с ковшами, черпавшими конкреции из бункера собирающего устройства (рис. 3.22). Последнее представляет собой салазки. Их передняя часть выполнена в виде решетки-рыхлителя с соответствующим наклоном для врезания в слой грунта. Марганцевые конкреции забираются решеткой и перемещаются по приемному лотку, выполненному из стержней, установленных на расстоянии  $1 \text{ см}$  друг от друга. Песок и галька проваливаются в щели лотка, а крупные конкреции диаметром более  $150 \text{ см}$  сталкиваются с него специальным предохранительным кольцом. Ширина решетки-рыхлителя  $10 \text{ м}$ , масса собирающего устройства  $10 \text{ т}$ . Система буксировки включает от  $6$  до  $10$  полипропиленовых канатов, соединенных между собой стальными прямоугольными рамами, шипы которых вплетены в канаты.

При глубине добычи 5000 м длина буксировочной системы равна 7000 м, а длина черпакового каната 14 000 м. На нем с интервалом в 2 м жестко укреплены семь тысяч ковшей с сетчатым дном. Движение черпаков обеспечивается судовой лебедкой. При скорости судна 7,2 км/ч и скорости движения ковшей 1 м/с производительность достигает 500 т/ч или 10 тыс. т сут, причем для привода требуются двигатели общей мощностью 8500 кВт [80].

Канатно-черпаковые системы, вероятно, найдут широкое применение на первых этапах освоения глубоководных месторождений. Однако по мере накопления опыта подводных работ и расширения их объемов подобные системы будут заменены более надежными, поскольку принципиальным недостатком установок с бесконечным канатом является невозможность контроля процесса добычи и управления им, а также сложность проведения работ при значительном волнении. В связи с этим внимание специалистов ряда стран привлекла идея использования землесосных установок. Проекты таких устройств включают погружные насосы, установленные в параллельных трубах, или двухтрубную систему с центробежными насосами, размещенными непосредственно на плавбазе [109]. Однако перспективными были признаны лишь варианты, предложенные западногерманской фирмой «Димаг бильдист» и канадской компанией ИНКО.

Первый из них предусматривает размещение насосной системы в герметичной капсуле, которая устанавливается на глубине 500 м от поверхности моря и помимо подъема донного материала обеспечивает предварительное отделение конкреций от воды и пустой породы, их измельчение и подъем концентрата на рудовоз. Донный материал собирается со дна при помощи дистанционно управляемого самоходного гусеничного экскаватора с фрезерным рыхлителем, установленным на поворотной трубчатой стреле, и подается в герметичную капсулу «Эйдис Коламбас» по шарнирно-секционному трубопроводу (рис. 3.23). Капсула, выполненная в виде прочного цилиндрического корпуса высотой 22,5 м, разбита на ряд отсеков. В машинном отсеке находятся шесть электродвигателей мощностью 900 кВт для привода насосов, аппаратура для регенерации и кондиционирования воздуха, обогатительное оборудование; в насосном отсеке размещены шесть насосов производительностью 600 м<sup>3</sup>/ч. В сферическом приемном отсеке смонтирован обогатительный комплекс. Пульпа поступает в приемный отсек по центральному трубопроводу, и ее твердая фракция на ленточном транспортере подается в дробилку. Оттуда измельченные конкреции и пустая порода идут в сепаратор, где из смеси выделяются пустая порода и вода, которые откачиваются в забортное пространство, а концентрат подается в подъемный трубопровод. Последний располагается в одной шахте с силовыми кабелями.

Две другие шахты служат для перемещения персонала и грузов [27].

Проект компании ИНКО предусматривает размещение на трубопроводе нескольких насосных модулей производительно-

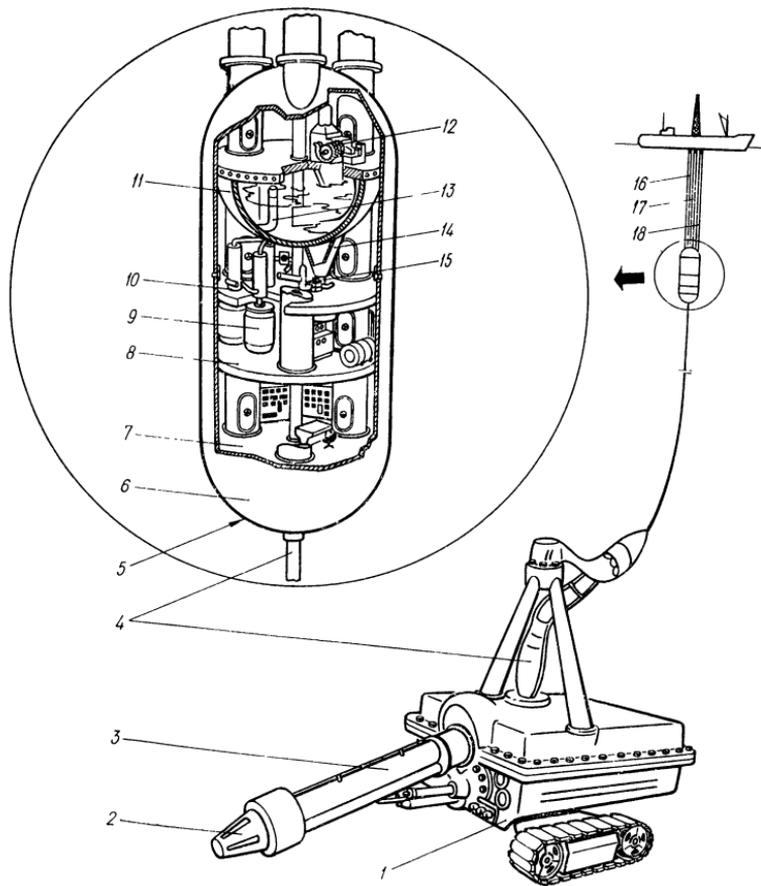


Рис. 3.23. Установка «Эйдис Каламбас» для добычи конкреций.

1 — экскаватор; 2 — рыхлитель; 3 — поворотная стрела; 4 — трубопровод; 5 — герметичная капсула; 6 — балластный отсек; 7 — отсек управления; 8 — машинный отсек; 9 — электродвигатель привода насоса; 10 — насосный отсек; 11 — приемный отсек; 12 — дробилка; 13 — трубопровод; 14 — загрузочное устройство; 15 — подающий насос; 16 — подъемный трубопровод; 17, 18 — шахты для связи с поверхностью.

стью  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$  с дистанционно управляемыми секционными центробежными насосами. Насосные капсулы прикрепляются к транспортному трубопроводу, что значительно упрощает их монтаж и ремонт. На основе результатов предварительных исследований диаметр подъемного трубопровода опытной установки был принят равным 245 мм. Это позволило повысить производительность

по твердому материалу до 40 т/ч при 5 %-ной его концентрации в гидросмеси и скорости движения потока в трубопроводе 3,66 м/с [45].

В целом установка с погружными насосами обладает высоким КПД и обеспечивает приемлемые удельные расходы энергии, однако ее экономичность в значительной степени зависит от продолжительности периода эксплуатации системы. Расчеты показывают, что срок непрерывной работы такой установки должен быть не менее года, и уже при сокращении этого периода на 8 % более рентабельным становится эрлифтный способ подъема конкреций.

В этом направлении определенных успехов добилась фирма «Дипси венчурикс». Первый эксперимент по подводной добыче с использованием эрлифтной установки специалисты фирмы провели на глубине около 900 м на плато Блейка (270 км от побережья Флориды). В качестве базового судна использовался переоборудованный танкер водоизмещением 7400 т, названный «Дипси майнер» (рис. 3.24). В корпусе судна была проделана вертикальная шахта (6×9 м), над которой установили рабочую площадку, оснащенную краном и подъемной лебедкой. Рабочая колонна, обеспечивающая подъем конкреций, была собрана из обычных нефтяных труб наружным диаметром 245 мм. Она заканчивалась натяжным грузом и шарнирным устройством, которое соединяло трубопровод с грунтозаборным устройством. Последнее было выполнено в виде сварной рамы в форме ромба и снабжено системой зубьев, что обеспечивало сбор конкреций лишь заданного размера. К основной колонне парными зажимами крепились силовой и контрольный кабели, а также воздухопровод для подачи сжатого воздуха в рабочую колонну на глубинах 240, 360 и 480 м. С этой целью на судне были смонтированы семь компрессоров, пять из них производительностью 68 м<sup>3</sup>/мин составляли первую ступень сжатия, остальные два — вторую ступень, повышавшую давление до 10,7 МПа. Результаты эксперимента показали общую удовлетворительную работу системы эрлифта, производительность которой достигала 60 т/ч, а также обеспечивала непрерывную добычу в штормовых условиях при скорости ветра 55 км/ч и высоте волн 4—5 м.

Вслед за испытаниями опытного образца компания «Дипси венчурикс» приступила к реализации программы промышленной добычи железомарганцевых конкреций на месторождении площадью около 60 тыс. км<sup>2</sup>, расположенном в Тихом океане на глубине 3500—9500 м. Месторождение было открыто в 1969 г. принадлежавшим компании научно-исследовательским судном «Проспектор». По оценке компании, ежегодная добыча на первых этапах работы будет ограничена 1,35 млн. т конкреций, из которых предполагается извлечь 9150 т меди (9 % импорта США), 11 300 т никеля (71 % импорта) и 2150 т кобальта

(92 % импорта США). При благоприятных условиях сбыта годовой объем может быть доведен до 4 млн. т. конкреций [109].

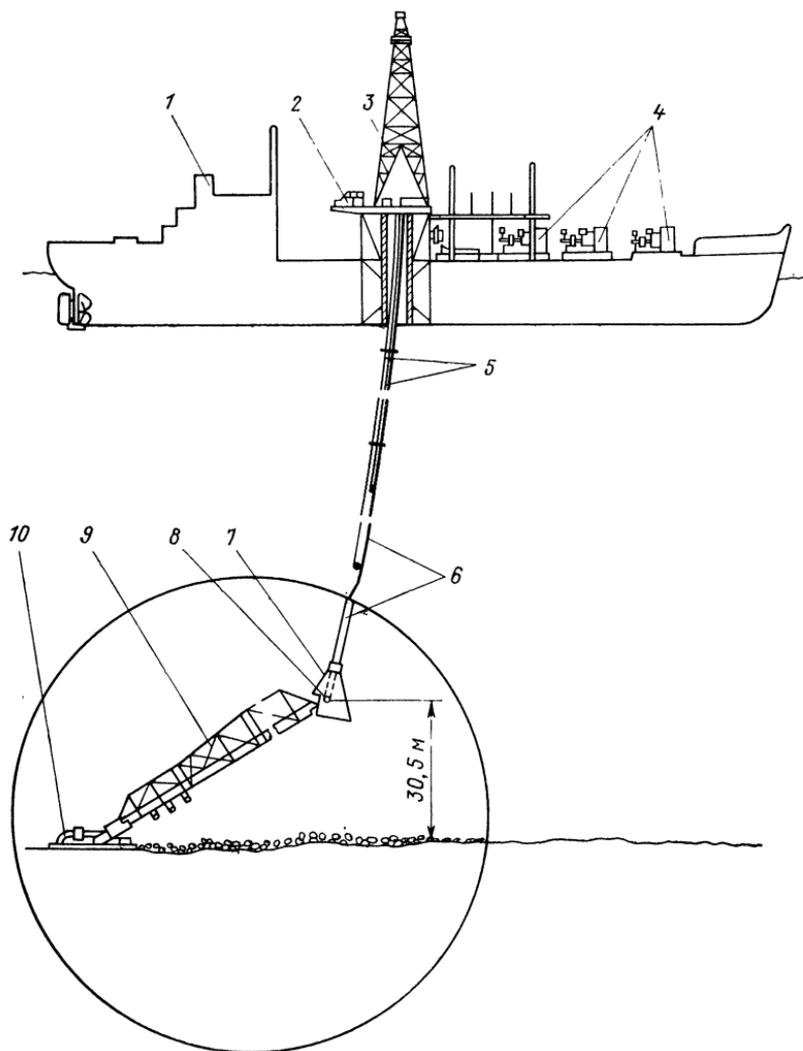


Рис. 3.24. Эрлифтная добывающая установка.

1 — базовое судно; 2 — лебедка; 3 — вышка; 4 — компрессоры; 5 — воздушные трубопроводы; 6 — подъемный трубопровод; 7 — натяжной груз; 8 — шарнирное устройство; 9 — ферма; 10 — грунтозаборное устройство.

В заключение необходимо подчеркнуть, что рассмотренные способы добычи глубоководных железомарганцевых конкреций базируются на использовании установок первого поколения, которые в значительной степени являются лишь более мощ-

ными модификациями систем, широко применяемых в настоящее время, например при дноуглубительных работах. Подобный подход позволил значительно сократить сроки создания глубоководной добычной техники, однако уже ее опытно-промышленные испытания показали ряд принципиальных недостатков систем, так как они были разработаны на основе технических решений, не учитывающих многие специфические особенности подводных работ. В частности, наиболее совершенный эрлифтный способ отличается чрезвычайно низким КПД (3,5 % при глубине 800 м), причем в установках для глубоководной добычи конкреций до сих пор не удалось реализовать главное преимущество эрлифтов — простоту конструкции. Наиболее перспективной кажется замена в эрлифтах воздуха плавучими шариками, выдерживающими перепад давления, как это уже делается при выполнении судоподъемных работ [1], или даже легко сепарируемыми жидкостями с малой плотностью.

Интенсивно ведутся работы по созданию установок, действие которых основано на использовании таких физических особенностей водной среды, как малая сжимаемость и высокое гидростатическое давление (рост гидростатического давления с глубиной). Учеными Массачусетского технологического института показано, например, что для обеспечения подъема 120 т породы в час с глубины 9500 м при диаметре трубопровода 914 м достаточно в полости специального плавучего буя создать перепад уровня воды в 152 м. Более подробно об этих и других проектах можно прочесть в специальной литературе (см., например, [27, 55]).

#### **3.4. Меры по охране среды при подводной добыче полезных ископаемых**

Охрана среды при подводной добыче — один из важных аспектов деятельности подводного технолога. Обширность вопросов, связанных с этой проблемой, не позволяет рассмотреть их с достаточной полнотой в пределах одного параграфа. Здесь мы лишь коснемся некоторых из них, связанных главным образом с проведением под водой добычи твердых ископаемых и нефти.

Масштабы влияния естественных процессов и подводных горных работ на природную среду далеко не одинаковы. Только в результате стока рек в прибрежной зоне Мирового океана ежегодно откладывается более двух кубических километров речных наносов, что и по объему, и по площади, занимаемой этими наносами, несравненно больше годового количества горной массы, перерабатываемой дноуглубительным флотом и добываемой при подводных горных работах во всем мире. Кроме того, постоянное воздействие прибоев и штормов также оказывает серьезное влияние на природный режим моря, вызывая наруше-

ние растительного покрова, перемещение горных пород, изменение рельефа дна и прозрачности воды. Исследования показали, что восстановление сообществ благодаря интенсивным связям с окружающими участками происходит в течение двух месяцев, а содержание взвешенных веществ в воде, не превышающее 20 мг/л, практически не оказывает отрицательного воздействия на обитателей морей.

Что же касается процессов, сопровождающих подводные разработки, то происходящие при этом явления нуждаются в специальных исследованиях, методика которых еще недостаточно разработана: в литературных источниках упоминается лишь об отдельных мелкомасштабных экспериментах в этой области. Одна из таких локальных программ NOMES была осуществлена весной 1974 г. в районе Бостона (США) на подводном гравийно-песчаном карьере. Цель исследований заключалась в определении экологического эффекта разработки карьера на 1) метаболизм и выживание организмов, сталкивающихся с суспензиями мелкозернистого вещества; 2) изменение естественной среды, вызванные извлечением и передислокацией отложений; 3) передачу и распространение добавочных порций химических элементов подводным организмам; 4) химическую и физическую реакцию донных отложений в результате их интенсивного перемешивания.

Программа включала следующие этапы:

— изучение естественных биологических, океанографических и геологических характеристик экспериментального полигона;

— проведение шестинедельного цикла землечерпательных работ при помощи двух 840-мм центробежных насосов на площади 0,25 км<sup>2</sup>. (Грунт извлекался с глубины от 3 до 6,7 м, общий объем извлеченного материала составил 765 тыс. м<sup>3</sup>. Цикл загрузки включал двухчасовой забор донного грунта и 14-часовой перерыв на его транспортировку к месту разгрузки);

— изучение физико-химического и биологического взаимодействия между отложениями и водой, в частности лабораторные исследования связи между свойствами отложений и концентрациями токсичных элементов (тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ); исследования взаимосвязи физико- и биохимических характеристик осадков и энергетического бюджета морских организмов, испытание влияния работ на беспозвоночных животных, морские водоросли, планктон и рыб;

— теоретическое моделирование степени влияния крупномасштабных подводных добычных работ и оценка различных факторов, связанных с ними.

Более серьезную опасность представляет загрязнение акваторий подводных карьеров отходами применяемых при эксплуатации технических средств (подсланевыми водами, топливом, отработанным маслом и смазочными материалами), фекально-сточными водами, мусором и пищевыми отходами. Так, в на-

стоящее время содержание нефтепродуктов в воде, сбрасываемой системой охлаждения двигателей внутреннего сгорания на земснарядах, колеблется от 8 до 46 мг/л. Поскольку объемы сбрасываемой воды на крупных земснарядах достигают нескольких тысяч кубических метров в сутки, уровень загрязнения поверхности моря может быть очень высоким, особенно когда земснаряды работают на ограниченных площадях, например, в ледовых майнах. Существенным источником загрязнения являются тросы земснарядов, с которых в течение года поступает в воду до 100 кг смазки (с каждого судна), а также система смазки черпаковых скатов, на что в сутки расходуется по 18 кг солидола, в процессе работы почти полностью сгребаемого в воду. Поэтому очень важно при разработке морской горнодобывающей техники всеми силами снижать возможность «технологического» загрязнения среды.

Развитие сбора конкреций потребует механической обработки больших площадей дна. Как это повлияет на экологию океана? Прежде всего отметим, что это влияние распространится на живые организмы, живущие как на дне, так и в толще воды. Дно океана заселено слабо. Так, в западной части северной Атлантики плотность биомассы равна 9 мг/м<sup>2</sup>, а в наиболее перспективных для добычи конкреций районах Тихого океана оно не превышает 0,01 мг/м<sup>2</sup>. Таким образом, несмотря на медленный цикл восстановления глубоководных донных организмов разрушение поверхности дна при добыче, вероятно, не вызовет сильного отрицательного экологического эффекта.

Гораздо большее влияние оказывает механическое разрушение поверхности океанского дна на химический состав придонных слоев воды. Было установлено, что при работе черпаковой системы вымывание мелких частиц из черпаков осуществляется вблизи дна, т. е. загрязняются придонные слои вод. В конечном счете происходит транспортировка поднятой мути подводными течениями и ее осаждение на бентосе. Проведенные в Тихом океане эксперименты показали, что более крупные частицы ила будут оседать после вымыва из черпаков на расстоянии нескольких километров, а частицы диаметром менее 0,06 мм могут транспортироваться на многие километры даже при очень малых скоростях течений. Было подсчитано, что одна установка производительностью 3 млн. т в год поднимает за этот период со дна около 23 млн. м<sup>3</sup> осадков. Однако сопоставление этой цифры с масштабом естественного транспортирования осадков в океане все же позволяет сделать вывод о сравнительно слабом влиянии подобной добывающей установки на перераспределение донных грунтов. Например, в результате землетрясения 1929 г. в районе Большой Ньюфаундлендской банки образовался мутьевой поток длиной 3,5 км, шириной 350 км с толщиной слоя 100 м, который двигался с континентального склона в глубь океана. Объем транспортируемых осадков при этом составил 100 км<sup>3</sup>,

причем они покрыли собой площадь, равную 100 тыс. км<sup>2</sup> при толщине слоя от 40 до 100 см.

При эрлифтном способе подъема происходит перенос замутненных слоев богатой питательными веществами донной воды на поверхность. Это может вызвать возрастание биологической продуктивности верхних слоев воды, привести к их замутнению и активизации в новых условиях организмов, бездействовавших в донных условиях. Наблюдения показали, что глубинная вода чрезвычайно быстро прогревается и перемешивается с верхним слоем и уже не опускается вниз. Однако интенсивность роста биомассы фитопланктона становится заметной лишь тогда, когда содержание донной воды превышает 10 % общего объема. А поскольку примесь донной воды при работе эрлифта составляет менее 3 %, ученые в настоящее время предсказывают незначительное влияние и этого фактора на фитопланктон.

Таким образом, можно заключить, что по сравнению с естественными процессами перемещения грунтов в океане искусственные горные разработки не должны оказывать сильного влияния на среду. Однако учитывая мелкомасштабный характер выполненных к настоящему времени исследований, наличие неконтролируемых факторов и различных местных условий, в процессе промышленной разработки необходимо проводить постоянное наблюдение за окружающей средой. Исследования должны включать: наблюдения за процессом сбора конкреций; изучение распределения донных слоев воды с помощью меченых атомов; измерение параметров шлейфа взвешенных осадков посредством красителей; изучение поверхностного шлейфа взвешенных осадков по фотографиям, полученным со спутников и самолетов; непрерывное наблюдение за перераспределением осадков и воздействием их на флору и фауну.

Гораздо более сложные проблемы по защите среды возникают при добыче морской нефти. Интенсивное развитие морских нефтепромыслов совпало с началом широких исследований в области загрязнения Мирового океана отходами деятельности человека. Эти исследования показали чрезвычайно высокий общий уровень загрязнения океанских вод и дна различными веществами и в том числе нефтепродуктами, что привело к разработке во многих странах жестких правил проведения морского бурения. Так, правила, разработанные в 1973 г. Агентством по защите окружающей среды США, предусматривают составление для каждой морской платформы индивидуальных планов мероприятий и контроля по предупреждению утечек нефти, регламентирующих порядок выбора оборудования, выполнения производственных операций, мероприятия на случай аварии и программы специальной подготовки персонала. Правила требуют включать в состав персонала специалистов по борьбе с утечками нефти. Нарушение плана влечет за собой денежные штрафы в размере 500 дол. в сутки. В соответствии с этими пра-

вилами, вредными считаются утечки нефти, приводящие к изменению блеска и цвета морской воды и образованию на ней или на берегу нефтяных пленок. Для обнаружения таких загрязнений Береговая охрана США использует специальную систему AOSS, разработанную компанией «Аэроджет электро-систэм» и монтируемую на самолетах. Она включает радиолокационную установку с дальностью действия до 25 миль, которая обнаруживает нефтяные пятна в тумане и через облачность при минимальной толщине пленки (мономолекулярный слой) и при волнении моря до трех баллов. Система снабжена аппаратурой, работающей в инфракрасном, ультрафиолетовом и видимом диапазоне длин волн. В целом система AOSS позволяет обнаруживать нефтяные пятна днем и в темноте при скорости ветра до 13 м/с и высоте волн до 4 м, а также картировать их на расстоянии до 22 км [94]. Аналогичная аппаратура разрабатывается и в Советском Союзе.

Для обнаружения источника утечек нефти ученые Вудсхоллского океанографического института разработали метод анализа отобранных проб с помощью газового хроматографа. Проба испаряется при входе в хроматограф, после чего пары нефти пропускаются через трубку с абсорбентом. Входящие в состав нефти углеводороды имеют различную степень поглощаемости, а следовательно, и неодинаковое время выхода из хроматографа. Сравнивая время задержки с эталоном, можно идентифицировать каждый углеводород, а также определять их количественное содержание. Метод дает очень высокую степень точности идентификации пробы и источника загрязнения, причем сохраняет свою эффективность даже при исследованиях нефти, долгое время подвергавшейся воздействию моря, воздуха и солнца.

С учетом возросших требований по обеспечению защиты окружающей среды от загрязнения при бурении подводных скважин морские буровые платформы в последние годы стали оснащать специальными системами для утилизации вредных стоков и отходов. Одна из наиболее совершенных систем, позволяющая производить бактериологическое разложение нефтепродуктов, очистку, аэрацию и химическую обработку сбрасываемых за борт сточных вод, разработана фирмой «Лафлэнд». Она предусматривает установку на платформе палубного бортового ограждения высотой 1,5 м для предотвращения стока грязи через борт и дополнительных поддонов под всеми двигателями, лебедкой и ротором, а также системы трубчатых лотков, собирающих все загрязняющие стоки в основной трубопровод. Из последнего стоки поступают в специальный затвор, где из потока выделяются дизельное топливо и смазочные вещества, а очищенная вода через решетчатый фильтр, задерживающий крупные твердые частицы неорганического происхождения, уходит в аэрационную камеру. Там происходит разложение твердых

органических веществ, которые с помощью кислорода, вдуваемого через специальные диффузоры, перерабатываются микроорганизмами в двуокись углерода, воду и другие субстанции.

Далее раствор через дроссельную систему поступает в очистную камеру и освобождается от твердых частиц, возвращаемых специальным эрлифтом в аэрационную камеру. Частицы, плавающие на поверхности, удаляются из очистной камеры добавочным пеноснимающим устройством. Очищенные стоки через регулируемую заслонку поступают в бак, где они подвергаются дополнительной химической обработке, а затем сбрасываются в море.

Собранные в процессе очистки отходы сжигаются в двух печах; первая предназначена для жидкой грязи, вторая — для прочего мусора и твердых частиц. Обе печи снабжены установкой для вторичного сжигания, обеспечивающей полное удаление всех летучих компонентов, полученных после сжигания отходов. Несгоревшие остатки собираются в контейнеры и отвозятся на берег. Производительность очистной установки составляет около  $0,25 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Масса установки  $2,4 \text{ т}$ , габаритные размеры  $3,5 \times 1,9 \times 2,0 \text{ м}$ . Стоимость комплекта около 20 тыс. дол.

Введение строгих правил по борьбе с утечками нефти и внедрение соответствующих технических средств по предотвращению утечек и контролю за ними позволяют значительно уменьшить опасность нанесения серьезного ущерба морским обитателям в результате проведения буровых работ в море. Следует также учитывать способность морской среды к естественному разложению нефти. Как было сказано выше, при утечке нефти на поверхности воды образуется пленка, размеры и толщина которой зависят от количества разлитой нефти, ее вязкости, наличия ветра, течения и других условий. Образующаяся эмульсионная смесь нефти и воды постепенно окисляется воздухом. Происходит выщелачивание содержащихся в нефти водорастворимых компонентов и биологическое разложение нефти под действием бактерий, находящихся в воде. В результате нефть становится более плотной и темнеет из-за присутствия твердых частиц асфальта и смол. После вымывания этих частиц остается негорючий нерастворимый остаток, состоящий в зависимости от сорта нефти из густой консистентной смазки или черного вазелина, легко удаляемых судами-мусоросборщиками с поверхности моря. Показательным в этом отношении является тот факт, что интенсивный рост добычи морской нефти в Мексиканском заливе до недавнего времени не оказывал отрицательного влияния на развитие в этом районе рыболовства. Так, если в 1950 г., т. е. спустя два года после завершения бурения первой скважины на шельфе Луизианы, добыча рыбы в ее прибрежных водах составляла около 140 млн. т (6 % всей добычи рыбы в США), то к 1970 г., когда в этом районе действовало около 2800 буровых и эксплуатационных платформ, добыча рыбы воз-

росла до 455 млн. т, что составило 22 % от всей добычи рыбы в США [110].

Подробные сведения о влиянии на экологию двух морских платформ при безаварийной работе были получены в 1975—1976 гг. в Калифорнийском институте морских ресурсов. В качестве опытных полигонов были выбраны платформы «Хилдэ» и «Хэйзл», установленные в проливе Санта-Барбара на глубине 30 м в 1958 г. и 1960 г. без каких-либо специальных приспособлений для предотвращения загрязнения воды. Первый 29-месячный цикл наблюдений проводился на платформах в 1960 г. Было установлено, что под сооружениями и вблизи них обитает 47 видов рыб, 40 видов беспозвоночных и 14 видов водорослей, причем численность колоний рыб достигала 6000 особей. В 1970 г. наблюдения были повторены и показали, что постоянная популяция рыб увеличилась под платформой «Хилдэ» до 12 500 особей, а под платформой «Хэйзл» до 18 000 особей. К 1975 г. под платформами обитало уже 270 видов рыб, беспозвоночных и водорослей, а под каждой платформой жило в среднем около 20 000 рыб. Химический анализ тканей различных рыб и беспозвоночных в целях определения следов серебра, кадмия, хрома, меди, молибдена, никеля, свинца и цинка показал лишь незначительное повышение их концентрации. Было также отмечено практически полное отсутствие в мягких тканях рыб и мидий углеводов. Анализы образцов грунта, проведенные методами инфракрасной спектроскопии, гравиметрии и газовой хроматографии, показали незначительное содержание углеводов, причем последние не были внесены извне, а носили природный характер. На основании этих многолетних наблюдений был сделан вывод об отсутствии отрицательного воздействия безаварийной эксплуатации морских нефтедобывающих платформ на окружающую среду (при соблюдении мер по ее защите) и даны рекомендации по их использованию для искусственного разведения некоторых видов рыб и беспозвоночных с целью промышленной добычи.<sup>1</sup>

Одновременно с этими исследованиями в 1975 г. был проведен статистический анализ случаев загрязнения моря при бурении нефтяных скважин, который показал, что более 65 % общего объема разлитой нефти приходится на долю утечек. Наибольшую опасность представляют аварийные выбросы нефти, подобные выбросу, произошедшему 22 апреля 1977 г. на платформе «В» нефтепромысла Экофиск в Северном море. Выброс произошел во время проведения в скважине «ловильных» работ по подъему оставленного в ней на глубине 3000 м каротажного прибора. Обычный контрольный модуль с тремя отсекающими клапанами был снят и заменен предохранительным клапаном,

<sup>1</sup> Экспресс-информация ВИНТИ «Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы», 1977, № 19, реф. 144, с. 12—15.

к тому же неправильно установленным. При внезапном скачке давления в нефтеносном горизонте до 30 МПа этот клапан, установленный на глубине 60 м, не сработал, один из клапанов на палубе платформы был сорван, а другой по небрежности персонала оказался открытым. В результате в течение восьми дней (пока на устье водоотделяющей колонны не удалось установить заглушку массой 4 т), в море было выброшено 25 тыс. т нефти, которая при разливе образовала пятно площадью около 3000 км<sup>2</sup>. Из-за неблагоприятных погодных условий (скорость ветра достигала 15,5 м/с, высота волн — до 4 м) удалось собрать лишь 1/10 часть вытекшей нефти.

Специалисты считают, что среднее время ликвидации подобных аварий при неблагоприятных условиях может достигать 100 суток, т. е. при утечках 10—15 тыс. т в сутки в море может попасть до 1—2 млн. т нефти. Даже в случае испарения большей части разлитой нефти в морской среде при этом останется не менее 0,5 млн. т тяжелых фракций (немногим меньше годовых утечек при бурении). Частота катастрофических аварий на буровых и добывающих платформах в море, подобных случившимся в 1979 г. в Мексиканском заливе, очень мала, однако потенциальная опасность их чрезвычайно велика. По мнению специалистов, необходима скорейшая разработка нефтесборщиков производительностью не менее 150 т нефти в час, способных работать при волне высотой до 3 м, скорости ветра 10—11 м/с и течении — 1,5 уз. Кроме того, для локализации нефтяных пятен требуются боновые ограждения высотой 0,5 м над поверхностью воды с глубиной погружения не менее 1,0 м.

В настоящее время Береговая служба США имеет на вооружении секционные морские барьеры, которые можно сбрасывать в море с вертолета или самолета. Их надводная высота 0,53 м, подводная 0,6 м, длина 186,7 м (102 секции по 1,83 м). Их сборка требует участия судов — довольно сложная операция в условиях волнения.

Для сброса разлитой нефти Береговой службой США принят, в частности, на вооружение нефтесборочный агрегат фирмы «Локхид мизайл энд спэйс». Его рабочий орган выполнен в виде полупогруженного в воду вращающегося барабана, состоящего из отдельных дисков. Нефть налипают на диски и, когда они поднимаются из воды, удаляется специальными скребками. Во время полномасштабных испытаний агрегата была достигнута производительность 227 м<sup>3</sup>/ч при содержании воды в собранной нефти менее 7 %.

В последние годы широкое распространение получил метод искусственного осаждения нефти на дно с одновременной химической обработкой (нефть обрабатывается составом, плотность которого больше плотности воды). В борьбе с разливами нефти применяются также химические препараты на основе моющих средств и эмульгаторов, способствующие разделению крупных

пятен нефти на более мелкие, и специальные обогащающие вещества, которые облегчают бактериальный процесс разложения разлитой нефти. В качестве последних долгое время применялись азотные и фосфорные соли, пока не выяснилось, что они стимулируют рост водорослей.

Работы, выполненные в нашей стране под руководством М. П. Нестеровой, позволили создать комплексный метод обработки поверхности при утечке нефтепродуктов, в результате чего образуется сплошное загрязнение, препятствующее ее растеканию. В основе метода — сорбирующие свойства некоторых растительных, минеральных и синтетических веществ, образующих при соприкосновении с нефтью агломераты, легко подбираемые с поверхности воды обычными механическими средствами. Например, с помощью гидрофобизированных опилок удается связать и собрать до 99,9 % нефти. Оставшуюся тонкую пленку диспергируют в толще воды для того, чтобы нефть могла быстрее окислиться и расщепиться за счет естественных процессов. В качестве диспергирующих средств применяют отечественные препараты ЭПИ-5 и ДН-75<sup>1</sup>.

Следует особо подчеркнуть, что успешная борьба с разливом нефти в значительной степени зависит от правильности предсказания его поведения и перемещения. Впервые метод аналитического прогнозирования вероятности загрязнения северного побережья Аляски в случае утечек нефти был применен в 1975 г. в рамках программы мероприятий по подготовке к распродаже лицензий на буровые работы. Исследователи произвольно взяли 15 точек возможного разлива нефти на расстоянии 2—15 миль от берега. Для каждого пункта была построена роза ветров и на основании ее изучения определена вероятность достижения нефтяным пятном берега. С учетом ряда допущений был построен график зависимости времени достижения нефтью берега от расстояния и выведена эмпирическая формула для подсчета минимального времени:

$$T = -6,54 + 4,81x - 0,1x^2, \quad (3.9)$$

где  $x$  — расстояние до берега. Вероятность достижения пятном берега составила 40—96 %.

В дальнейшем этот метод был усовершенствован Геологическим управлением США и применен для анализа возможного загрязнения побережья США при разработке в течение 20 лет месторождения на участке площадью 4800 км<sup>2</sup> в районе банки Джорджеса на расстоянии 87—376 км от берега. Была определена 91 %-ная вероятность возникновения в течение этого периода одного или нескольких случаев разлива 160 м<sup>3</sup> (или

<sup>1</sup> Экономические проблемы Мирового океана. Одесса, 1977, с. 61—63 (Тезисы докладов Всесоюз. конференции).

более) нефти. Вероятность того, что пролитая нефть попадет на берег, варьировалась в пределах 2—23 %. Одновременно был сделан долгосрочный прогноз суммарного загрязнения побережья в результате постоянных небольших утечек нефти (рис. 3.25) [11].

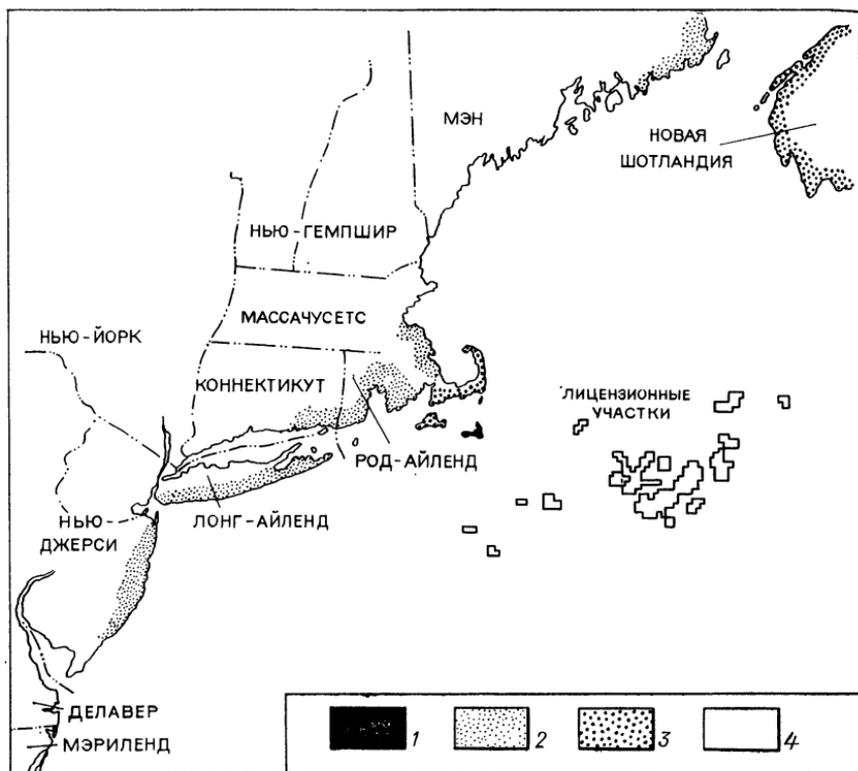


Рис. 3.25. Карта прогноза возможного загрязнения побережья США при постоянных небольших утечках нефти в течение двадцатилетней разработки Северо-Атлантического шельфа.

1 — от 113 до 1130 кг/км; 2 — от 11,3 до 113 кг/км; 3 — от 1,13 до 11,3 кг/км; 4 — менее 1,14 кг/км.

В связи с расширением буровых работ в Арктике Служба Береговой охраны США с 1970 г. привлекает ученых для исследования поведения разлитой нефти и способов ее уничтожения в условиях многолетних льдов. В частности, было обнаружено, что в летний период вылитая под лед нефть поднималась на его поверхность и держалась там не растекаясь, причем верхний слой раскристаллизованного льда поглощал до 25 % объема нефти. Анализы проб воды не показали присутствия каких-либо микроорганизмов, способных снижать содержание углеводородов, поэтому наилучшим способом борьбы с раз-

ливами нефти было признано поглощение с помощью соломы и сжигание, оказавшееся эффективным как на воде, так и на льду, причем обычно сгорало до 90—98 % разлитой нефти. Однако проблема сбора нефти в Арктике в зимний период еще далека от решения и требует проведения специальных исследований.

## Глава 4

---

### ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ВОСПРОИЗВОДСТВА МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

#### 4.1. Количественная оценка запасов промысловых организмов

«Океаны и моря,— писал академик Л. А. Зенкевич,— представляют собой в наиболее ярко выраженной степени целостный природный объект с тесным взаимодействием и взаимообусловленностью всех протекающих в нем процессов». Вся совокупность населяющих моря и океаны живых организмов образует биологические ресурсы Мирового океана. В результате роста и развития этих организмов происходит новообразование биомассы — биологическое продуцирование, об уровне которого судят по величине продукционных показателей. Основной из них — масса живого вещества, воспроизведенного в водоеме за единицу времени.

Биологическая продуктивность Мирового океана в значительной степени зависит от океанологических характеристик его районов, рельефа дна, баланса биогенных элементов и особенностей продуцирования фито- и зоопланктона [37]. Поэтому для получения полной ее характеристики необходимы длительные комплексные исследования. Значительно легче оценить суммарную промысловую продукцию, которая на один — три порядка ниже общей продукции беспозвоночных, планктона и бентоса.

Другой важнейший показатель биологических ресурсов океана — запас, т. е. совокупность всех видов организмов, которые являются или могут стать предметом промысла. В последние годы все большее внимание уделяется определению запасов непромысловых и хозяйственно малоценных объектов: кормовых (для рыб или промысловых беспозвоночных), вредных — врагов или конкурентов промысловых объектов, организмов-мелиораторов и др.

Научная организация использования биологических ресурсов невозможна без конкретной оценки запаса и учета количе-

ственных изменений, происходящих с ним под влиянием промысла. Рациональный промысел базируется на следующих принципах: структура промыслового стада есть результат взаимодействия пополнения, роста и убыли трансформируемых через среду обитания животных; необходимое соответствие между запасом и выловом (оптимальный улов) можно получить только путем селективного промысла, специфического для каждого вида и условий его существования.

Промысловое стадо изучается путем отбора проб. Для их анализа широко используются методы математической статистики и теории выборочных наблюдений, позволяющие получить сведения о генеральной совокупности. Наряду с этими методами получили распространение методы построения математических моделей, характеризующих состояние промыслового стада. Однако необходимо отметить, что теория использования промысловых запасов разработана в основном для рыб; многие важные вопросы, присущие хозяйственному использованию морских беспозвоночных и водорослей, еще ждут решения.

К настоящему времени получена общая картина количественного распределения в Мировом океане первичной продукции и зоопланктона, населяющего поверхностный 100-метровый слой океанических вод. Сведения о количественном распределении других пелагических организмов (фитопланктон, нектон, население больших океанских глубин) все еще ограничены.

Количественные исследования населения морей и океанов стали возможными только после появления орудий количественного сбора — планктонной сетки, изобретенной в 1877 г. немецким планктологом Гензеном, и дночерпателей, введенных в практику морских исследований в 1910 г. датским зоологом Петерсоном. И в настоящее время дночерпатель служит основным орудием количественных сборов бентоса: на дночерпательных пробах, полученных с площади 0,2—0,25 м<sup>2</sup>, основано большинство известных данных о биомассе бентоса. Однако количественные методы сбора донной фауны дночерпателями весьма несовершенны, и полученные с их помощью показатели значительно занижены по сравнению с фактическими. Вследствие небольшой площади дночерпателя в него обычно не попадают крупные животные, распределенные на дне разреженно и неравномерно, а также быстродвигающиеся животные, спугиваемые движением воды перед падающим дночерпателем. Более точные данные о численности организмов, обитающих на поверхности грунта, дает траловая съемка, но она не позволяет учитывать закапывающихся животных, численность и биомасса которых довольно значительны. Наиболее достоверный количественный учет донных организмов в верхней сублитерали может быть выполнен с помощью водолазов. На мягких грунтах биомасса, определенная водолазами, оказывается в 1,5—3 раза больше по сравнению с данными дночерпательных проб. На твердых грун-

тах (камни, скалы) эти показатели могут различаться на порядки и больше.

Существующие в настоящее время методы определения запаса можно разделить на две группы: методы прямого подсчета и методы оценки относительных показателей, косвенно характеризующих состояние запаса.

В основе прямых методов лежит предположение о том, что промысловые объекты в течение заданного промежутка времени равномерно распределены по рассматриваемой промысловой площади. Получаемая информация основывается на визуальном методе учета, использовании количественных орудий лова, применении фото-, кино- и телеустановок, подсчете численности отложенных икринок, гидролокации, использовании результатов мечения, определения величины уловов. Косвенные методы в отличие от прямых не позволяют вычислить промысловый запас в массовом или штучном выражении, но дают возможность судить о характере изменений численности и состава промыслового стада по изменению тех или иных показателей его биологического процветания или угнетения. Очевидно, что любые методы должны учитывать особенности биологии данного вида, структуру ареала, связь между ареалом и промысловыми полями.

Один из наиболее широко используемых прямых методов оценки запаса — определение улова при разведочном тралении (траловая съемка). В основе обработки результатов такой съемки лежит принцип случайной выборки. Численность популяции определяется по формуле Грослайна

$$N = \bar{N}S/\gamma s, \quad (4.1)$$

где  $\bar{N} = (\sum_i s_i N_i)/S$  — осредненный улов с единицы площади (индекс численности);  $S$  — общая площадь обследуемой акватории;  $\gamma$  — абсолютный коэффициент уловистости;  $s$  — протраленная площадь. Чтобы повысить представительность получаемых данных, необходимо при расчете учесть дисперсию индекса численности. Советскими исследователями<sup>1</sup> предложено оценивать эту величину как сумму вида

$$\sigma_{\bar{N}_i}^2 = \sigma_{\bar{N}_k}^2 + \sigma_{\bar{N}_y}^2 + \sigma_{\bar{N}_b}^2 + \sigma_{\bar{N}_o}^2 + \sigma_{\bar{N}_{B3}}^2 + \sigma_{\bar{N}_H}^2, \quad (4.2)$$

где отдельные слагаемые — вариации, обусловленные колебаниями плотности распределения промысловых объектов ( $\sigma_{\bar{N}_k}$ ), изменением уловистости ( $\sigma_{\bar{N}_y}$ ), временем суток ( $\sigma_{\bar{N}_b}$ ), опытом экипажа ( $\sigma_{\bar{N}_o}$ ), взаимодействием перечисленных факторов ( $\sigma_{\bar{N}_{B3}}$ ) и неучтенными факторами ( $\sigma_{\bar{N}_H}$ ).

<sup>1</sup> Биденко Г. Е. и др. — Тр. АтлантНИРО, Калининград, 1977, вып. 73, с. 30—38.

Для оценки плотности скоплений пелагических рыб успешно используются акустические методы. Разреженные скопления изучаются с помощью высокочастотных эхолотов, обладающих хорошей разрешающей способностью. Для изучения плотных скоплений применяют низкочастотные эхолоты. Часто оценка плотных скоплений требует комплексного использования акустических и фотографических методов.

Для учета пелагических и особенно донных скоплений рыб и беспозвоночных широко применяется притраловая фотограмметрическая съемка — особый вид измерительной фотосъемки, обеспечивающей точную дешифровку снимков. При такой съемке приходится учитывать влияние самого трала на результаты учета. Для определения этого влияния проводились сравнительные визуальные оценки плотности невозмущенного скопления рыб и скопления на входе в трал [18]. Было установлено, что в зоне съемки плотность скопления увеличивается. Это объясняется двумя причинами: предварительной концентрацией рыбы под воздействием турбулентности, создаваемой элементами, движущимися перед тралом, и движением рыбы внутри трала в направлении траления. Данные сравнительной оценки позволяют определить коэффициенты концентрации объектов для различных типов тралов и внести соответствующие поправки в расчеты.

Чтобы вести прямое фотографическое измерение плотности скоплений объектов лова без учета поправок на указанные возмущения, необходимо выносить регистрирующую аппаратуру за пределы зоны сильных возмущений. Для этого рекомендуется использовать специальный трос (фальшподбору), натянутый между траловыми досками, обеспечивающими горизонтальное раскрытие трала (вертикальное раскрытие создается с помощью поплавок и грузов). На центральной части фальшподборы устанавливаются две-три фотокамеры типа «Тритон» или «Тритон-2». Благодаря малым размерам и импульсному характеру подсветки буксируемые на трале фотокамеры меньше пугают рыб, чем обитаемые аппараты или телевизионные устройства с постоянным освещением [52].

Если же необходимо исследовать поведение объекта и выработать методику определения плотности его распределения, то здесь незаменимы обитаемые подводные аппараты, а на малых глубинах — водолазы. Визуальные наблюдения позволяют с наибольшей точностью изучать распределение крупных донных рыб и беспозвоночных, ведущих одиночный образ жизни и не реагирующих на присутствие подводного аппарата или водолаза.

Особенности визуальной оценки плотности скоплений рассмотрены в работе [18]. Автор описывает методику применительно к наблюдениям донных скоплений с помощью подводного аппарата, однако полученные закономерности могут быть

применены и к наблюдениям, выполненным водолазами. При движении наблюдателя вблизи дна просмотренная им площадь

$$S = 2hvt \operatorname{tg} \beta / \cos \alpha, \quad (4.3)$$

где  $h$  — расстояние от иллюминатора подводного аппарата до дна,  $v$  — скорость движения,  $t$  — время наблюдения,  $\beta$  — половинный угол зрения из иллюминатора,  $\alpha$  — угол отклонения направления визирования от вертикали.

Просматриваемый объем воды в таком случае

$$V = Sh/2. \quad (4.4)$$

При движении подводного аппарата в толще воды вдали от дна просмотренный объем воды

$$V = L_{\max}^2 vt (\operatorname{tg}^2 \beta / \cos \alpha), \quad (4.5)$$

где  $L_{\max}$  — дальность видимости в воде.

Расстояние  $h$  определяется с помощью эхолота, установленного на подводном аппарате, оптическим дальномером или визуально. Значения углов находят расчетным путем. Дальность видимости  $L_{\max}$ , как правило, определяется визуально, для чего необходима специальная тренировка наблюдателя на тест-объектах. По окончании наблюдения определяют среднюю плотность скопления каждого вида: для донного распределения  $\delta_s = N/S$ , для объемного распределения  $\delta_v = N/V$ .

При оценке достоверности результатов необходимо учитывать особенности поведения подвижных организмов по отношению к наблюдателю. Так, ориентирование рыб в случайных направлениях может свидетельствовать об отсутствии влияния подводного аппарата на их поведение.

Проводя учет рыб из подводного аппарата, а затем траление с притральной фотосъемкой по тому же маршруту (или чередуя спуски и траления на одном скоплении), можно подсчитать коэффициент концентрирования рыб тралом и коэффициенты уловистости. Эти показатели в дальнейшем используются для определения абсолютных плотностей скоплений по фотосъемкам или уловам без дополнительных спусков подводных аппаратов.

Рассмотрим вопрос о величине необходимой выборки, имеющий важнейшее значение при учете донных организмов независимо от используемого метода. Будем считать, что учитываемые организмы распределены на грунте случайным образом; это вполне допустимо при учете крупных и достаточно редко распределенных животных, к которым относится большинство промысловых организмов. Плотность распределения объектов численностью  $N$  на некоторой площади  $S$  определяется формулой  $\delta = N/S$ . Дисперсия величины  $\delta$  складывается из дисперсий

определения средних значений случайных величин  $N$  и  $S$ . Поэтому для доверительных интервалов можно записать

$$\Delta\delta = \delta \sqrt{\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2}, \quad (4.6)$$

где  $\Delta\delta$ ,  $\Delta N$ ,  $\Delta S$  — доверительные интервалы соответственно для  $\delta$ ,  $N$  и  $S$ .

Для относительных погрешностей  $\varepsilon_\delta = \Delta\delta/\delta$ ,  $\varepsilon_N = \Delta N/N$  и  $\varepsilon_S = \Delta S/S$  получим

$$\varepsilon_\delta = \sqrt{\varepsilon_N^2 + \varepsilon_S^2}. \quad (4.7)$$

Количество экземпляров, попадающее в случайно выбранную область, распределено по закону Пуассона. Пусть на дно  $m$  раз брошена учетная рамка, а количество попавших в нее животных оказалось равным  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ . При пуассоновском распределении нет необходимости знать отдельные значения  $x$ , достаточно определить сумму  $\sum_{i=1}^m x_i$ , т. е. общее количество

подсчитанных особей. На основании этого можно построить график (рис. 4.1), определяющий доверительные интервалы для среднего значения плотности распределения объектов при различной относительной погрешности (величина  $\varepsilon_\delta$  определена по литературным данным).

Для оценки запасов организмов, обитающих на мелководье, широко используют водолазов. В этом случае животные подсчитываются или на точно определяемой площади, обычно внутри укладываемой на дно рамки заданного размера, или на приближенно определяемой площади, например, на полосе, направление которой задается протянутым по дну фалом, или даже на неучтенной площади, когда фиксируется только время движения пловца.

Для оценки границ применимости разных методов обратимся к рис. 4.1. Видно, что при малых  $N$  (менее 20) значение  $\varepsilon_\delta$  определяется главным образом величиной выборки и мало зависит от  $\varepsilon_S$ . Отсюда следует, что применение пробных рамок предпочтительнее при учете животных с большой плотностью распределения (выше 0,2 особи/м<sup>2</sup>). При подсчете организмов с малой плотностью распределения преимущество имеют методы, позволяющие увеличить объем выборки путем быстрого просмотра большой площади и существенно повысить эффективность учета. Так, при учете методом многократных галсов пловец движется прямыми галсами на определенном расстоянии от дна. Подсчет животных проводится на полосе, ширина которой определяется полем зрения маски или нанесенными на стекло двумя визирными линиями. Длину пройденного пути

подсчитывают с помощью лага, по времени движения или по числу выполненных галсов. Расстояние от дна и средняя скорость движения для опытного водолаза весьма стабильны, и ошибка в их определении не превышает 10 %.

Если форма участка учета близка к кругу, то пловец движется произвольными галсами, меняя курс на границе участка. На лишенном ориентиров дне или в малопрозрачной воде точка поворота определяется натяжением сигнального конца, которым пловец связан с лодкой; при работе в очень прозрачной воде с заметными ориентирами граница участка легко определяется визуально.

Просмотренная площадь составит

$$S = Ld - S_{\text{пер}}, \quad (4.8)$$

где  $S_{\text{пер}}$  — площадь всех пересечений галсов (участков, проходимых дважды),  $L$  — длина пути,  $d$  — ширина учетной полосы.

Зависимость средней относительной площади пересечений  $S' = S_{\text{пер}}/d^2$  от относительной длины пути  $L/R$  (участок учета — круг радиусом  $R$ ) можно представить графически (рис. 4.2). Истинное количество особей на просмотренной площади определяется разностью  $N_{\text{ист}} = N_{\text{об}} - \delta S_{\text{пер}}$ , или  $N_{\text{ист}} = N_{\text{об}} \left(1 - \frac{Sd}{L}\right)$ ,

где  $N_{\text{об}}$  — подсчитанное пловцом число особей. Учет на участке заканчивается, когда истинное количество особей, вычисленное по этой формуле, обеспечит желаемую точность (см. рис. 4.1). При большом объеме исследований и достаточном опыте обрабатываются наиболее удобные параметры учета  $d$ ,  $L$  и  $R$ , что позволяет использовать упрощенное выражение  $N_{\text{ист}} = cN_{\text{об}}$ , где  $c$  — постоянная для данных условий величина.

Если животные подсчитываются на участке в виде полосы, то пловец движется зигзагообразными галсами. При этом точки поворота должны быть расположены за пределами скопления организмов (рис. 4.3). Если на участке шириной  $k$  сделано  $q$  галсов, то для средней плотности распределения получим  $\delta = N/qdk$  (рис. 4.3, а) и  $\delta = N \cos \alpha / qdk$  (рис. 4.3, б).

Во многих случаях запас наиболее удобно оценивать по результатам сбора. Для определения плотности распределения организмов с помощью этого метода следует воспользоваться формулами, приведенными в § 4.3.

Для учета запасов морских растений и донных животных, образующих однородные скопления, можно использовать метод

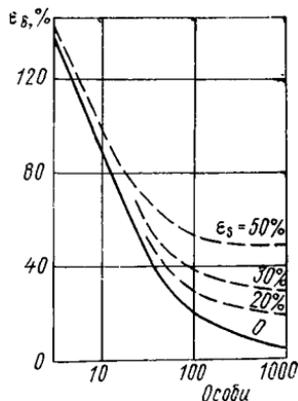


Рис. 4.1 Погрешность определения плотности распределения организмов в зависимости от величины выборки.

линейного пересечения Кенфилда, широко применяющийся в геоботанике. Здесь в качестве учетных единиц используются случайно расположенные линейные трансекты равной длины,

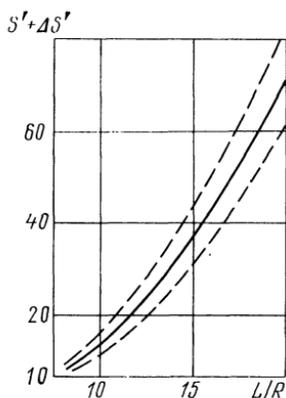


Рис. 4.2. Зависимость относительной площади пересечений ( $S'$ ) от относительной длины пути ( $L/R$ ) на участке учета, имеющем форму круга.

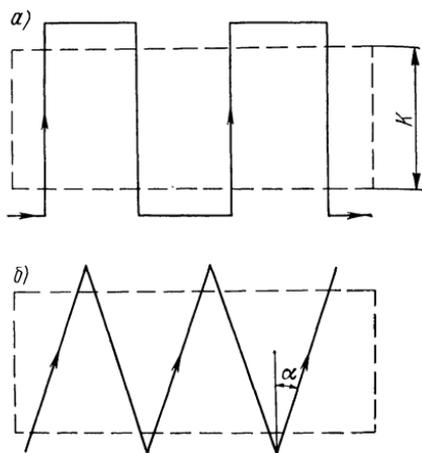


Рис. 4.3. Учет на площадке в форме вытянутой полосы.

на которых измеряются отрезки их пересечения с пятнами изучаемого объекта. Учет ведется по формуле

$$P = \frac{\sum_1^n l_i \cdot 100}{L}, \quad (4.9)$$

где  $P$  — доля занятой площади, %;  $l_i$  — отрезки пересечения;  $L$  — длина трансекты.

Длина и количество используемых трансект зависит от рельефа дна и характера распределения учитываемого объекта [15].

## 4.2. Орудия лова и их взаимодействие с промысловыми объектами

С точки зрения подводного технолога орудия лова промысловых объектов представляют собой специализированные подводные аппараты. Общей структуре подводных аппаратов лучше всего отвечают разноглубинные и донные тралы. Как и другие виды необитаемых подводных аппаратов [38], они имеют пульт управления, расположенный на судне обеспечения (в данном случае на промысловом), буксирно-кабельную и заборную части. В последней можно выделить рабочий орган (собственно трал) и аппаратуру внешней информации.



Рис. 4.4. Классификация орудий лова, выполненная на основе анализа принципа работы орудий (А), способа движения (Б) и способа управления орудиями (В).

Установленные на трале приборы контролируют глубину хода, расстояние до грунта, раскрытие трала, степень наполнения рыбой, температуру воды. Контроль параметров орудия лова осуществляется либо по кабельному каналу связи, либо по гидрораспустительному.

Конструкции других видов орудий лова могут значительно отклоняться от указанной схемы. Помимо конструкции рабочего органа наибольшее разнообразие технических решений наблюдается в деталях, соединяющих его с промысловым судном. Эти устройства в ряде случаев не только сообщают движение подводному аппарату, но и служат для транспортировки уловленных организмов на борт судна.

У неподвижных орудий лова, например насосных, транспортировочная функция соединительной части является основной.

Ниже рассматриваются вопросы, связанные с функционированием рабочих органов орудий лова, которые в соответствии с установившейся в рыбохозяйственной практике терминологией в дальнейшем будем называть просто «орудиями лова».

Рис. 4.5. Цикл работы орудия лова.  
1 — спуск под воду; 2 — рабочая операция;  
3 — подъем; 4 — разгрузка улова.

Возможно несколько вариантов классификации орудий лова [29, 39, 57]. На рис. 4.4 приведена классификация, основанная на результатах анализа зон действия (влияния) орудий лова и цикла их работы [39].

Специальной функцией орудий лова является взаимодействие со скоплениями промысловых организмов. Оно осуществляется во времени и пространстве по определенному циклу, свойственному каждому виду орудия. Наиболее характерный цикл работы орудия лова показан на рис. 4.5. Как можно видеть, в сферу задач подводной технологии непосредственно входят только рабочие операции и подъем на поверхность. Рабочие операции для подвижных орудий — это обеспечение их движения с определенной скоростью в заданном направлении, для неподвижных — управление их работой или управление поведением объектов в зоне действия орудий [56]. Именно эти операции определяют основной принцип работы орудия лова, т. е. тип его взаимодействия со скоплениями промысловых организмов.

Если все операции, связанные с процессом лова, производятся последовательно, то время одного цикла составит

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (4.10)$$

где  $t_1, t_2, t_3, t_4$  — время выполнения отдельной операции.

Время выполнения подвижным орудием лова одной операции определяется по формуле

$$t_i = L/v, \quad (4.11)$$

где  $L$  — длина пути (горизонтального или вертикального);  $v$  — средняя скорость.

Орудия лова работают по двум принципиально отличающимся схемам (рис. 4.6). По первой работают орудия, у кото-

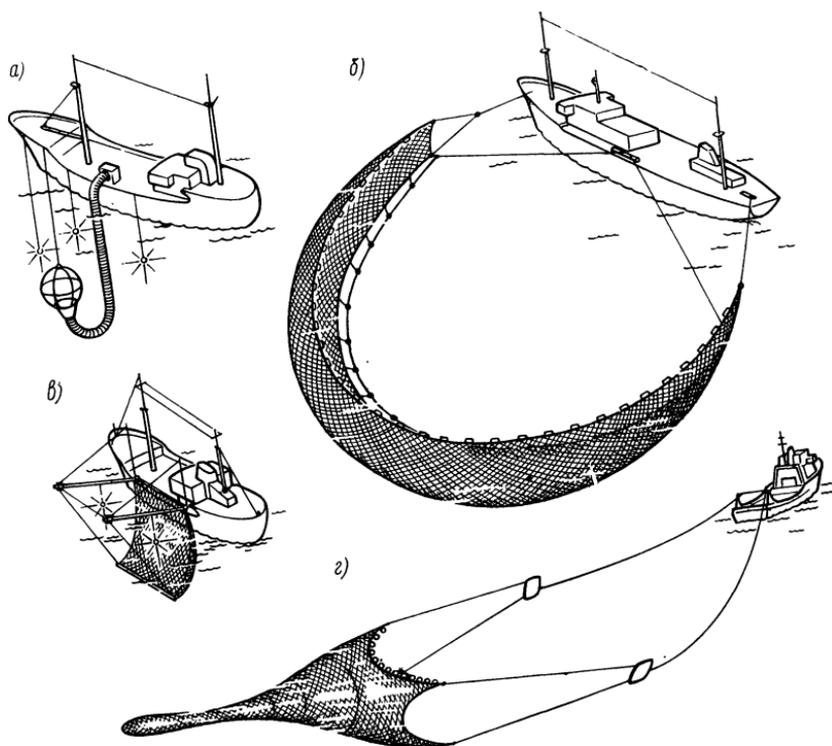


Рис. 4.6. Некоторые способы лова в открытом море: *а* — рыбонасосом на свет; *б* — кошельковым неводом; *в* — бортовой подъемной ловушкой; *г* — пелагическим траалом.

рых рабочая операция выполняется «открытым» способом (контактные, тралящие, насосные орудия). В процессе работы эти орудия имеют постоянную зону действия. По второй схеме работают орудия лова, у которых рабочая операция выполняется по «замкнутому» способу (кошельковые и закидные невода, бортовые ловушки).

Одним из основных путей совершенствования технологических операций является обеспечение непрерывного режима работы оборудования. Однако по непрерывному способу могут

работать только орудия лова с «открытой» рабочей операцией. При этом возможны три варианта (рис. 4.7): в двух первых рабочая операция осуществляется непрерывно, тогда как подача улова производится либо периодически, либо непрерывно; в третьем непрерывность достигается за счет последовательного использования нескольких рабочих органов, каждый из которых работает по периодическому циклу. Орудия лова с «замкнутой» рабочей операцией после ее завершения должны быть возвращены в исходное положение, поэтому они не могут осуществлять рабочую операцию непрерывно.

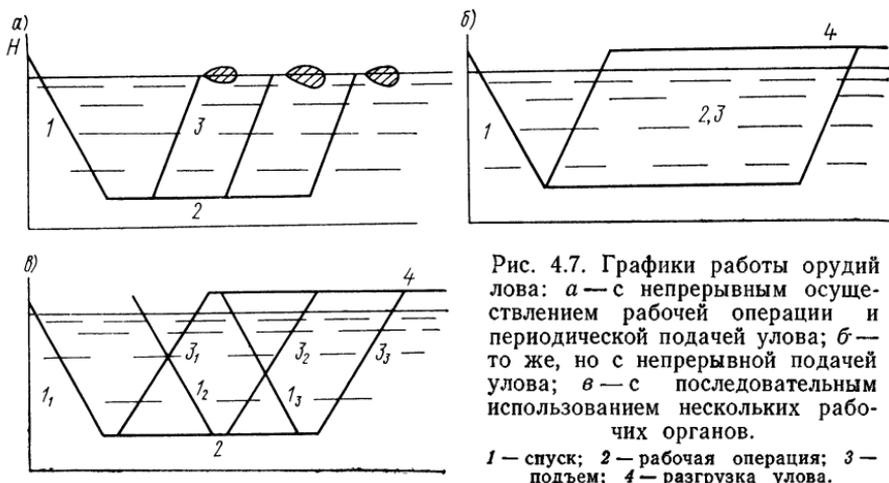


Рис. 4.7. Графики работы орудий лова: а — с непрерывным осуществлением рабочей операции и периодической подачей улова; б — то же, но с непрерывной подачей улова; в — с последовательным использованием нескольких рабочих органов.

1 — спуск; 2 — рабочая операция; 3 — подъем; 4 — разгрузка улова.

Вокруг работающего орудия лова создается несколько зон, отличающихся друг от друга характером и степенью воздействия на промысловые объекты [39]. Под зоной влияния понимается пространство, в котором проявляется воздействие на промысловые объекты полей, создаваемых орудиями лова, в результате чего поведение промысловых объектов меняется. В зависимости от природы поля это влияние может носить отпугивающий или привлекающий характер. Очевидно, что привлекающие поля дополняют и расширяют возможности орудий лова, увеличивают их эффективность. Под зоной действия понимается пространство, в котором проявляется действие полей орудия лова на промысловые объекты, в результате чего происходит их улавливание. Для выполнения этой операции необходимо обеспечить относительное движение объекта и орудия лова. Улавливающее действие орудий лова, как и любой процесс, происходит в пространстве и времени и определяется принципом работы орудия лова. Под зоной удерживания понимается пространство, в котором проявляется удерживающая способность орудия лова.

Взаимное расположение зон зависит от типа орудий лова. Как правило, зона влияния и поля влияния располагаются перед зоной действия орудия лова. Зона удерживания у тралящих орудий, ловушек и насосных орудий располагается за зоной действия. У контактных орудий лова (крючковые и объечивающие) зона действия и зона удерживания совпадают. Поле влияния, созданное искусственным путем, как правило, больше зоны влияния и зоны действия. Размер поля влияния зависит от силы раздражителя и от характера его распределения в водной среде. Физическое поле, источником которого служит непосредственно орудие лова или средства интенсификации промысла, можно рассматривать как поле сигнала, а поля, образованные другими источниками,— как поле шумов. Зона действия источника поля, в свою очередь, подразделяется на ряд зон. Так, если рассматривать зону действия в связи с биологической значимостью раздражителя, то в самом общем случае по мере удаления от источника поля следует выделить зоны безусловной реакции, условной реакции, ориентировочной реакции и зону обнаружения. В зависимости от вида реакций, вызываемых физическим полем, различают участки допороговых, пороговых, нормальных, максимальных и сверхсильных раздражений. Исходя из задач управления ловом физические поля орудий лова и средств интенсификации промысла можно разбить на зоны управляющих, нейтральных и отрицательных воздействий. Наличие зон управляющих и неуправляющих воздействий и положение их границ зависит от параметров физического поля, вида орудия и техники лова, относительного расположения орудия лова и физических полей, особенностей распределения и состояния промысловых организмов, условий внешней среды и ряда других причин.

В процессе лова размеры и форма зон управляющих и неуправляющих воздействий могут изменяться, поэтому делить поле на зоны и участки необходимо не только в пространстве, но и во времени. Разбивка поля по пространственному признаку позволяет установить функции отдельных его участков, наметить пути улучшения качества поля, изменяя параметры и распределение орудий лова и средств интенсификации промысла, технику и организацию лова. Общая методика определения размеров зон и участков физических полей разработана В. Н. Мельниковым [31].

Поля орудий лова взаимодействуют со скоплениями организмов, распределенными в водной толще или на поверхности дна. Само водное пространство и находящиеся в нем промысловые объекты, как правило, постоянно движутся. Распределение и поведение скоплений организмов, их размеры и концентрация зависят от многочисленных факторов биологического и гидрологического характера и меняются по времени. В обобщенном виде количество объектов в улове  $N$  является функ-

цией концентрации промысловых объектов  $\delta$ , пространства  $Q$ , в котором они распределены, и абсолютного коэффициента уловистости  $\gamma$ :

$$N = f(\delta, Q, \gamma). \quad (4.12)$$

Последний наиболее просто и в то же время точно определяется для траллирующих орудий лова, если известны данные об абсолютной плотности организмов на пути трала (полученные, например, с помощью притралового фотоавтомата):

$$\gamma = 100N/S\delta_S, \quad (4.13)$$

или

$$\gamma = 100N/V\delta_V, \quad (4.14)$$

где  $S$  и  $V$  — размеры зоны облова в единицах площади или объема,  $\delta_S$  и  $\delta_V$  — плотность скопления на единицу площади или объема.

В общем случае абсолютный коэффициент уловистости можно выразить функцией

$$\gamma = f(\eta, \omega), \quad (4.15)$$

где  $\eta$  — коэффициент, отражающий уловистость в зависимости от способа лова и режима применения орудия лова,  $\omega$  — коэффициент, связывающий уловистость с поведением объекта в процессе лова. При лове неподвижных и малоподвижных объектов выражение (4.15) упрощается:  $\gamma = f(\eta)$ .

Для практического определения абсолютного коэффициента уловистости воспользуемся выражением

$$\gamma = N/N_0, \quad (4.16)$$

где  $N_0$  — количество объектов в зоне влияния орудия лова. Из всех объектов, находящихся в зоне влияния, улавливается только некоторая часть  $N_1$ , другая часть  $N_2$  может выйти из этой зоны. Из зоны удерживания орудия лова также может выйти часть объектов  $N_3$ . Таким образом, улов будет определяться формулой

$$N = N_1 = N_0 - N_2 - N_3. \quad (4.17)$$

Разделив это выражение на  $N_0$ , получим формулу для абсолютного коэффициента уловистости

$$\gamma = 1 - (N_2/N_0 + N_3/N_0). \quad (4.18)$$

Если количество объектов, выходящих из зоны действия орудия лова и зоны его удерживания, стремится к нулю, получим  $\gamma = N/N_0 = 1$ . Следует обратить особое внимание на то, что, хотя при  $\gamma = 1$  орудие лова работает с максимальным КПД, такой случай можно считать идеальным только с технической точки зрения. Высокая уловистость обязательно должна сочетаться с высоким уровнем другой важной промысловой характеристики — селективности (избирательности).

Селективность позволяет избежать лова непромысловых объектов. Она достигается несколькими способами. Прежде всего — это правильный выбор времени и места лова. Возможно применение различных физических полей, отпугивающих одни виды (возрастных группы) животных и привлекающих другие. Наконец, селективность обеспечивают чисто механическими способами — например выбором размера ячеек трала. Наиболее изучена селективность сетных орудий [57].

Данных о селективности других типов орудий лова очень немного. Поэтому большой интерес представляют результаты детального анализа работы гребешковой драги, выполненного Чапманом и др. Авторы определили, что кривая селективности драги имеет необычный характер (рис. 4.8): с увеличением размеров гребешков вероятность их поимки вначале возрастает, а затем, начиная с определенного размера, быстро падает. Это показывает, что общая селективность драги определяется не только селективностью ее элементов, но и какими-то другими факторами [71]. По мнению авторов, эмпирическая кривая селективности драги может быть интерпретирована следующим образом.

Селективность зубьев и сетевого мешка драги описывается обычной для сетных орудий кривой (пунктирная линия на рис. 4.8). Если бы селекция этого типа была единственным фактором, эффективность лова крупных гребешков оказалась бы равной 100%. Однако общая селективность ограничивается другим фактором (штриховая линия на рис. 4.8), природу которого раскрыли водолазы. Они показали, что при движении драги перед ее зубьями образуется валик из грунта, ракушек и т. п., затрудняющий попадание в драгу животных. При этом вероятность поимки крупных гребешков, более глубоко погруженных в грунт, меньше, чем находящихся поблизости гребешков среднего размера.

Результаты, полученные шотландскими исследователями, можно использовать при анализе работы орудий лова разных типов, когда селективность определяется комплексом факторов. (Селективность водолазного промысла будет рассмотрена нами в разделе, посвященном этому методу лова.)

Значительный интерес представляет вопрос о влиянии работы орудия лова на окружающую среду и выживаемость

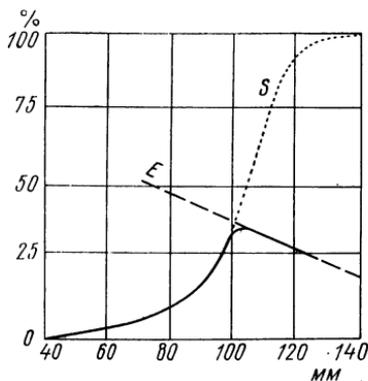


Рис. 4.8. График общей селективности стандартной гребешковой драги, определяемой селективностью зубьев и сетевого мешка, а также эффективностью захвата.

организмов, взаимодействующих с орудиями лова, но не уловленных ими. Этот показатель позволяет оценить целесообразность тех или иных мероприятий, направленных на улучшение промысловых характеристик и повышение селективности. Установлено, что большинство рыб, уходящих через ячею трала, остаются невредимыми или получают незначительные повреждения [57]. Донный трал улавливает значительное количество непромысловых животных и, хотя почти весь «прилов» выпускается после разбора улова обратно в море, большинство этих организмов (прикрепленные формы) обречены на гибель; многие другие сильно повреждаются и тоже погибают. Особенно большой вред траловый лов наносит в периоды нереста, нагула молоди, когда вместе с нерестующими производителями уничтожается нерестовый субстрат и отложенная на нем икра.

Очень большой ущерб донным животным наносит промысел водорослей. Так, в Японском море при драгировании анфельции уничтожается огромное число обитающих на ней животных, в том числе и молодь промысловых видов. Канадские ученые провели исследование влияния на популяцию омаров промысла драгами водоросли хондрус (ирландский мох). Было установлено, что убытки от драгирования в результате гибели омаров составляют 18 % стоимости добытых водорослей (или 7 % стоимости добытых омаров за сезон).

В основе совершенствования существующей техники, технологии рыболовства и разработки новых приемов лова лежат данные о поведении промысловых объектов в зоне действия орудий лова. К настоящему времени накоплен значительный материал по поведению рыб в зоне облова орудиями разных типов: ставных неводов, ловушек, насосных орудий и др.

Изучение взаимодействия орудий лова с промысловыми объектами целесообразно проводить в два этапа. На первом оценивается общий характер влияния работающего орудия на поведение промысловых объектов, определяются основные раздражители. На втором этапе проводится экспериментирование над самим орудием лова: направленно изменяют конструкцию и характеристики отдельных элементов орудия лова, усиливают или ослабляют раздражители и т. п. Натурные исследования взаимодействия промысловых объектов с орудием лова — очень ответственная и сложная работа; только продуманная организация эксперимента и комплексный подход к решению задачи может привести к практически значительным результатам [62].

Наиболее полно изучено поведение рыб в зоне действия тралирующих орудий лова. Современные тралы — это сложные инженерные сооружения. Трудности, возникающие при их расчете и проектировании, связаны как с поведением трала — будучи гибкой системой, он под действием различных факторов меняет в процессе работы свою форму, — так и с поведением промысловых объектов, которое носит очень сложный характер. По вы-

ражению основоположника науки о промышленном рыболовстве Ф. И. Баранова: «Проблема трала упирается и перерастает в проблему поведения промысловых рыб».

При исследовании взаимодействия траллирующих орудий и объектов лова используются фото-, кино- и телеустановки, гидроакустические устройства, подводные аппараты. Наиболее простым и надежным аппаратом для визуальных наблюдений за тралом является буксируемый обитаемый аппарат типа «Атлант». Его основные достоинства — быстрота вывода на трал, возможность приближения к тралу вплоть до полного контакта с ним, относительная неподвижность наблюдателя по отношению к орудию лова, возможность проводить длительные наблюдения. С помощью таких аппаратов были проведены многочисленные эксперименты в натуральных условиях и получены данные по оптимальным конструкциям отдельных узлов и деталей трала, форме сетного полотна, оснастки и остропки. Результаты этих исследований легли в основу решений многих проблем технологии тралового лова. В частности, удалось изучить характерные реакции рыб разных видов на отдельных участках (зонах) траловой системы [25].

**Зона А** (район траловых досок). Комплекс раздражителей (турбулентный шлейф, разнообразные звуки высоких частот), создаваемых досками, вызывает у рыб оборонительную реакцию. На характер поведения некоторых рыб большое влияние оказывает участок троса (ваера), идущий впереди доски. Рыбы из разреженных скоплений, находящиеся с внутренней стороны ваеров, как правило, попадают в зону облова. Стайные рыбы обычно стремятся уйти в ту сторону от ваера, в которой осталась основная масса рыбы. Донные рыбы практически не реагируют на ваер, а от доски уходят, когда до нее остается 2—3 м.

**Зона Б** (от траловой доски до начала крыльев трала). В этом районе рыба как бы аккумулирует воспринимаемые ею разнообразные раздражители, вызванные движущимся тралом. Рыбы, оказавшиеся в пространстве между распорными досками, под влиянием тросов (кабелей) и турбулентного шлейфа концентрируются на сравнительно узком участке. Особенно велика при этом роль турбулентных шлейфов. Донные и придонные рыбы не уходят из облавливаемой зоны над шлейфом. Пелагические рыбы, находящиеся в момент облова около грунта, также избегают входить в мутьевой шлейф, хотя и наблюдались случаи выхода таких рыб над шлейфом.

**Зона В** (от начала крыльев до конца сквера). В районе устья рыбы, как правило, ориентированы в сторону трала и сконцентрированы в большей степени, чем вне зоны облова. Здесь наблюдаются в основном две характерные реакции рыб: одни стаи быстро проскакивают в мотенную часть трала, другие резко разворачиваются и начинают плыть по направлению его

движения. Рыбы держатся на определенном расстоянии (0,3—0,5 м) от сетного полотна и не предпринимают серьезных попыток хода через ячею. Можно предположить, что этому препятствуют турбулентный след и зона повышенного давления вблизи сетного полотна.

**Зона Г** (от сквера до тралового мешка). Поведение рыб в этой зоне различно. Так, движение сардины, ставриды и скумбрии становятся беспорядочными, теряется чувство стайности (стая «рассыпается»). Часть рыбы проходит в траловый мешок, часть стремится выйти из трала через ячею сетного полотна, а остальные разворачиваются и ориентируются к устью трала. При движении на выход из трала у рыб снова появляется чувство стайности, и они организованно движутся в направлении движения трала. При этом рыбы не пытаются выходить через ячею, даже находясь вблизи прорывов сетного полотна площадью около 1 м<sup>2</sup>.

**Зона Д** (траловый мешок). Здесь наблюдаются два вида движения рыб. Если рыбы ориентированы против движения трала или под углом к нему, они с большой скоростью проскакивают в куток.

Выход рыб через ячею в разных зонах трала подробно исследовался с помощью мелкоячеистых покрытий, установленных на трале, и подводных наблюдений. Показана зависимость числа уходящих рыб от видового состава, размера ячеи и окраски полотна. На основании результатов этих исследований были рекомендованы оптимальный размер ячеи сети и ее цвет [57].

Уловистость тралов и кошельковых неводов находится в тесной связи с реакцией рыбы на орудие лова, ее крейсерской и бросковой скоростью, а также скоростной выносливостью, зависящей от размеров рыб и запаса энергии. Используя скоростную выносливость рыб в качестве критерия, можно выбрать оптимальные параметры траловой системы для успешного облова косяков пелагических рыб определенной длины [33].

Учитывая особенности поведения рыб в процессе их лова тралирующими орудиями, выявленные многочисленными подводными наблюдениями [25 и др.], запишем условие, при котором рыба, оказавшаяся в узкой цилиндрической части трала, не сможет выйти из него:

$$s_p \leq s_T + L, \quad (4.19)$$

где  $s_p$  — путь, пройденный рыбой;  $s_T$  — путь, пройденный тралом;  $L$  — длина трала от устья до цилиндрической части.

Можно показать, что оптимальная длина трала связана с параметрами облавливаемых рыб соотношением [33]

$$L \geq 8,245 \cdot 10^{-4} f_{\infty}^{78} l_p v_T^{-7}, \quad (4.20)$$

где  $v_T$  — скорость трала,  $l_p$  — длина рыбы,  $f_{\infty}$  — максимальная для данного вида частота колебаний хвостового плавника.

Конкретную реакцию рыбы на движение трала очень трудно выразить количественно, тем более что поведение разных видов в процессе лова чрезвычайно изменчиво. Поэтому представляется весьма плодотворным использовать теории, учитывающие обобщенные биологические характеристики объекта лова. Если исходить из предположения, что интенсивность ухода облавливаемого объекта от трала определяется его биологическими особенностями, внешними условиями и расстоянием от сетной поверхности трала, то общий улов трала с круговым устьем можно выразить простой зависимостью

$$N = \frac{\pi \delta}{3h_2} [(R - h_1)^3 - (R - h_0)^3], \quad (4.21)$$

где  $\delta$  — плотность распределения объекта на единицу объема,  $R$  — радиус устья,  $h_1$  — ширина периферийного кольца устья, из которого объект лова полностью уходит из трала;  $h_2$  — ширина кольца, из которого объект лова уходит частично;

$$h_0 = h_1 + h_2.$$

Для трала с прямоугольным устьем

$$N = \delta \left[ LH - (L + H)(2h_1 + h_2) + 4h_1h_0 + \frac{4}{3}h_2^2 \right], \quad (4.22)$$

где  $L$  и  $H$  — соответственно ширина и высота устья.

Входящие в эти выражения три неизвестные величины  $\delta$ ,  $h_1$  и  $h_2$  легко определяются экспериментальным путем. Для этого достаточно провести одновременное траление тремя тралами, различающимися лишь размером устья [2].

Один из основных путей повышения эффективности рыболовства — совершенствование способов управления поведением промысловых объектов в процессе лова. Под управлением объектом лова понимается такое воздействие на его поведение путем сообщения ему управляющей информации или уменьшения вредного влияния неуправляющей информации, при котором повышается эффективность промысла [32]. По способу передачи информации различают контактное управление (непосредственное соприкосновение объекта лова с элементами орудия лова) и неконтактное — с действиями на объект лова физических полей, образованных орудиями лова или специальными устройствами. По биологической эффективности можно выделить управление, основанное на принципе энергетического взаимодействия или на принципе собственно информационного взаимодействия. Для управления движением рыб используются физические поля различной природы. Важнейшими из них являются световые, акустические и электрические. Наиболее широко применяются оптические поля. Реакция рыб на сетное полотно и на отдельные элементы орудия лова определяется

видимостью последних. Поэтому подводная освещенность и, в частности, время лова имеют большое значение. Те же цели преследует окраска элементов орудий лова, обеспечивающая максимальную заметность одних элементов и возможную невидимость других.

Очень важная черта поведения рыб — безусловно рефлекторное движение в движущемся зрительном поле (оптомоторная реакция). Эта реакция в значительной степени определяет описанные выше особенности поведения рыб внутри трала и неоднократно отмеченные подводными наблюдателями случаи следования рыб за тралом снаружи сетного мешка. Оптомоторные реакции рыб необходимо учитывать в первую очередь при совершенствовании тралового промысла. Предложено, например, использовать стробоскопический эффект, создаваемый в сетном полотне трала с помощью источников импульсного света, в результате чего рыба не замечает движения трала. В одном из устройств по оси трала перемещается специальное оптомоторное тело, которое во время траления со скоростью 0,1—1,0 м/мин вводят вглубь трала, вплоть до кутка, а затем в сложном виде быстро перемещают к устью трала, после чего цикл повторяется. В другом варианте предложено использовать несколько оптомоторных тел, закрепленных на буксируемой за судном раме. После того как за оптомоторными телами скапливается достаточное количество рыбы, рама складывается и рыба облавливается тралом. Оптомоторные реакции можно использовать для повышения уловистости и других орудий лова. Так, предложено снабжать рыбонасос прозрачной трубой, внутри которой перемещаются черно-белые полосы. Следуя за ними, рыба направляется к залавливающему устройству. Видимость определяет реакцию рыб и на действие таких устройств, как воздушно-пузырьковые завесы, все шире используемые в рыбном хозяйстве.

Один из перспективных путей управления поведением стайных рыб — использование их активной реакции на хищника. Например, разработаны электронные имитаторы звуков, издаваемых различными хищниками. Разрабатываются приемы, основанные на комплексном действии различных сигналов. Уже используются комбинации электрических полей со светом при бессетевом лове и электрических полей со звуковыми для отпугивания рыб.

Конструкции орудий лова рыбы и пелагических беспозвоночных, их технологические характеристики подробно описаны в специальных руководствах и поэтому здесь не рассматриваются. Кратко остановимся только на идее создания обитаемых подводных траулеров, неоднократно выдвигавшейся в разное время. Главным преимуществом подводного тралирования считается его маневренность и возможность непосредственного визуального контроля за процессом лова. Важнейший недоста-

ток такого метода лова состоит в том, что при тралировании с короткими ваерами траулер будет распугивать рыбу, при удлинении же ваеров система теряет основное достоинство — маневренность. Система подводный траулер — трал будет обладать и другими крупными недостатками: небольшие по сравнению с надводными судами размеры буксируемого трала, а следовательно, низкая производительность и невозможность лова ряда видов рыб, например сельди; невозможность вести работы на глубинах, доступных современным тралам; высокая стоимость промысла. Все это делает вопрос о создании подводных траулеров, несмотря на кажущуюся заманчивость такой идеи, крайне проблематичным.

Анализ тенденций развития тралового промысла показывает, что он идет не по пути создания маневренных обитаемых подводных траулеров, а по пути совершенствования характеристик трала как специализированного подводного аппарата. Буксирование тралов подводными буксировщиками используется в тех случаях, когда основным требованием является не величина улова, а возможность селективного сбора биологического материала или когда работа ведется в местах, недоступных для управляемых с поверхности средств. В практике используется несколько конструкций планктонных тралов, установленных на подводных буксировщиках.

Трудности организации технологии добычи рыбы подводными траулерами ни в коем случае не означают отказа от использования орудий лова, устанавливаемых на обитаемых и необитаемых подводных аппаратах. Состояние мирового рыболовства настоятельно требует создания технических средств, позволяющих использовать новые районы промысла. Весьма перспективными в этом отношении являются северные моря. Располагая значительными запасами рыбы, они в то же время полностью или частично недоступны для традиционного промысла, базирующегося на надводных средствах обеспечения. В этих условиях единственный возможный путь — разработка методов чисто подводного промысла. Сейчас трудно сказать, как конкретно будет выглядеть такой промысел. По-видимому, подводные добывающие суда будут располагать мощными орудиями стимулированного лова. Такое судно, как уже отмечалось, с промысловой точки зрения является специализированным орудием лова. Совмещение в одном устройстве нескольких функций — залавливания, транспортирования и управления ловом — прогрессивный прием, значительно упрощающий технологию промысла. С технической точки зрения постройка подводных добывающих судов уже сейчас вполне реальна. В то же время в связи с тем, что технология чисто подводного промысла совершенно не отработана, необходима интенсивная и длительная работа по проектированию таких аппаратов, которую необходимо начинать безотлагательно.

### 4.3. Особенности технологии добычи донных организмов

Добычу малоподвижных и неподвижных донных объектов правильнее именовать не ловом, а сбором (как это принято, например, в сельском хозяйстве). В то же время в рыбохозяйственной практике широко используется в этих случаях именно термин «лов» и его производные (например, «ловец-оператор»).

Добычу донных организмов (беспозвоночных, водорослей, трав) ведут с помощью орудий лова, чрезвычайно разнообразных по принципу действия и конструкции, хотя число промысловых видов этих организмов относительно невелико. Такое разнообразие орудий объясняется спецификой методов добычи, связанных с особенностями донных организмов. Напомним некоторые из них. Образ жизни промысловых донных организмов довольно разнообразен: среди них имеются формы, свободно лежащие на грунте или передвигающиеся по нему; прочно прикрепляющиеся к грунту, а также закапывающиеся. Сами же грунты также различаются по топографии и механическим характеристикам, что затрудняет использование орудий добычи. Донные организмы редко образуют естественные однородные скопления из особей одного вида, подобные косякам рыб.

Технология сбора донных организмов прежде всего зависит не от видовой принадлежности, а от характера субстрата. Поэтому близкие виды приходится собирать различными по конструкции орудиями, и, напротив, для сбора биологически отдаленных объектов (даже животных и растений) можно использовать однотипные технологические приемы и конструкции орудий лова, заменяя только отдельные узлы или вовсе ничего не меняя.

Классифицировать орудия сбора донных организмов, основываясь на принципах классификации орудий лова рыб, довольно затруднительно. Существующие классификации орудий рыболовства основаны (в явной или неявной форме) на различных способах захвата и удерживания, так как при лове таких подвижных животных, как рыбы, захват в сущности и соответствует лову. Добычу же донных организмов можно рассматривать как чисто техническую операцию транспортировки объектов с разными физическими свойствами на поверхность. В этом случае собственно «лов» заключается в отделении объектов от субстрата или в подаче их на судно. Поэтому и орудия лова именуют, исходя из способов отделения объектов от субстрата (например, подводная косилка), их подачи (эскалаторный снаряд), подготовки грунта (гидродрага периодического действия). Характерным для этих орудий является комплексное использование разных технологических приемов и типов привода в одном орудии.

В связи с изложенным иерархическая классификация орудий сбора донных организмов настолько громоздка, что теряет какую-либо практическую ценность. Поэтому мы считаем целесообразным при систематизации данных, относящихся к таким орудиям, вместо иерархической классификации отдельно рассматривать способы осуществления основных технологических операций — подготовку к захвату, захват и подачу улова.

**Подготовка к захвату.** Объекты приводятся в положение, способствующее захвату. Наиболее широко эта операция применяется при сборе водорослей с длинными слоевищами. При добыче закапывающихся моллюсков производится рыхление субстрата с помощью струй воды, разрывающих грунт. Насосы можно устанавливать под водой на залавливающем устройстве, а электроэнергию подавать по кабелю.

**Захват. Фиксирование объекта рабочим органом.** Фиксирование объекта может быть выполнено несколькими способами: сжиманием (клещами, манипуляторами подводных аппаратов), защемлением (например моллюсков и иглокожих — с помощью шестов, снабженных упругими стержнями); нанизыванием (на остроги, копыя и специальные элементы орудий ручного и механического лова, например на шипы двигающегося по дну барабана); накручиванием (при добыче ламинариевых водорослей) с помощью ручных и механических канз; запутыванием (при сборе животных, имеющих шипы и другие выросты) с помощью буксируемых по дну швабр, расплетенных концов и др.

**Отделение от субстрата.** Так же производится несколькими способами: срезанием (при сборе морских растений и прикрепленных донных животных) орудиями с противорежущими частями (косилки, стригущие машинки и др.) и без них (ножевые драги, орудия с режущими устройствами на гибких элементах); подъемом — перемещением объекта под углом к субстрату после предварительной фиксации одним из рассмотренных выше способов (подъем прикрепленных организмов называется отрывом); сгребанием — перемещением объекта параллельно поверхности субстрата с помощью драг и эскалаторных снарядов; всасыванием центробежными насосами, эжекторами и эрлифтными устройствами; подхватыванием — отделением неприкрепленных или слабоприкрепленных объектов с помощью подводимых под него штырей, пластин и других устройств, действующих под углом к субстрату; черпанием (при добыче закапывающихся организмов на рыхлых грунтах) с помощью дночерпателей и грейферных ковшей.

**Подача улова.** Подача может быть индивидуальной (при ручном сборе с поверхности), контейнерной, с помощью транспортеров и гидротранспорта. Контейнерная подача распространена очень широко. В качестве контейнера может быть использовано само орудие лова (тралы и драги периодического

действия). При таком способе возможен лов и по непрерывным схемам, показанным на рис. 4.7, в (кольцевой трал системы Китрана). В последнем случае используются специальные контейнеры, служащие только для транспортирования улова (сменные питомцы, заменяемые мешки драг и др.). Транспортёры обеспечивают непрерывную подачу большого объема улова. Наиболее известны эскалаторные снаряды для сбора морских растений, мидий, устриц и других объектов. Все более широкое применение в различных орудиях находит гидротранспортирование. Прежде всего насосами оборудуются драги и тралы, что обеспечивает непрерывность работы агрегата по схеме рис. 4.7, б.

Устройство и основные особенности работы орудий сбора донных беспозвоночных рассматриваются в ряде работ [14, 58 и др.], и здесь мы на них не останавливаемся. Необходимо лишь отметить, что эффективность работы орудий сбора и в первую очередь их залавливающих устройств не всегда удовлетворительна. Одна из основных причин этого — недостаточные масштабы подводных наблюдений за работой орудий, а следовательно, недостаточная изученность их взаимодействия с промышленными объектами.

Обратимся к технологии добычи морских растений. Основными объектами подводного сбора водорослей являются несколько видов ламинарий, анфельция, филлофора, фурцелария, макроцистис, нереоцистис, а морских трав — зостера и филлоспадикс.

Наиболее полно отработана технология промысла неприкрепленных пластообразующих водорослей — анфельции и филлофоры, поскольку она не представляет специфических трудностей. Для добычи таких водорослей можно использовать средства, мало отличающиеся от орудий сбора донных беспозвоночных или однотипные с ними. Широко применяются простейшие драги различных конструкций. Успешно решаются вопросы, связанные с организацией технологии непрерывной добычи. Примером такой организации может служить добыча филлофоры на Черном море с помощью кольцевого трала системы Китрана (см. рис. 4.7, в). В настоящее время для добычи неприкрепленных водорослей все более широко используются гидродраги, обеспечивающие непрерывную подачу водорослей на судно с помощью насосов или эрлифта (см. рис. 4.7, б) [61].

Что касается технологии добычи прикрепленных водорослей (особенно с длинными слоевищами<sup>1</sup>) и морских трав, то это один из наиболее сложных аспектов промысла донных объектов вообще. При сборе некоторых видов водорослей очень перспек-

---

<sup>1</sup> В литературе, особенно промысловой, слоевище (таллом) водорослей иногда называют «стеблем» и «лнстьями», что является грубой ошибкой и совершенно недопустимо.

тивно применение высокопроизводительных эскалаторных устройств, устанавливаемых на специальных судах [14], однако для успешного функционирования таких орудий необходимы обширная акватория с мощным запасом водорослей и относительно ровный грунт. Технология добычи водорослей на прибрежном мелководье, скальных глыбовых и других «неудобных» грунтах до сих пор не отработана, хотя в таких районах сосредоточены основные запасы водорослей.

Одним из основных препятствий развитию подводных средств сбора водорослей является, как это ни парадоксально, наличие орудий и технологических приемов уборки наземных растений. Дело в том, что несмотря на внешнее сходство сбор водорослей кардинально отличается от сбора наземных растений. Слоевища водорослей очень пластичны и либо стелются над грунтом под действием течений, либо лежат на нем. Поэтому перед срезанием необходимо слоевища ориентировать, а также учитывать направление течения, которое на глубине может отличаться от поверхностного. Поскольку водоросли имеют нейтральную или общую положительную плавучесть, требуются специальные меры для предотвращения потери всплывающих после срезания слоевищ. Наконец, сложной проблемой является поддержание постоянного расстояния рабочего органа от грунта.

Особенностями строения и произрастания водорослей объясняются неудачи многочисленных попыток использования режущего аппарата возвратно-поступательного типа, широко используемого в косилках, комбайнах и других сухопутных агрегатах. Из описанных в литературе устройств «классического» принципа действия наиболее интересна подводная косилка, обеспечивающая активное поднятие водорослей перед срезанием путем подсоса струей воды, создаваемой ножом (в форме винта) режущего аппарата.

Несмотря на отдельные удачные конструкции задачу сбора прикрепленных морских водорослей ни в коем случае нельзя считать решенной. По-видимому, технологам необходимо преодолеть психологический барьер и найти принципиально новый подход. Такие пути уже намечаются. Разрабатываются устройства, обеспечивающие срезание без применения противорежущих частей, так как на перерезание слоевищ требуется относительно небольшое усилие (на порядок меньше, чем на перерезание стебля хлебных злаков равной площади сечения). Одно из устройств представляет собой буксируемое крыло-бим. К нему шарнирно прикрепляются вертикальный стабилизатор и пластинчатая цепь, на которой расположены несущие конструкции режущих систем, выполненные в виде пластин-крыльев. По периметру крыльев движутся бесконечные цепи с ножевыми сегментами, приводимые в движение автономными двигателями. При буксировании устройства режущие системы за счет сопро-

тивления воды устанавливаются горизонтально. Элементы режущих систем устройства имеют четыре степени свободы, что обеспечивает их установку в рабочее положение и сохранность при взаимодействии с препятствием [64].

Особый интерес представляет устройство, рабочий орган которого выполнен в виде провисающей на двух барабанах бесконечной конвейерной ленты. Барабаны укреплены на несущей раме с понтонами. На ленте закреплены зубчатые ножи, наклоненные под углом  $45^\circ$  к ленте, и иглы. Лента, двигаясь, создает поток воды, поднимающий слоевища ламинарии, которые затем захватываются иглами и срезаются наклонно (что требует значительно меньшего усилия резания). Конструкция рабочего органа обеспечивает ориентирование слоевищ, срезание их в нижней части и транспортирование на поверхность. При контакте с препятствием рабочие органы удовлетворительно реагируют на рельеф дна. Принципы, положенные в основу конструкции этого орудия, могут быть использованы и при проектировании орудий сбора некоторых видов беспозвоночных [66].

Конструкция орудий лова и технологические схемы промысла непрерывно совершенствуются. По мнению А. И. Трещева, будущее принадлежит селективно-стимулированному рыболовству. На основе современных технических средств и объединения ряда источников стимуляции в единую энергосистему, можно будет концентрировать рыб с больших акваторий и вылавливать только нужные особи.

К сожалению, крупномасштабный стимулированный лов возможен только при промысле подвижных объектов со сложными формами поведения (рыбы, кальмары). Прогресс в технологии добычи большинства видов беспозвоночных и водорослей вряд ли будет столь значителен: он будет достигаться улучшением технических характеристик существующих и созданием новых подводных технических средств лова, работающих в рамках схемы вероятностного промысла.

Особое место занимают водолазные методы добычи биологического сырья. Правда, объем продукции, добываемой водолазами, невелик, а операторы подводных аппаратов в настоящее время добывают только единичные биологические объекты. Однако несмотря на выраженную общую тенденцию к интенсификации и увеличению масштабов промысла «архаичный» водолазный промысел существует и, несомненно, будет существовать благодаря его уникальным возможностям.

Представим водолаза как орудие лова, зона действия которого в процессе промысла (промысловая мощность) определяется пройденным под водой расстоянием и шириной захвата. Понимая условность такого допущения, мы, тем не менее, воспользуемся им при исследовании основных промысловых характеристик водолаза и в первую очередь — его селективной способности (в дальнейшем будем называть ее селективностью).

В отличие от всех других орудий лова, селективность которых жестко определена конструкцией и либо постоянна, либо изменяется в незначительных пределах, диапазон селективности водолаза может меняться в самых широких пределах: от полного отсутствия захвата до почти 100 %-ного захвата всех объектов, попавших в зону облова.

Селективность водолаза в отличие от селективности сетных орудий проявляется не в процессе взаимодействия орудия лова с объектом, а предшествует этому процессу. Она коренным образом отличается и от «предзахватной» селективности бессетевых орудий, которая обеспечивается привлечением в зону непосредственного облова дифференцированных особей, но сам лов практически остается неселективным. Водолаз же отбирает объекты по индивидуальному принципу в зависимости от результатов предварительной визуальной оценки, обусловленной особенностями визуального восприятия под водой. Что касается отбора объектов по размерам, то и здесь селективность водолаза по многим параметрам значительно отличается от селективности любых орудий лова: ее можно описать кривой П-образной формы, что совершенно недостижимо при использовании других орудий лова. Наконец, неизвестно, что обеспечить селективность орудий лова в отношении вида объекта — чрезвычайно сложная, а часто и неразрешимая задача, в то время как возможности водолаза в этой области практически неограничены.

Помимо высокой селективности необходимо отметить еще одну замечательную возможность водолаза — приспособляемость к особенностям грунта и работать на грунтах, рельеф которых не позволяет использовать другие орудия лова, при практически полном отсутствии нежелательного неконтролируемого влияния на окружающий субстрат и живые организмы.

Сравнительно низкая производительность труда и значительные затраты на производство водолазных работ делают водолазный промысел рентабельным только в тех случаях, когда собранные объекты имеют высокую рыночную стоимость. Это прежде всего — деликатесные морские организмы, организмы-источники получения ценных химических и медицинских веществ, объекты сувенирного значения.

Однако уникальные особенности водолаза как «орудия лова» делают его незаменимым и при выполнении ряда специальных работ. К ним в первую очередь относятся очистка от хищников (например, морских звезд) акваторий подводных плантаций и ферм, обеспечение биологическим сырьем научных исследований, которое, как известно, должно отвечать ряду специальных требований (большое число видов живых организмов, возможность работы в течение всего года и т. п.).

Какие же основные факторы определяют эффективность работы водолаза?

Для исследования некоторых характеристик водолазного промысла может быть использована теоретическая модель хищник — жертва, которая в интерпретации для процесса лова выражается уравнением

$$N = N_{\max} (1 - e^{-k\delta}), \quad (4.23)$$

где  $N$  — величина наиболее часто встречающегося улова для данного орудия лова;  $N_{\max}$  — максимальный улов;  $\delta$  — плотность распределения объектов;  $k$  — коэффициент пропорциональности. В теории рекогносцировочного лова от использования этой модели пришлось отказаться из-за невозможности практического определения коэффициента  $k$  [57], однако при водолажном промысле, когда используются объекты с относительно стабильным распределением, применение этой теории весьма перспективно.

Аналогичное уравнение было получено при исследовании закономерностей питания рыб В. С. Ивлевым, исходившим из предположения, что реальный рацион хищника за некоторый отрезок времени будет приближаться к некоторой предельной величине, выше которой он не поднимается ни при каких обстоятельствах [21]. Уравнение Ивлева легло в основу нескольких моделей, описывающих отношение пары хищник — жертва, которые могут быть использованы и при анализе характеристик водолазного лова.

Интервал времени  $\tau$  между захватами промысловых объектов удобно представить как

$$\tau = \tau_0 + \tau_1, \quad (4.24)$$

где  $\tau_0$  — «чистое» время, затрачиваемое на собственно сбор (захват и перенесение объекта);  $\tau_1$  — время, затрачиваемое на передвижение между объектами.

Динамика выборки водолазом скоплений организмов неодинакова прежде всего из-за различной мощности скоплений. Если концентрация промысловых организмов в процессе сбора уменьшается (ограниченные размеры скопления), то для теоретического описания такого промысла могут быть использованы результаты исследования скорости выедания рыбами небольшого кормового пятна<sup>1</sup>. Количество кормовых объектов в пятне подбирается таким образом, чтобы можно было пренебречь эффектом насыщения хищников. Эта зависимость в интерпретации для водолазного лова выражается уравнением

$$N + \frac{1}{\tau_0 k_1} \ln N + \frac{1}{\tau_0} T = N_0 + \frac{1}{\tau_0 k_1} \ln N_0, \quad (4.25)$$

<sup>1</sup> Тен В. С. О трофическом взаимодействии примитивных пар хищник — жертва у водных организмов. — В кн.: Структура и динамика водных сообществ и популяций, Киев, Наукова думка, 1967, с. 16—43.

где  $T$  — продолжительность промысла;  $N$  — число собранных объектов;  $N_0$  — общая начальная численность объектов в скоплении;  $k_1$  — некоторая постоянная для данных условий величина, пропорциональная скорости движения водолаза  $v$  и площади  $S$ , на которой водолаз может различать объект:  $k_1 \sim vS$ .

Кривую зависимости  $N(T)$  в общем случае можно подразделить на три участка: линейный, когда  $N \ll \frac{1}{\tau_0 k_1} \ln N$ , экспоненциальный при  $N \gg \frac{1}{\tau_0 k_1} \ln N$  и промежуточный, когда значения  $N$  и  $\frac{1}{\tau_0 k_1} \ln N$  сравнимы между собой.

Если концентрацию организмов принять постоянной (этот случай наиболее характерен для водолазного промысла, и может реализоваться при значительной протяженности промыслового скопления, позволяющей водолазу с помощью соответствующей организации маршрута проводить сбор на еще не обловленных участках), для теоретического описания можно использовать модель взаимоотношений примитивных пар хищник — жертва Н. Рашевского, построенную на основании данных В. С. Ивлева по питанию рыб [21]. Уравнение Рашевского (в интерпретации для промысла) имеет вид

$$N = \frac{T}{\tau_0 + \frac{1}{k_1 \delta}}. \quad (4.26)$$

Как видно из этого уравнения, скорость сбора организмов пропорциональна плотности их распределения только при малых  $\delta$ , а не при любых, как это принято в классических работах Вольтерра, Лотка и Гаузе [31], на что впервые обратил серьезное внимание В. С. Ивлев.

Зависимость между числом собранных водолазом организмов и плотностью их распределения при  $\delta = \text{const}$  можно получить и иным способом, без привлечения идей трофического взаимодействия. Выразим количество собранных за время  $T$  объектов формулой

$$N = \frac{T}{\tau_0 + \tau_1} = \frac{T}{\tau_0 + \frac{l_{\text{cp}}}{v}}, \quad (4.27)$$

где  $l_{\text{cp}}$  — среднее расстояние между объектами;  $v$  — скорость движения водолаза.

Площадь, приходящаяся на один объект при их равномерном распределении, выражается соотношением

$$S' = l_{\text{cp}} \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (4.28)$$

С другой стороны, очевидно, что  $S' = 1/\delta$ , откуда

$$N = \frac{T}{\tau_0 + \frac{1,07}{v\sqrt{\delta}}}. \quad (4.29)$$

Величина  $\tau_0$  зависит от вида собираемых организмов, характера грунта, температуры воды (определяющей тип используемого гидрокостюма) и др. При  $\tau_0 \gg \tau_1$  число добытых объектов почти не зависит от плотности их распределения, а определяется в основном «чистым» временем сбора. Такая ситуация может наблюдаться при промысле закапывающихся и прочно прикрепленных объектов, когда  $\tau_0$  достигает значительной величины (одна минута и более), а также при сборе свободно лежащих на дне объектов с высокой плотностью поселения, почти не требующих перемещения водолаза. В то же время максимальное число таких объектов (даже некрупных), которые могут быть собраны под водой, не превышает 40 в минуту, поэтому  $\tau_0 \geq 0,025$  мин.

При промысле свободно лежащих объектов с низкой плотностью поселения (менее 3 экз./м<sup>2</sup>) меняется структура периода между захватами  $\tau$ . В этом случае, часто встречающемся на практике, водолаз может использовать «чистое» время сбора на передвижение между объектами, поэтому величину  $\tau_0$  в последней формуле можно отбросить. Тогда, принимая среднюю скорость водолаза  $v = 20$  м/мин, можно записать  $N = 19T\sqrt{\delta}$ .

Определим промысловую эффективность водолазного лова  $\mathcal{E}$  как отношение улова  $N$  за время промысла к промысловому усилию  $U$  за тот же период [57]:  $\mathcal{E} = N/U$ . Промысловое усилие  $U$  можно выразить зависимостью  $U = WT$ , где  $W$  — промысловая мощность. Тогда, определив промысловую мощность водолаза как облавливаемую им в единицу времени площадь  $W = S/T$ , получим  $\mathcal{E} = N/S = N/Ld$ , где  $L$  — длина пути водолаза за время промысла,  $d$  — ширина захвата.

При невозможности прямого определения пути (например, с помощью лага) для определения промысловой эффективности можно воспользоваться соотношением  $\mathcal{E} = N/[vd(T - \tau_0 N)]$ . Величина  $\tau_0$  для конкретных условий определяется экспериментальным путем.

Как уже указывалось, важнейшим преимуществом водолаза как «орудия лова» является очень высокая и легко регулируемая селективность. Поэтому механизация и интенсификация труда водолаза целесообразны только при сохранении этой важнейшей характеристики. Наиболее желательно механизировать такие трудоемкие операции, как отделение от субстрата прикрепленных животных и растений, раскапывание грунта, транспортировку собранного материала. При непродуманной механизации основных операционных процессов, способствующей чрезмерному увеличению скорости передвижения водолаза под

водой и ширины захвата, он может частично или полностью потерять преимущества, определяемые его селективной способностью. В то же время в отдельных случаях применение специальных механических устройств способствует повышению производительности труда водолаза или просто делает возможным выполнение некоторых видов работ. К ним относятся, например, ручные всасывающие устройства для лова укрывающихся ракообразных и рыб, пневматические стригущие машинки для сбора водорослей и др.<sup>1</sup>

#### **4.4. Воспроизводство морских биологических ресурсов**

Использование человеком природных экологических систем, в том числе и систем океана, можно осуществлять разными способами. Крупнейший эколог Ю. Одум пишет: «...стратегия «наибольшей защиты», т. е. стремление достигнуть максимальной поддержки сложной структуры биомассы, ...часто вступает в противоречие со стремлением получить наивысший возможный урожай» [40]. Сейчас определились два основных направления: многоцелевое использование и стратегия «расчленения», при которой на одних участках искусственно поддерживается высокопродуктивный тип, а на других — охраняемый. При использовании экологических систем суши давно выявились преимущества тактики «расчленения», тогда как при использовании морских экосистем она только начинает развиваться в виде управляемых морских хозяйств и других форм марикультуры.

Под термином марикультура (морская аквакультура) подразумевается разведение и выращивание растений, беспозвоночных животных и рыб в морских и солоноватых водах под контролем человека. Сейчас наметились три главных направления марикультуры: товарное выращивание, получение в искусственных условиях и выпуск в водоемы молоди и мелиорация районов естественного воспроизводства промысловых и других ценных животных и растений. В направлении товарного выращивания можно выделить морские хозяйства пищевого, кормового, технического, фармакологического и других типов. В последние годы все отчетливее проявляется тенденция к организации хозяйств комплексного многоцелевого использования.

Марикультура может осуществляться экстенсивными и интенсивными методами (рис. 4.9). Экстенсивное культивирование, основанное на применении естественных водоемов и естествен-

---

<sup>1</sup> Сюда не следует относить работу водолаза совместно с орудиями лова, приводимыми в действие с поверхности. Эти орудия способны работать и самостоятельно, водолаз же обеспечивает повышение их производительности, ориентируя и контролируя деятельность залавливающих устройств. В этом случае селективность лова обычно очень низка или вообще отсутствует.

ных пищевых организмов, характеризуется низким уровнем контроля, начальных затрат и технологии, а следовательно, и низкой эффективностью, обусловленной помимо указанных факторов зависимостью от местного климата и качества воды. Для интенсивного культивирования, использующего как естественные, так и искусственные системы, характерны высокий уровень контроля, начальных затрат, технологии [93]. Наиболее распространенной формой марикультуры являются подводные хозяй-



Рис. 4.9. Принципиальные типы марикультуры морских животных.

ства, которые можно подразделить на фермы для выращивания беспозвоночных и рыб и плантации для культивирования водорослей.

Выделим самые общие технологические операции, характерные для марикультуры.

**Подбор и оценка участков.** Участки для искусственного выращивания морских организмов должны отвечать ряду требований, зачастую противоречивых. Важнейшее из них — обеспечение оптимальных условий выращивания. Размеры акваторий, на которых возможно создание тех или иных плантаций, и площади дна с благоприятными условиями для расселения и последующего роста и развития молоди культивируемых объектов определяют потенциальную мощность морских хозяйств [3]. Возможны два принципиально различных подхода

к оценке участков. При одном стремятся подобрать среду обитания (биотоп) и донные сообщества, максимально приближающиеся к природным, в которых наиболее высока численность и биомасса интересующих человека видов. При втором подходе как бы абстрагируются от естественного окружения культивируемых организмов и заботятся преимущественно об удовлетворении их биологических потребностей и удобстве проведения технологических операций. Первый подход характерен для хозяйств экстенсивного типа, второй — интенсивного.

Для осуществления отдельных стадий технологического процесса выращивания требуются разные типы участков. Например, при культивировании гребешка необходимо иметь три типа участков: для сбора молоди с помощью искусственных субстратов (коллекторов), временного подращивания или выращивания молоди до товарного размера и товарного выращивания гребешка на дне. На первом участке должна быть обеспечена высокая численность спата (осевшей молоди гребешка) на коллекторах; на втором — соответствующие гидрологические условия в толще воды и на третьем — необходимые глубина, топография и характер грунта. Важное значение имеют и экономические критерии. Так, при выращивании ламинарии глубина в местах размещения установок в принципе не ограничивается, но для экономичного расходования материалов оптимальными следует считать глубины 15—25 м [8].

Предварительное инженерное обследование участков позволяет провести расчет общего количества выращиваемых организмов на основании учета ряда факторов, из которых важнейшими являются обеспечение животных кислородом и пищей. При этом для разных организмов лимитирующие факторы также различны. Например, для животных-фильтраторов (гребешок, мидии, устрицы) важно, чтобы в воде было достаточное количество взвешенных питательных веществ. В этом случае они могут располагаться почти вплотную друг к другу. При выращивании же дальневосточного трепанга необходима определенная минимальная площадь грунта, при недостатке которой трепанг не будет нормально питаться даже при больших запасах пищи.

В расчетах необходимо учитывать, что сами культивируемые организмы в значительной степени трансформируют среду своего обитания. Так, огромные массы фекалий на дне приводят к уменьшению содержания кислорода и выделению сероводорода, который, растворяясь в воде, повреждает раковины моллюсков.

Подготовка акватории. В зависимости от предполагаемого использования участков степень подготовки дна может варьироваться от весьма незначительной до сложной технической и биологической мелиорации. Наибольший объем мероприятий осуществляется на участках донного выращивания, где удаляются препятствия, мешающие обслуживанию установок и

сбору «урожая», производится планирование дна с помощью землечерпательных снарядов и подводных бульдозеров. С этой же целью удаляются макрофиты. В некоторых случаях применяется вспашка дна для полного уничтожения врагов и конкурентов культивируемых организмов. При вспашке вредные организмы погибают под слоем песка и ила толщиной 6 см за 5—50 дней. В необходимых случаях возводятся искусственные сооружения, служащие для общего улучшения гидрологической обстановки — волноломы, плавающие гасители волн, сооружения, регулирующие приливные течения, насосы для откачки донных вод.

Установка технологических сооружений. К технологическим установкам относятся устройства для осаж-

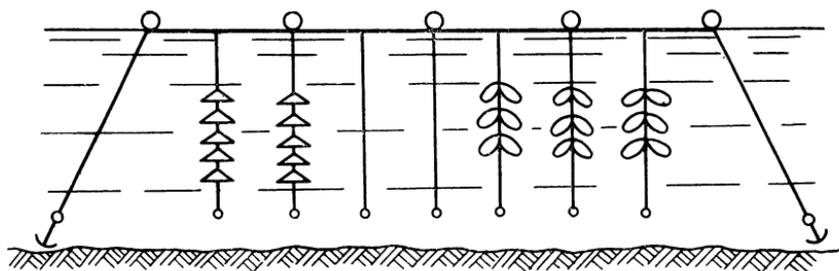


Рис. 4.10. Принципиальная схема установки для сбора личинок и подращивания молоди гребешка.

дения личинок (коллекторы), выращивания и содержания взрослых организмов. Конкретные требования к таким устройствам определяются избранной технологией и условиями акватории, но все технологические сооружения должны отвечать таким требованиям, как удобство обслуживания, волно-, ветро- и льдоустойчивость, прочность, долговечность, ремонтоспособность и др. На выполнение этих требований большое влияние оказывают гидрологические условия в месте размещения установок. В связи с этим в несущих конструкциях устройств, предназначенных для культивирования разных организмов, но работающих в сходных гидрологических условиях, могут применяться сходные конструктивные решения [36].

В качестве примера можно привести установки для выращивания ламинарии и размещения коллекторов и садков для выращивания гребешка (рис. 4.10). Основная структурная единица этих установок — несущий канат с прикрепленной к нему серией поплавков (кухтылей). Концы канатов присоединяются к бетонным якорям или к периферийной раме. Канаты образуют гибкую систему, противостоящую волновому воздействию, поэтому такие установки можно размещать в открытых местах.

Детали конструкции рабочих частей технологических установок и материал, из которого они изготавливаются, в значительной степени определяют успех применения подобных установок.

Уход за установками и контроль процессов выращивания. Технологические операции, осуществляемые в процессе выращивания, чрезвычайно разнообразны и полностью определяются видом культивируемых объектов. При использовании личинок, развивающихся в море, определяющее значение имеют сроки выставления сооружений. При поздней установке коллекторов не произойдет полного оседания личинок, при слишком ранней — на коллекторы осядут личинки конкурирующих промысловых видов.

Детальный обзор технологических операций культивирования выходит за пределы задач настоящей книги, поэтому здесь лишь отметим, что при эксплуатации технологических установок подводных хозяйств ярко проявляется общая тенденция производственной деятельности человека на малых глубинах — стремление максимально ограничить применение собственно подводной техники и проводить технологические операции с поверхностью. Водолазный труд, как труд высококвалифицированный и дорогой, используется только в совершенно необходимых случаях. К таковым относятся осмотр и ремонт подводных установок, периодические наблюдения за развитием культивируемых организмов, операции по борьбе с хищниками и конкурентными организмами. Для борьбы с вредными организмами донные участки обрабатывают различными химическими веществами, для борьбы с морскими звездами используют сети, формалин, электрорешетки и воздушно-пузырьковые завесы. Недавно японские ученые предложили прокладывать по дну микроперфорированные, виниловые трубки, наполненные минерально-гелевой смесью, содержащей 40 % сульфата меди. Морские звезды, переползающие через эти трубки, погибают в течение нескольких суток.

Большой вред при искусственном выращивании водорослей наносят растительоядные организмы. Для предотвращения выедания предлагаются такие меры, как сбор или уничтожение хищников; внесение дополнительной пищи, отвлекающей хищников от культивируемых водорослей; защита искусственных субстратов сетчатыми оградами. В Японии разработана конструкция закрытого сетчатого садка для водорослей, в стенке которого имеется отверстие для водолазов, снабженное застежкой «молния».

**Сбор.** Сбор товарной продукции производится преимущественно с надводных плавсредств, эстакад и подобных сооружений.

Важнейшим вопросом марикультуры является регулирование поступления питательных веществ. Так, увеличение количества сточных вод вызывает «цветение» фитопланктона, снижает

содержание растворенного кислорода и увеличивает концентрацию бактерий. Усиливается также обростание технологических установок марикультуры. Обработатели конкурируют за субстрат, корм и кислород с выращиваемыми организмами, понижают их кондицию, забивают сетки садков. С другой стороны, приходится бороться с недостатком питательных веществ. Известны опыты выращивания лангустов и камбалы в садках, вода в которые подавалась насосами с глубины 40 м. На глубине водозабора устанавливались сетчатые контейнеры с органическими остатками (отбросами), способствующими развитию фито- и зоопланктона. Но наибольший интерес представляет использование неисчерпаемых запасов биогенных элементов в глубинах океана. Уже сейчас имеются примеры создания искусственного апвеллинга<sup>1</sup> и доказывается принципиальная возможность его использования.

При традиционных методах марикультуры садки для содержания организмов и другие технологические установки располагают в приповерхностном слое воды в прибрежной зоне. Наряду с достоинством такого размещения — удобством обслуживания — следует отметить и его недостатки: легкую повреждаемость штормами и льдами, забивание стенок садков водорослями и мусором, уязвимость к воздействию загрязнений. Сетки садков, сильно повреждаемые при соприкосновении с дном, приходится менять каждые шесть месяцев. И тем не менее, в странах, где марикультура развивается особенно интенсивно (например, в Японии), большинство удобных участков мелководья уже заняты и остро встает вопрос о расширении районов культивирования.

Поэтому все активнее разрабатывается технология культивирования организмов на больших глубинах Мирового океана. Несмотря на техническую сложность и высокую стоимость таких устройств, их разработка и опытная эксплуатация уже началась. Установки представляют собой комплекс садков или открытых платформ, автоматических кормораздатчиков и устройств, обеспечивающих регулирование глубины постановки всей системы. Это могут быть либо емкости, продуваемые воздухом (заполняемые водой) по акустическому или радиосигналу, либо специальные лебедки, заглубляющие систему во время шторма и в других необходимых случаях.

Помимо марикультуры, которая, как правило, предполагает изъятие (прямое или косвенное) организмов, полученных в процессе культивирования, в настоящее время все более заметную роль начинает играть технология воспроизводства морских животных и растений, оказывающих полезное воздействие на окружающую среду самим процессом своей жизнедеятельности. Так,

---

<sup>1</sup> Апвеллинг — подъем глубинных вод, обогащенных биогенными элементами.

очень велико значение многих организмов в гидродинамической защите береговой полосы и искусственных сооружений (каналов, морей, водохранилищ).

Сейчас, при катастрофическом росте загрязнения и эвтрофикации водоемов, самое серьезное внимание уделяется изучению деятельности прибрежных организмов-фильтраторов. Во многих районах из-за недостаточного биологического самоочищения складывается напряженная санитарно-гидробиологическая обстановка, заставляющая проводить гидробиологическую мелиорацию. И здесь помимо подводных сооружений целесообразно создавать специальные поверхности на гидротехнических сооружениях (бунах, траверсах, волноломах), способствующие усилению пояса биофильтраторов.

Из способов мелиорации подводных участков с целью воспроизводства морских организмов наиболее широкое распространение получило сооружение искусственных рифов. В странах, имеющих развитое рыболовство, строительство рифов приобретает огромные масштабы. В Японии они протянулись уже на тысячи километров, и это позволило японцам существенно стабилизировать уловы ряда рыб и беспозвоночных животных. Человек уже давно заметил, что затопленные конструкции привлекают к себе рыб и других животных. Существует мнение, что искусственные рифы не увеличивают общую численность рыб в районе их установки, а лишь перераспределяют, концентрируют их. По-видимому, это справедливо только для небольшого отрезка времени после установки рифа: через некоторое время численность рыб, нашедших на рифах надежное убежище, возрастает как из-за увеличения срока жизни взрослых особей, так и благодаря лучшему выживанию молодежи.

Конструкции искусственных рифов чрезвычайно разнообразны. Широко распространены рифы из изношенных автомобильных покрышек. Последние либо просто стягивают тросами в группы, либо соединяют шпильками в длинные цилиндры, разрезают пополам и заливают в бетонные плиты, монтируя в сложные пространственные фигуры. Достоинство рифов из покрышек — удобство монтажа и дешевизна. Однако только рифы, сооруженные из специально сконструированных элементов, позволяют удовлетворить сложные и часто противоречивые требования, предъявляемые к таким сооружениям. Основное из них — эффективность привлечения рыб. Подводные наблюдения на искусственных рифах, проведенные японскими учеными, показали, что рыбы разных видов ведут себя здесь неодинаково: одни проникают внутрь рифа, другие скапливаются непосредственно возле него, третьи — над рифом. Такие различия можно объяснить условиями добывания корма и формой рифа, в частности влиянием тени от него. Поэтому форма и конструкция рифов должны быть строго продуманы. За рубежом уже разработаны рифы, конфигурацию которых можно менять

применительно к виду рыб и характеру течений. Они сооружаются из панелей в виде равнобедренных треугольников семи различных типов со стороной от 2,5 до 10 м, позволяющих создавать объемы до 210 м<sup>3</sup>.

Очень важно, чтобы рифы не мешали другим видам деятельности человека в море, в частности рыболовству. В этом смысле удобна конструкция, выполненная в виде сферы (или полусферы) с проемами. Такое устройство, разработанное японскими специалистами, устойчиво к волнению, не засоряется и не рвет тралы.

Создание искусственных рифов — относительно недорогое и в то же время действенное мероприятие, и масштаб этих работ непрерывно расширяется. Однако магистральный путь освоения морских биологических ресурсов как естественных, так и воспроизведенных при участии человека — это комплексный подход к их использованию. Любой вид биологических ресурсов многосторонен, и, включая его лишь в одноцелевые технологические цепи, общество несет огромные материальные потери.

Комплексное использование биологических ресурсов — технически чрезвычайно сложная задача, здесь пока нет технологических традиций и устоявшихся приемов. Пионерами на этом пути станут, несомненно, хозяйства марикультуры. Именно в таких хозяйствах, где все основные технологические операции контролируются человеком, комплексная технология использования сырья наиболее эффективна [91].

Последовательное применение принципа комплексности подводной технологии позволит направленно изменять потоки вещества и энергии в отдельных блоках экосистемы Мирового океана для обеспечения максимально полного использования ресурсов биосферы.

## **Глава 5**

---

### **ВОДОЛАЗНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДВОДНЫХ РАБОТ**

#### **5.1. Основные виды водолазных работ**

При современной технологии без участия водолазов невозможно выполнение большинства работ под водой. В процессе разведки и добычи нефти и газа они работают на буровых платформах, строительно-монтажных судах, на эксплуатационных платформах морских нефтепромыслов. На стадии разведочного бурения водолазы, как правило, наблюдают за состоянием устьевого оборудования, выполняют текущие ремонтные работы и ликвидируют последствия аварий. Водолазные работы на этом

этапе носят сравнительно случайный (за исключением функций контроля), непрогнозируемый характер и в основном заключаются в кратковременных спусках. В состав водолазных технических средств, которые в период разведочных работ должны обеспечивать погружения на максимально возможные глубины, входит водолазный колокол, обитаемый подводный аппарат и палубный декомпрессионный комплекс. На стадии разведочного бурения следует как можно чаще использовать необитаемые или обитаемые подводные аппараты, так как анализ работ показал, что примерно 30 % подводных работ приходится на наблюдения, а 30—33 % — на выполнение простых операций, с которыми успешно могут справиться манипуляторы подводного аппарата.

Наиболее сложным является водолазное обеспечение в период монтажа оборудования на уже разведанном месторождении. Этот этап включает большой объем плановых подводных работ, связанных с установкой оснований платформ, оголовков скважин, монтажом трубопроводов и их стыковкой. Водолазno-технические средства должны обеспечивать на больших глубинах активную деятельность сравнительно больших групп водолазов (8—12 человек). Это достигается с помощью погружений в режиме «насыщения», позволяющего значительно увеличить рабочее время водолазов под водой. Высокая эффективность труда поддерживается также созданием водолазам хороших условий для полноценного отдыха между погружениями и высокой степенью механизации выполняемых операций. Поскольку на этапе монтажа оборудования применяются плавсредства водоизмещением в несколько десятков тысяч тонн, с мощной энергетикой и значительными площадями, водолазные комплексы не имеют ограничений по массе, габаритам, сложности обеспечения и энергопотреблению.

На стадии монтажа оборудования работы обычно ведутся круглосуточно и водолазы выполняют самые разнообразные операции. На крановых баржах они наблюдают за установкой свай в направляющие, а после их забивки обрезают выступающие концы свай и направляющих. Поэтому подводная резка — одна из основных операций, выполняемых водолазом. Водолазы, обеспечивающие работу трубоукладочных барж, контролируют правильность укладки трубопровода, соединяют трубы, подготавливают их под сварку, сваривают, монтируют отдельные элементы, укладывают и замыкают трубы в грунт и т. д.

Нормальная эксплуатация морского промысла также невозможна без использования водолазов. Но здесь уже основным содержанием их работ становятся контроль за состоянием подводных объектов и плано-предупредительные ремонты. Как правило, все эти работы планируются заранее, а их объем зависит от размеров и характера обслуживаемого объекта. Водолазные комплексы, обеспечивающие эксплуатацию морских промыслов, должны быть достаточно мобильными, малогабаритными

и неэнергоемкими. Водолазы, как правило, работают в режиме кратковременных спусков или спусков с небольшими сроками декомпрессии. Для целей контроля, например за состоянием трубопроводов, целесообразно использовать подводные аппараты.

Водолазы выполняют следующие основные операции: неразрушающий контроль с целью обнаружения поверхностных и внутренних трещин подводных объектов, проверку и замену

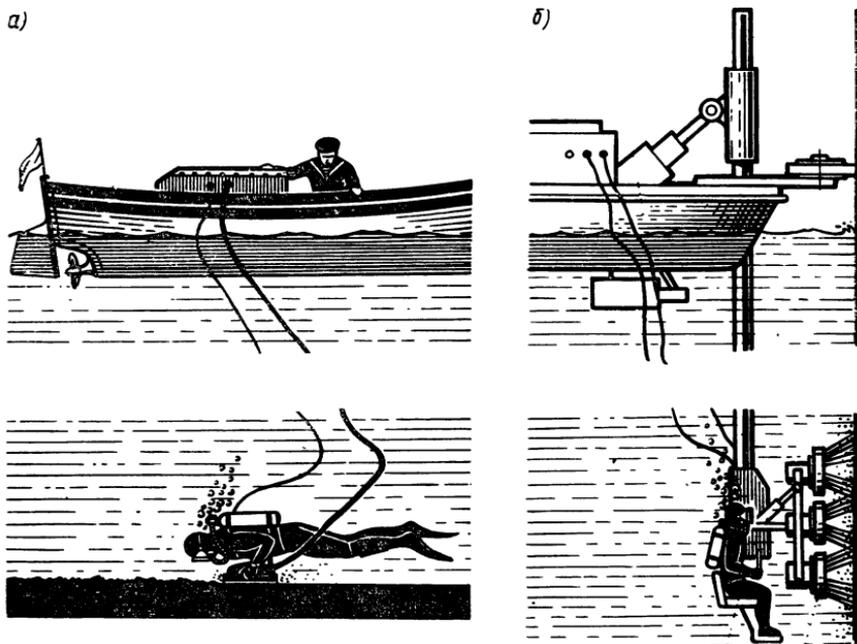


Рис. 5.1. Подводная очистка поверхностей сооружений: *а* — ручным механизованным инструментом; *б* — с помощью подводной установки.

элементов катодной и протекторной защиты от коррозии, контроль средств борьбы с обрастанием и др. Однако при эксплуатации морских промыслов возможны и достаточно сложные и трудоемкие работы. Это прежде всего очистка подводных объектов от обрастания, выполняемая с помощью гидромониторов или механическим путем, пескоструйная очистка металла, его подводная окраска и т. п. (рис. 5.1). Особенно сложными являются работы по замене отдельных участков трубопроводов, связанные со снятием и нанесением различных покрытий, с монтажом, сваркой и т. д. При проведении подобных операций возможны и спуски водолазов с насыщением.

Таковы, вкратце, общие задачи, решаемые с помощью водолазов в ходе выполнения работ по разведке, освоению, строи-

тельству и эксплуатации подводных промыслов и сооружений. Однако конкретное содержание производимых водолазом технологических операций в значительной мере определяется инструментами, находящимися в его распоряжении.

К технологической оснастке, используемой под водой, предъявляются весьма жесткие требования, особенно с точки зрения удобства и простоты применения, поскольку в ряде случаев подводные операции выполняются при плохой видимости и в неудобном снаряжении без фиксированной точки опоры, озябшими руками, потерявшими от холода способность осязания.

В общем виде применяемую под водой технологическую оснастку можно подразделить на следующие группы: ручной инструмент, ручной механизированный инструмент, сварочное оборудование, оборудование для резки, вспомогательные устройства, приспособления и оборудование.

Ручной инструмент (зубила, молотки, кувалды, ножовки, ножницы, гаечные ключи, резак, свайки) помогает выполнять водолазу простейшие операции по завинчиванию (отвинчиванию) болтовых соединений, резке и рубке стальных и пеньковых тросов и т. п. Привод ручного механизированного инструмента может быть пневматическим, гидравлическим, электрическим или пиротехническим. Инструменты с электроприводом пока не нашли широкого применения, поскольку все еще трудно обеспечить абсолютную водонепроницаемость электрической системы и 100 %-ную надежность защиты водолаза от поражения током.

В настоящее время наибольшее применение нашли инструменты с пневмоприводом. На глубинах до 30 м они являются наиболее экономичными по сравнению со всеми другими типами механического привода. Перечислим некоторые из этих видов инструментов.

Пневматические сверлильные машинки, предназначенные для сверления отверстий в металле и дереве, работают при избыточном давлении (до 0,6 МПа) подаваемого с поверхности воздуха. Машинки снабжены шлангом для выхлопа отработанного воздуха. При работе на малых глубинах используется короткий шланг (1—1,5 м) с поплавком на конце, благодаря чему воздух выходит в воду выше головы водолаза. На значительных глубинах шланг выводится на поверхность, так как подводный выхлоп вследствие большого сопротивления воды требует значительных затрат мощности.

Пневматические клепально-рубильные молотки, различаемые по мощности, частоте ударов и конструктивному оформлению, используются для клепки и рубки заклепок, обрубки кромок, прорубки металлических листов и т. п. Пневматические бурильные молотки предназначены главным образом для бурения шпуров в породах средней твердости при взрывных работах под водой. Пневматическая пила служит для спиливания под водой

свай, шпунтового ряда, перепиливания различных деревянных конструкций.

Пиротехническим приводом снабжены дыропробивные пистолеты, которые применяются для пробивания отверстий в стальных листах толщиной 9—17 мм и для забивания в них шпилек диаметром до 18 мм.

На глубинах более 50 м инструмент с гидравлическим приводом имеет определенные преимущества перед пневматическим: большую мощность в том же объеме, меньшие потери за счет приближения источника энергии к месту работ, возможность аккумуляции энергии, использование в автономном варианте.

Существуют два способа передачи энергии от гидропривода к подводным инструментам: по шлангам с поверхности и по шлангам от гидравлической системы, размещенной под водой в зоне ведения работ. Очевидно, что первый способ экономичен на глубинах до 30 м, а второй — на больших глубинах, где существенно увеличиваются потери на подачу и отвод масла в шлангах, диаметр шлангов, а следовательно, и их масса.

Подводная гидравлическая система состоит из гидронасоса с приводом, рабочего резервуара и сдвоенного гидравлического шланга, присоединяемого к инструменту. В качестве привода гидронасоса обычно используется электродвигатель, получающий питание по кабелю с поверхности или от аккумуляторных батарей (в автономном варианте). Электродвигатель защищен от высокого давления воды, а гидронасос помещается в заполненный маслом контейнер с компенсацией давления, который выполняет также роль резервуара гидравлической системы.

В одном из вариантов [62] подводная гидравлическая система выполнена в виде отдельного энергоблока с массой 680 кг, размером  $76,2 \times 76,2 \times 122$  см. Она может применяться на глубинах до 180 м. Поршневой гидронасос обеспечивает подачу масла к инструменту в количестве  $0,06 \text{ м}^3$ . Питание электродвигателя насоса осуществляется по кабелю с поверхности трехфазным током напряжением 440 В, 60 Гц.

Одним из прогрессивных методов обработки поверхностей под водой является иглофрезерование, обеспечивающее хорошее качество поверхности и малую шероховатость. Иглофрезерная установка, смонтированная на манипуляторе подводного аппарата, может выполнять следующие работы: подготавливать поверхности для дефектации, ремонта и окраски, зачищать поверхности перед сборкой и монтажом, обрабатывать их до и после сварки и т. п.

Вспомогательные устройства, приспособления и оборудование различных типов также широко применяются при ведении подводных работ. К ним относятся: средства для размывания и удаления грунта (грунторазмывочные устройства, водоструйные эжекторы, пневматические грунтососы), средства для взрывных работ, такелажное оборудование (домкраты, лебедки,

тали); приспособления и устройства для крепления водолаза-оператора с целью обеспечения остойчивости (быстроразъемные ременные прихваты, чашечные присосы, магнитные крепящие устройства); фото-, кино- и телевизионное технологическое оборудование, включающее средства подводного и надводного обеспечения, видеозаписи, фиксация документов, их обработки, расшифровки, контроля и т. п.; приборы и средства технологического и эксплуатационного контроля объектов (средства магнитной дефотоскопии, ультразвуковая и электроаппаратура, рентгеновские установки и т. п.); различные технологические балластные системы и устройства, приспособления захвата, фиксации, перемещения технологического оборудования, инструмента и объекта работ, устройства индикации и технологической разметки и т. п.; средства технологического контроля и регулирования, включая устройства защиты от перегрузок, технологического аварийного предупреждения и т. п.; средства утилизации и отвода производственных отходов при ведении технологических операций.

Подводные инструменты должны иметь хорошую герметизацию и соответствующие покрытия, обеспечивающие им продолжительную и надежную работу в агрессивной морской среде.

## **5.2. Методы проведения водолазных спусков**

Существующие водолазные технические средства обеспечивают следующие основные способы погружения: в автономном снаряжении с поверхности; в шланговом снаряжении с поверхности; с использованием водолазного колокола; с использованием мобильных подводных аппаратов; в режиме насыщения с использованием водолазного колокола и палубного водолазного оборудования (барокомплекса); в режиме насыщения с использованием стационарных подводных сооружений типа «подводный дом».

Погружения с поверхности в автономном или шланговом снаряжении осуществляются, как правило, с борта обеспечивающего судна или платформы. При данном способе погружения в период подъема на поверхность водолаз проходит декомпрессию непосредственно в воде, делая остановки на определенных глубинах, устанавливаемых таблицами декомпрессии в зависимости от времени пребывания водолаза под водой. Время декомпрессии может быть очень большим. Так, после пребывания на глубине 30 м в течение 60 мин (включая половину времени на погружение до данной глубины) требуются четыре остановки, а общее время декомпрессии при дыхании сжатым воздухом составляет 54 мин. При аналогичном спуске на глубине 45 м декомпрессия длится уже 2 ч 35 мин при семи остановках в процессе подъема. А пребывание в течение 45 мин на глубине 80 м потребует уже 10-часовой деком-

прессии. Если учесть ограниченность общего допустимого времени пребывания водолаза под водой, то подобная длительная декомпрессия резко сокращает его рабочее время. К тому же продолжительное бездеятельное нахождение в воде при декомпрессии создает много трудностей как водолазу, так и обеспечивающим его спуск. Утомленный работой, водолаз мерзнет, еще больше утомляется, а обеспечивающее судно не может уйти с места выполненной работы, например при ухудшении метеорологических условий, при необходимости ведения работ в другом районе и т. п.

Предельные глубины, на которых могут эффективно работать водолазы в указанном снаряжении, составляют 60—70 м при использовании для дыхания воздуха и 100 м при использовании гелиево-кислородных смесей.

Достоинствами указанного способа являются простота подготовки обеспечения работ, быстрдействие и мобильность, особенно при использовании автономного снаряжения. Поэтому он широко применяется при осуществлении многих подводных работ на относительно малых глубинах, а также для кратковременных спусков на предельно допустимые глубины.

Погружения с использованием водолазного колокола (водолазной камеры) предусматривают погружение и подъем водолаза в специальном подводном аппарате. Своим названием он обязан тем примитивным устройствам прошлого в виде перевернутого горшка (колокола), которые применялись еще в глубокой древности, и поэтому может считаться одним из самых старейших в водолазном деле. При спуске водолазы, чаще всего трое, в полном водолазном снаряжении находятся внутри колокола, где поддерживается атмосферное давление. С поверхностью колокол связан кабель-тросом и гибким шлангом, через который подается дыхательная смесь. В случае необходимости водолазы могут перейти на автономное питание от газовых баллонов, размещенных на колоколе. Когда колокол (лебедкой с обеспечивающего судна или платформы) опустят на заданную глубину, давление газовой смеси начинают постепенно повышать до уровня, соответствующего давлению воды, затем два водолаза выходят из колокола и приступают к работе, а третий остается в колоколе. Он поддерживает связь с поверхностью, наблюдает за работающими водолазами, готовый в случае необходимости оказать им помощь. Продолжительность работы водолазов вне колокола в радиусе от 10 до 15 м зависит от глубины погружения и характера работ и может составлять от нескольких минут до одного-двух часов.

Смесь для дыхания водолазам подается по шлангам из колокола, а не с поверхности, что уменьшает опасность обрыва шлангов, так как они не подвергаются воздействиям собственной массы, волнения моря, течений, обеспечивающего судна и т. п. Кроме того, уменьшаются потери дорогостоящего гелия, улуч-

шается и облегчается регенерация смеси, увеличивается надежность ее подачи водолазу, поскольку смесь циркулирует по сравнительно короткой цепи: колокол — водолазный аппарат — колокол, а не по схеме водолаз — судно обеспечения.

Таким образом, использование колокола повышает безопасность водолаза под водой. Колокол значительно облегчает подъем водолазов на поверхность. После завершения работ водолазы входят в колокол, задраивают люк, и колокол поднимается на поверхность. В зависимости от длительности работ и глубины подъем колокола может осуществляться в режиме декомпрессии с изменением внутри колокола давления газовой смеси, т. е. водолазы проходят декомпрессию в изоляции от водной среды в сравнительно хороших условиях. В случае необходимости, например при срочном уходе судна обеспечения из района работ, водолазный колокол быстро поднимают на борт судна и водолазы проходят декомпрессию в нем, как в обычной декомпрессионной камере. При кратковременной декомпрессии это допустимо, но при длительной — не очень удобно по ряду причин. Поэтому в последнем случае водолазный колокол после подъема состыковывают со стационарной декомпрессионной камерой на средстве обеспечения (судне или платформе). Выравнив давление, водолазы переходят из колокола в стационарную камеру, где проходят декомпрессию. В стационарных декомпрессионных камерах водолазам обеспечиваются соответствующие санитарно-гигиенические условия, питание, медицинские контроль и помощь.

Водолазные колоколы позволяют достаточно эффективно и безопасно проводить непродолжительные работы на глубинах до 150—180 м. Их основной недостаток — необходимость проведения декомпрессии после каждого водолазного спуска. Поэтому, начиная с глубины 60—70 м, использование водолазного колокола становится неэффективным из-за слишком кратковременного пребывания водолаза на дне.

Погружение в обитаемых подводных аппаратах по существу аналогично спускам в водолазном колоколе, роль которого в этом случае играет самоходный подводный аппарат. Подобные аппараты состоят как минимум из двух герметичных отсеков. В первом отсеке, где поддерживается атмосферное давление, размещается экипаж, управляющий аппаратом и всеми его системами; второй отсек, по сути дела, является вмонтированным в аппарат водолазным колоколом. Находящиеся в этом отсеке водолазы после погружения подводного аппарата на заданную глубину и выравнивания давлений выходят в воду через люк и приступают к работе. Возвратившись в подводный аппарат, водолазы сразу могут начать декомпрессию, а после всплытия и подъема аппарата на борт судна-носителя — остаться в аппарате до ее завершения. В случае необходимости водолазный отсек подводного аппарата состыковыва-

ются с палубной декомпрессионной камерой и водолазы продолжают декомпрессию уже в этой камере.

Существенными преимуществами подводного аппарата перед водолазным колоколом являются автономность и мобильность. Кроме того, работающие под водой водолазы все время находятся в поле зрения экипажа подводного аппарата, что значительно снижает возможность несчастных случаев. Поэтому рассматриваемый способ погружения следует использовать, когда подводные работы выполняются на сравнительно больших площадях, например при осмотрах и ремонте подводных нефтепроводов, очистке их от наносов, обрастания, замене приборов и т. п.

Однако и этот способ погружения не устраняет необходимости длительной декомпрессии. Это его главный недостаток. Кроме того, радиус действия большинства подводных аппаратов с водолазными отсеками довольно мал, поэтому из района в район они доставляются надводным судном. Энергетические установки подводных аппаратов, как правило, маломощны и не могут обеспечить интенсивного ведения подводных работ с большим расходом сжатого воздуха или электроэнергии, что не позволяет использовать мощное оборудование. Если же подобное оборудование снабжать энергией с судна-носителя по кабелям и шлангам, то тогда подводный аппарат потеряет свои преимущества перед более простым водолазным колоколом — он лишится автономности и мобильности.

Таким образом, мобильные подводные аппараты наиболее целесообразно применять при выполнении сравнительно «легких» работ, таких как контроль, наблюдение, небольшие ремонтные работы без значительных затрат энергии, фотографирование, киносъемка и т. п., при условии, что выходы водолазов будут кратковременными и не потребуют длительной декомпрессии. Практика водолазных работ подтверждает это. Известно, например, использование подводного аппарата с выходом водолазов на грунт при обследовании нефтепроводов на глубинах до 210 м [23].

При погружении в режиме насыщения водолазы, пройдя компрессию, остаются на весь период проведения работ в условиях давления, равного давлению на рабочей глубине. После окончания рабочего дня водолазы не проходят декомпрессию, а доставляются в достаточно комфортабельные жилые помещения, в которых находятся в гипербарических условиях до следующего водолазного спуска. И лишь по завершении всего цикла «насыщенного» погружения водолазы проходят одну декомпрессию. Исключение процесса декомпрессии после каждого водолазного спуска значительно повышает экономическую эффективность глубоководных погружений. В настоящее время используются два способа выполнения «насыщенных» погружений: палубный (надводный) и подводный.

Погружение в режиме насыщения с использованием стационарных подводных сооружений типа «подводный дом» предусматривает длительное пребывание водолазов под водой, где они не только работают, но и живут, как бы превращаясь в подводных жителей — акванавтов. Их убежище — «подводный дом», в котором давление газовой смеси поддерживается равным давлению окружающей среды. Время пребывания акванавтов под водой (проживание в подводном доме) может составлять от нескольких суток до нескольких недель. В течение всего периода проживания под водой акванавт по несколько часов в день работает в воде, возвращаясь для отдыха в свое подводное убежище, естественно без проведения декомпрессии. При подъеме на поверхность, например при замене групп акванавтов или после завершения работ, акванавты проходят декомпрессию любым из известных способов: в период подъема в воде, в водолазном колоколе, в отсеках поднимаемого подводного дома и т. п.

Эксплуатация подводного дома требует значительного количества вспомогательного оборудования, которое размещается либо на надводном судне, либо на берегу. Обеспечение таких работ по обслуживанию, как доставка энергии, питания, газовых смесей, осуществление медицинского контроля, связи и т. д., является сложной и дорогостоящей задачей. Следует учесть также, что проживание акванавтов в условиях подводных домов связано с определенными трудностями: малые объемы, повышенная влажность, проблемы совместимости, повышенная опасность и т. д.

Большой недостаток такого способа «насыщенного» погружения — отсутствие мобильности и быстродействия. Периоды подготовки и завершения работ, связанные с установкой и подъемом подводного дома, довольно длительны и серьезно зависят от метеоусловий в заданном районе. Все это, наряду с большими эксплуатационными расходами (удельная стоимость работ на американской подводной лаборатории «Силаб-2» составляла 35 тыс. дол. в сутки), затрудняет применение рассмотренного способа погружения для ведения промышленных и производственно-технических работ. Опыт эксплуатации подводных домов подтверждает этот вывод. Поэтому можно предположить, что и в ближайшем будущем такой способ погружения будет в основном применяться для ведения научно-исследовательских работ, требующих длительного присутствия исследователей в данном районе под водой для ведения работ *in situ*.

Погружение в режиме насыщения с использованием палубного водолазного оборудования в настоящее время получает все большее распространение при ведении различных глубоководных работ. Организация спусков водолазов заключается в следующем. На протяжении всего периода работ водолазы живут в барокамере, размещенной на обеспечивающем судне. В ней

поддерживается давление, соответствующее «рабочей» глубине или глубине, выход на которую с рабочей возможен с малым (до нескольких минут) временем декомпрессии. Перед спуском с барокамеры стыкуют водолазный колокол. После установления в нем давления, равного давлению в барокамере, водолазы переходят в колокол и доставляются к месту работы. Отработав заданное время под водой, водолазы проделывают обратный путь (подъем в колоколе — стыковка — переход в барокамеру) при одном и том же неизменном давлении газовой дыхательной смеси. Декомпрессия водолазов проводится только один раз после выполнения запланированных подводных работ. Естественно, что в случае необходимости группа водолазов может быть заменена, причем одна группа может работать, другая (замененная) проходить декомпрессию в другой барокамере.

Рассмотренная организация погружений очень эффективна. Она обеспечивает высокий уровень производительности труда, экономическую рентабельность подводных работ и их достаточно высокую надежность. Стоимость палубного водолазного комплекса, объединяющего все водолазные средства в данном варианте на судне (платформе)-носителе, значительно меньше стоимости аналогичного комплекса для обслуживания подводных домов хотя бы уже потому, что входит составной частью в эти подводные комплексы как средство подводного или берегового обеспечения.

Надежность всех систем и их техническая обеспеченность у палубного комплекса значительно выше, поскольку в надводных условиях гораздо легче устранить или существенно уменьшить ограничения по энергозатратам, рабочим площадям, массе, габаритам различных устройств, приборов и узлов. В надводных условиях значительно проще организовать питание водолазов, хорошие условия их жизни и отдыха, легче обеспечить всеми видами связи, медицинским и другими видами контроля. Палубные комплексы имеют надежные системы газоснабжения барокамер при жестком контроле за физико-химическими параметрами среды в помещениях (влажность, температура, микрофлора и т. д.).

Важно отметить и такие факторы, как мобильность и быстродействие палубных комплексов как при разворачивании, так и при завершении работ, меньшую зависимость от метеоусловий, лучшие возможности по организации помощи травмированным водолазам, их эвакуации в случае аварии и т. п.

Существующие палубные комплексы позволяют вести работы на больших глубинах. В частности, один из американских комплексов этого типа МК-1 используется для ведения работ на глубинах 260—300 м. Комплекс обеспечивает в цикле «насыщения» нормальную жизнедеятельность четырех водолазов, работающих в две смены по два человека в каждой. Обслуживающий

персонал комплекса насчитывает 17 человек. При максимальной продолжительности цикла «насыщенного» погружения в 29 суток (с учетом времени на компрессию и декомпрессию) водолазы могут работать в воде на глубине до 260 м по четыре часа в день в течение 14 суток [23]. Уже используются комплексы для работы на глубинах до 500 м.

Работать под водой можно и в условиях атмосферного давления, если изолировать человека от водной среды, поместив его либо в обитаемый подводный аппарат, либо в специальную камеру, которая доставляется к месту работы и пристыковывается к рабочей площадке под водой. И в том и другом случае рабочий-оператор (водолаз) поднимается на поверхность, не проходя декомпрессии, поскольку на рабочем месте ему организуются «земные условия». Нормобарический метод, при котором в подводной камере создается и поддерживается на время работ атмосферное давление воздуха или газовой смеси, имеет, однако, ряд недостатков. К ним относятся: большие затраты энергии, сложная система регенерации и отвода загрязненного воздуха, опасность отравления персонала, пожара или взрыва во время внезапного повышения объема загрязняющих веществ при выполнении тех или иных технологических операций.

При другом методе выполнения подводных работ — нейтробарическом — рабочая камера заполняется при атмосферном давлении не воздухом, а водой. В этом случае также не существует проблем, связанных с декомпрессией рабочего персонала и опасностью пожаров и взрывов. Не опасно также и загрязнение зоны работ, так как вода, наполняющая камеру, служит ловушкой токсических веществ. При нейтробарическом методе вода из камеры, доставленной в зону работ и установленной на рабочей площадке, не удаляется: в ней лишь понижается давление. Для этого из камеры необходимо откачать весьма незначительный объем воды. Так, для снижения давления от 2 до 0,1 МПа объем воды должен быть уменьшен на одну тысячную; расход требуемой для этого энергии минимален.

Важнейшим фактором при ведении подводных работ является обеспечение безопасности водолазов, находящихся под водой, а также в условиях декомпрессии или «насыщения». Существует четкая регламентация выполнения всех подводных работ, основанная на соблюдении правил охраны труда и использования подводной техники. Кроме того, организована стройная система оперативной и аварийной помощи с использованием ряда специальных технических средств. В число задач, решаемых оперативной системой, входит доставка травмированного или заболевшего водолаза с плавающей базы в стационарный госпиталь на побережье (в тех случаях, когда медицинского обеспечения базы недостаточно для оказания помощи водолазу на месте). Если в обычных условиях транспортировка не представляет особых сложностей, то при нахождении водолазов в барокамере,

либо под декомпрессией, либо в режиме насыщения она становится проблемой, решить которую можно только с помощью специальных транспортных барокамер с типовыми узлами стыковки, позволяющими им состыковываться как с барокамерами палубных комплексов, так и с барокамерами транспортных вертолетов и стационарного госпиталя на побережье.

Вот один из вариантов транспортировки водолазов. Из барокамеры палубного комплекса водолаза (а в случае необходимости и врача) помещают в состыкованную с ней небольшую транспортную камеру, предварительно создав в ней нужное давление газовой смеси. Затем камеру отстыковывают от барокамеры и подают на вертолетную площадку, где соединяют ее с вертолетной барокамерой, в которую переводят водолаза. Вертолетная барокамера больше транспортной, поэтому в нее можно поместить несколько человек. В госпитале пострадавших переводят в специальный лечебный отсек, где они в процессе декомпрессии получают необходимую медицинскую, в том числе и хирургическую, помощь. Таким же образом, могут быть эвакуированы и здоровые водолазы при возникновении опасной ситуации на самой базе обеспечения (судне, платформе, стационарной буровой вышке и т. д.). Но в ряде аварийных ситуаций (пожар, затопление, резкое фонтанирование) или при плохих погодных условиях вертолетный способ транспортирования может оказаться недостаточно быстродействующим. В этом случае водолазов, находящихся в режиме насыщения или под декомпрессией, эвакуируют с помощью специальных аварийных отсеков, которые входят в состав основного палубного барокомплекса. Например, при возникновении пожара или другой опасности отсек аварийной эвакуации с размещенными в них водолазами отстыковывают от основного комплекса и удаляют из опасной зоны. В случае необходимости отсек может быть спущен на воду и отбуксирован от места аварии к ближайшему судну (или платформе), имеющему на борту водолазный комплекс.

Простейшим вариантом отсека аварийной эвакуации является водолазный колокол. Для дыхания водолазов во время буксировки используются бортовые запасы колокола, а энергия для работы механизмов подается по специальному кабелю с борта буксира. К сожалению, число мест в колоколе, как правило, не превышает двух-трех, поэтому в аварийном варианте можно использовать и подводные аппараты с водолажным отсеком, входящие в состав водолазного комплекса.

Более сложная задача — оказание помощи водолазам, которые в момент аварии надводной базы обеспечения находятся под водой. В этом случае оптимальным вариантом следует считать использование подводного аппарата с водолажным отсеком, поскольку самоходный аппарат может сам отойти от аварийной базы и подойти, например, к судну-спасателю. Возможны и другие варианты. Но так или иначе — ведение на море широких

подводных работ в промышленных масштабах невозможно без специальных средств и четко организованной системы оперативной и аварийной помощи водолазам.

На всех этапах качество и производительность подводных работ во многом зависит от опыта и тренированности водолазов. Однако во всех случаях кроме умения выполнять необходимые подводные операции и пользоваться подводным оборудованием и инструментами водолазы должны знать работы, четко представлять обстановку и находить наилучшие способы представления полученной информации.

Как видно из сказанного, наиболее опасные аварийные ситуации на морских месторождениях связаны с фонтанированием подводных скважин, пожарами надводных средств обеспечения, разрушением подводных и надводных сооружений в результате неблагоприятных погодных условий. Борьба с подобными явлениями достаточно сложна и, как правило, требует применения мощных средств, объединенных в единый комплекс на мобильном носителе. Примером такого носителя может служить отечественный океанский спасатель «Ягуар» — представитель серии новейших спасателей универсального типа, способных оказать помощь в штормовых условиях в любой точке Мирового океана. Суда выполняют самые различные спасательные работы, в том числе и водолазные.

Использование водолазных методов труда в других сферах подводной деятельности, таких как судоподъем, строительство и обследование гидротехнических сооружений, обслуживание морехозяйств и тому подобное, достаточно традиционно, но и здесь внедрение новых технических средств и технологических приемов ставит их на более высокую ступень. Так, использование необитаемых и обитаемых подводных аппаратов, снабженных манипуляторами, в значительной мере облегчило работы по обследованию затонувших объектов и особенно по их поиску, обнаружению и подъему на предельных недоступных для водолазов глубинах. Водолазы, работающие в режиме насыщения, способствовали ускорению периода подготовительных работ перед подъемом затонувших судов и других средств.

В исследовательских подводных работах внедрение водолазных методов труда при соответствующем обеспечении техническими средствами может вызвать качественный скачок в развитии ряда научных дисциплин. Так, погружения в режиме насыщения, использование стационарных подводных аппаратов типа „подводный дом“ существенно изменили методы ведения работ в области подводной биологии, физиологии, гидрологии и химии, обеспечив длительное пребывание исследователя непосредственно на месте событий.

Широкое внедрение в практику дыхательных аппаратов на сжатом воздухе типа аквалангов привело к качественно новому этапу развития таких наук, как археология, спелеология, ихтио-

логия и др. Акваланги изменили также методику выполнения ряда подводно-технических работ на глубинах до 40—60 м, интенсифицировали и облегчили их, сделав доступными широкому кругу лиц, поскольку упростилась водолазная подготовка при использовании данного вида снаряжения.

Важным критерием при выборе технических средств освоения океана, подготовке персонала и разработке методов ведения операций является экономическая целесообразность ведения подводных работ. В качестве показателя [38], характеризующего эффективность, принимается стоимость работы одного человека на грунте в течение одного часа. Подводный аппарат условно принимается за одного человека независимо от численности экипажа. Удельная стоимость отражает эксплуатационную стоимость всех привлекаемых средств (амортизация техники, расход материалов и ресурсов, вознаграждение личного состава и т. п.).

Наглядное представление о механизме образования стоимости подводной рабочей операции дает формула

$$C = \left( \frac{kT}{\delta T} + t_1 + t_2 + t_3 \right) \left( C_c + C_a + C'_a + C_o + C_3 + C'_3 \frac{21 + t_2}{14 + t_2} \right), \quad (5.1)$$

где  $k$  — вероятность неблагоприятной погоды;  $T$  — объем работы на грунте, подлежащий выполнению, чел.-ч;  $\delta T$  — объем работы, выполняемой группой водолазов, акванавтов или операторами подводного аппарата, чел.-ч/сут;  $t_1, t_2, t_3$  — общее непроизводительное время, затрачиваемое на спуск, погружение и всплытие ( $t_1$ ), декомпрессию ( $t_2$ ), поиск и перемещение к объекту работ ( $t_3$ ), сут;  $C_c, C_a, C_o$  — суточные затраты по эксплуатации обеспечивающего судна, подводного аппарата и временно привлекаемых средств обеспечения;  $C_3$  — суточная зарплата команды водолазов (акванавтов или операторов ПА);  $C'_a, C'_3$  — суточное денежное вознаграждение за спуски команды водолазов (акванавтов или операторов ПА).

В формуле отсутствуют данные о вероятном (возможном) ущербе вследствие загрязнения данного района в ходе ведения работ, а также данные о расходах на защиту окружающей среды.

Приведенные на рис. 5.2 зависимости удельной стоимости выполнения работ даны с учетом стоимости (амортизации) обеспечивающих средств. Зависимости даны в виде зон, так как некоторые параметры каждого из рассматриваемых способов погружения, особенно двух последних, зависят от условий выполнения работы, назначения аппарата и могут изменяться в широких пределах, т. е. оказывать влияние на стоимость при неизменной глубине погружения. Если удельная стоимость подводных работ определяет как бы абсолютные затраты, то эквива-

лентная стоимость позволяет судить о производительности, т. е. о выполнении объема работ в единицу времени. Производительность при любом способе погружения не является величиной постоянной, а зависит от сложности работ. Поэтому сравнение производительности при различных способах погружения должно вестись для одинаковых рабочих операций. В рассматриваемом случае производительность труда на грунте под водой (выполнение простейших операций, например ремонт и обслуживание кабельных линий связи) определена как производительность человека, выполняющего аналогичную работу в наземных условиях, умноженную на коэффициент потери производительности. Этот коэффициент для каждого способа выполнения работ определяется отношением времени выполнения операции одним человеком в наземных условиях к времени исполнения ее данным способом на грунте под водой. Полученной таким образом производительности труда на грунте под водой соответствует эквивалентная стоимость — стоимость выполняемого объема работ на грунте под водой, эквивалентного объему работ в наземных условиях за один человеко-час.

Анализ данных показывает, что удельная абсолютная стоимость работ, выполняемых акванавтами и водолазами, увеличивается с ростом глубины, когда на стоимость начинают оказывать влияние три основных фактора: ограниченное время пребывания водолаза на грунте, обусловленное режимом декомпрессии, стоимость дыхательных смесей и усложнение способа их подачи и регулирования, денежное вознаграждение, зависящее от рабочей глубины и степени сложности работы. При работе на глубинах, превышающих 60 м, удельная стоимость водолазного труда и эксплуатации обитаемого подводного аппарата становятся примерно одинаковыми. Меньшая стоимость работ акванавтов на глубинах от 60 до 180 м по сравнению с водолазным трудом объясняется тем, что непроизводительная потеря времени, связанная с декомпрессией водолазов при подъеме, у акванавтов сведена до минимума.

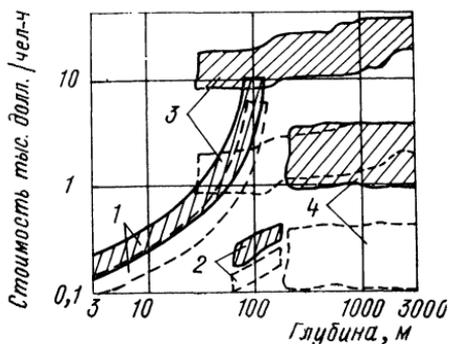


Рис. 5.2. Удельная (— — — —) и эквивалентная (—) стоимости работ на грунте в зависимости от глубины погружения.

Работы выполнялись: 1 — водолазом; 2 — акванавтом; 3 — с помощью обитаемого подводного аппарата; 4 — с помощью необитаемого подводного аппарата.

### 5.3. Средства обеспечения погружений

К средствам обеспечения погружений относятся системы, устройства и механизмы, размещенные на обеспечивающем судне или другой базе и применяемые при проведении водолазных работ. Сюда входит, в частности, водолазное оборудо-

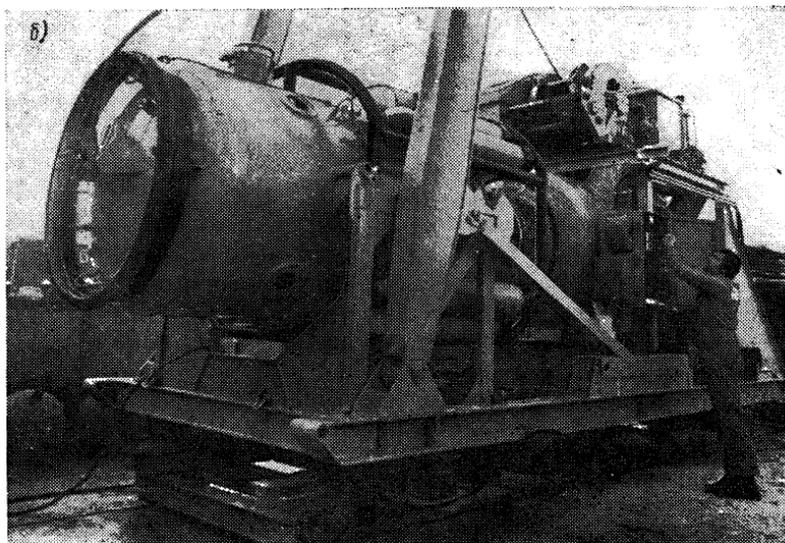
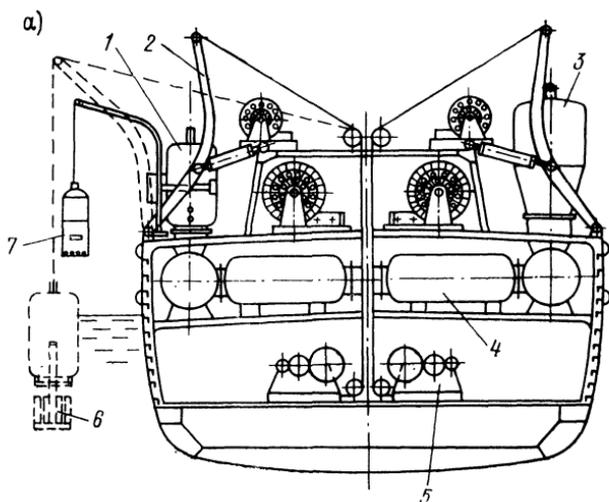


Рис. 5.3. Размещение средств обеспечения: *а* — стационарное; *б* — в переносном варианте.

*1* — водолазный колокол; *2* — кран-балка; *3* — спасательный колокол; *4* — декомпрессионная камера; *5* — грузовая лебедка; *6* — платформа колокола; *7* — спусковая беседка.

дование и снаряжение, которые мы здесь не рассматриваем, так как они широко освещены в литературе (см., например, [23, 50, 53, 62]). Сюда же относятся средства медико-физиологического обеспечения, энергетики, средства, обеспечивающие функционирование самой базы-носителя и обслуживающие специальные и общие плавсредства, подводные средства получения и обработки информации, специальные вертолеты и авиация, ремонтные базы, подводные и надводные средства обеспечения жизнедеятельности обслуживающего персонала и отдыхающих водолазов и т. д. В оптимальном варианте все средства обеспечения размещаются на едином носителе совместно с необходимым оборудованием для выполнения различных подводных работ, образуя своего рода производственный водолазный комплекс с соответствующей специализацией, автономностью, мобильностью, радиусом действия, объемом и характером проводимых подводных работ и т. п.

В простейшем варианте водолазный комплекс может быть представлен рейдовым или морским водолазным ботом (катером). Для выполнения более сложных работ проектируются и строятся более совершенные суда, способные работать длительное время вдали от баз в открытом море в тяжелых погодных условиях. Такое судно должно обладать высокой мореходностью, иметь совершенную систему навигации, устройства для обеспечения динамического позиционирования в районе работ. Оно должно быть оборудовано глубоководным комплексом для обеспечения подводных погружений, иметь вертолетную площадку, шахту для спуска и подъема водолазов, подводных аппаратов и различных механизмов.

Если такого специализированного судна нет, средства обеспечения погружений могут быть размещены на любом подходя-

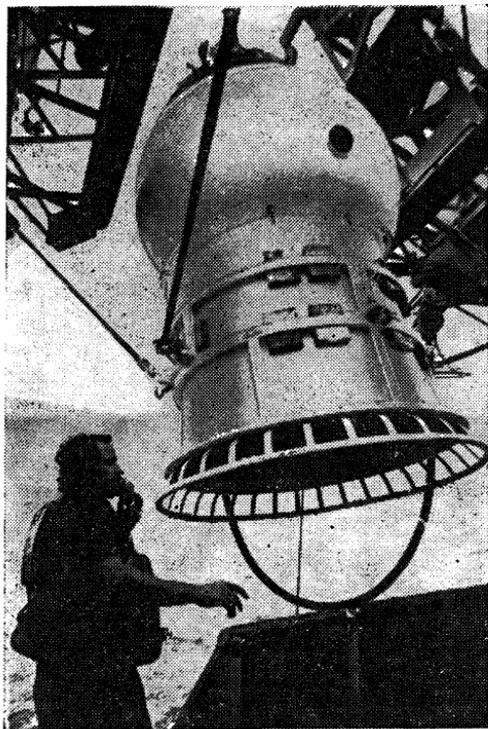


Рис. 5.4. Водолазный колокол фирмы «КОМЕКС».

шем судне. Такое судно оборудуется спуско-подъемными механизмами, устанавливаемыми по бортам или на корме. Расположение этих механизмов часто определяет выбор типа водолазного колокола и способ присоединения к барокамере. При кормовом расположении спуско-подъемных устройств колокол переводят из вертикального положения в горизонтальное, укладывают на тележку, по рельсам подкатывают к барокамере и стыкуют с ней. При бортовом размещении подъемных устройств колокол поднимают и переносят непосредственно к приемному отсеку барокамеры (рис. 5.3).

Водолазный колокол (рис. 5.4) выполняется в виде стального цилиндра или шара, входной люк закрывается изнутри крышкой. В зависимости от конструкции и размеров в колоколе может размещаться от одного до четырех и более водолазов. Гашение положительной плавучести колокола осуществляется с помощью платформы, загруженной балластом. Платформа используется также для размещения водолазов до перехода их в колокол, для хранения водолазных шлангов, инструмента, материалов, светильников, необходимых для работы под водой. С базой колокол связан тросами, шлангами, кабельными линиями энергии, связи и т. д. Однако некоторые конструкции колоколов имеют полностью автономную систему жизнеобеспечения и энергоснабжения (используемую, обычно, в аварийных случаях), а также устройства для перемещения колокола в толще воды.

Камеры, работающие в условиях повышенного давления (барокамеры) и входящие в водолазные средства обеспечения, подразделяются на декомпрессионные и рекомпрессионные.

Декомпрессионные камеры предназначены для проведения или завершения декомпрессии водолазов, поднятых с глубины в водолазном колоколе, рекомпрессионные — для рекомпрессии (лечения) водолазов, заболевших кессонной болезнью или получивших баротравму. Как правило, барокамеры чаще всего используются для выполнения обеих функций: и для декомпрессии и для рекомпрессии.

Конструкции барокамер различны. Они могут быть одноотсечными с предкамерой, двухотсечными, трехотсечными и многоотсечными. Существуют транспортные, стационарные, эвакуационные, передвижные, поточно-декомпрессионные, имитационные барокамеры, барокамеры для проживания водолазов, работающих в режиме насыщения, и др. Все они должны выдерживать внутреннее давление до определенных пределов, обеспечивать подъем давления со скоростью 0,4—0,5 МПа/мин, вход в камеру и выход из нее без нарушения режима декомпрессии и т. д.

Простейшая декомпрессионная (рекомпрессионная) камера (рис. 5.5) выполнена в виде цилиндра с двумя отсеками, один из которых (предкамера) является шлюзовым, что позволяет

войти в декомпрессионный отсек или выйти из него, не снижая давления. Для этого в герметизированной предкамере давление повышают до основного (для перехода в основной отсек) или снижают до нормального (для выхода из барокамеры).

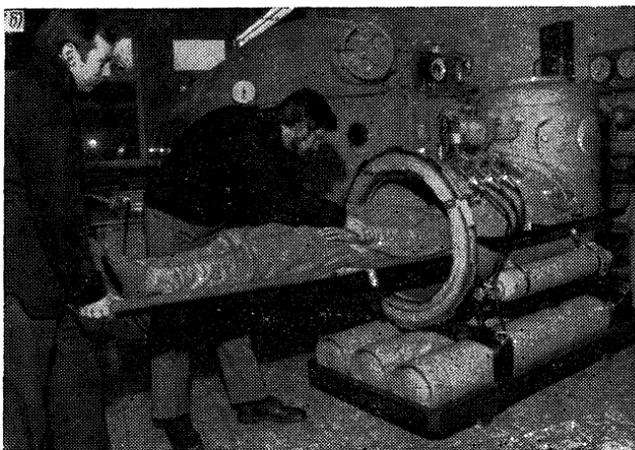
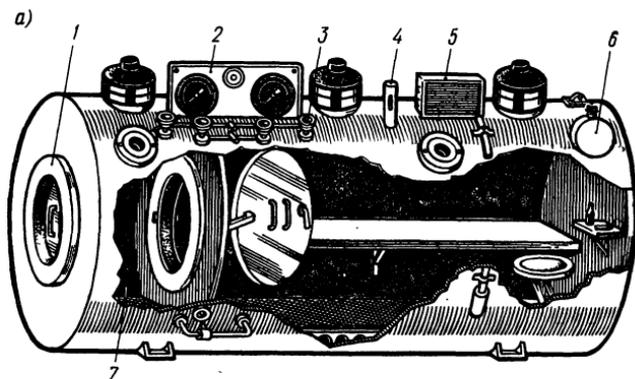


Рис. 5.5. Барокамеры: а — рекомпрессионная камера типа РКУМ-11 (стационарная); б — камеры фирмы «Дрегер» (стационарная и транспортабельная).

1 — входной люк; 2 — приборный щит; 3 — вентили; 4 — предохранительный клапан; 5 — динамик связи; 6 — шлюз; 7 — предкамера.

В комплект оборудования для выполнения работ нейтробарическим методом как обязательный элемент входят средства доставки персонала с поверхности, рабочая, приборная и соединительная камеры (рис. 5.6). Подготовка к работе, например к монтажу оголовка скважины, ведется следующим образом. Транспортное средство, которым может быть обитаемый подводный аппарат или транспортная водолазная капсула (колокол), доставляет рабочий персонал к устью скважины, где

установлены рабочая, приборная и соединительная камеры, заполненные водой под давлением, равным окружающему. Транспортное средство, внутри которого поддерживается атмосферное давление воздуха или газовой смеси, герметично стыкуется с приемной горловиной соединительной камеры, в результате чего образуется замкнутая полость, заполненная водой под давлением, равным окружающему.

Используя устройства транспортного средства, давление воды в полости тубуса и соединительной камеры снижают до

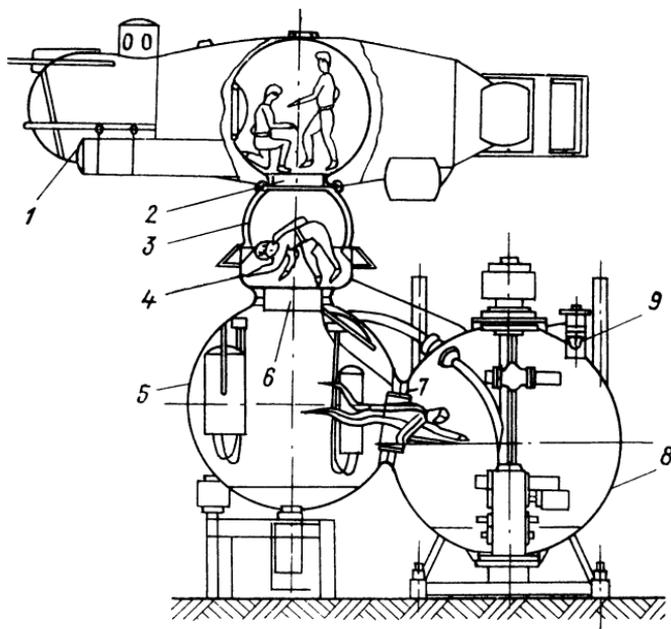


Рис. 5.6. Схема выполнения подводных работ с использованием нейтробарического оборудования.

1 — транспортное средство; 2 — люк аппарата; 3 — тубус аппарата; 4 — соединительная камера; 5 — приборная камера; 6, 7 — люки; 8 — рабочая камера; 9 — предохранительный узел.

атмосферного. После этого открывают люк транспортного средства и через него в соединительную камеру в обычном легководолазном снаряжении опускается водолаз. Он подсоединяет к устройствам, расположенным на корпусе приборной камеры, шланг, по которому из полости камеры удаляется некоторый объем воды, и давление в ней снижается до атмосферного. Водолаз открывает герметично закрытый люк, опускается в приборную камеру и аналогичным образом снижает давление. Избыток воды по шлангам подается в соответствующую полость транспортного средства, откуда насосной системой удаляется в забортное пространство.

В целях улучшения условий работы операторов контрольный приборный пульт переносится из приборной камеры в транспортное средство, которое становится на время ведения работ центром управления работами и местом отдыха водолазов.

В рассмотренной системе сравнительно легко вести контроль за загрязнением в рабочей камере (последнее особенно реально и опасно при выполнении работ на устьевых оголовках нефтяных скважин). Так как люк рабочей камеры во время работ закрыт и открывается только для прохода, то даже небольшой объем проникших в рабочую камеру нефти или газа ведет к заметному повышению в ней давления, которое фиксируется соответствующими датчиками. Они регистрируют также тип углеводородов и скорость их просачивания; все эти сведения поступают на контрольный приборный пульт, позволяя оператору принимать соответствующие решения. Когда скопление углеводородов в верхней части рабочей камеры превышает допустимую норму, срабатывает клапан предохранительного узла, выпуская их в забортное пространство. При значительном выбросе предохранительное устройство обеспечивает непрерывное удаление углеводородов из рабочей камеры.

Двухкамерный вариант оборудования надежно защищает транспортное средство от воздействия загрязнений, повышает безопасность работ. Более подробно с современными типами этих и других устройств для глубоководных погружений можно познакомиться по книге Г. Хаукса [60].

Перемещение водолазов под водой, перевозка грузов осуществляется с помощью транспортных средств различных видов. Их можно разделить на две группы: буксируемые (неавтономные) и автономные. Неавтономные средства, к которым относятся буксируемые беседки, рули, проницаемые (мокрые) лодки и тому подобное, просты в изготовлении и эксплуатации. Время их погружения определяется водолазным снаряжением (для шлангового снаряжения оно, естественно, будет наибольшим). Маневренные возможности буксируемых транспортных средств ограничены. Здесь нельзя не отметить и глубоководные нормбарические скафандры, имеющие „руки“ с гидравлическим приводом и применяемые для погружения водолазов на глубины до нескольких сотен метров. Например, известная модель такого устройства — скафандр типа JIM (Англия) — испытана в условиях проведения работ подо льдом в Арктике.

Автономные средства снабжены источниками энергии и движительными установками, они достаточно маневренны, но их автономность ограничена запасами энергии. Автономные транспортные средства делятся на несколько видов, среди которых наибольшее применение имеют буксировщики и носители. Существенным недостатком буксировщиков, ограничивающим область их применения, является сложность их использования при перевозке грузов, вследствие быстрой утомляемости водолаза

Носители по сравнению с буксировщиками обладают большими преимуществами. Обтекатель защищает водолаза от потока встречной воды, при движении водолаз имеет лучший обзор, меньше утомляется. В более сложном варианте носитель выполняется в виде проницаемой подводной лодки, которая может транспортировать не только водолазов, но и инструмент, оборудование, источники энергии, кино- и фотоаппаратуру и др.

Для работ на больших глубинах применяются носители с прочным герметичным корпусом. К этому типу аппаратов принадлежит, в частности, французский трехместный аппарат „Сиана“ водоизмещением 8,5 т, предназначенный для выполнения исследований и работ на глубинах до 3000 м [16]. Манипулятор аппарата с пятью степенями свободы выполняет пробоотбор грунта, работает гаечным ключом, резакон и другими инструментами. На аппарате может быть установлен ряд сменных инструментов и приборов целевого назначения. Другой французский аппарат типа „Моана“ водоизмещением 9 т погружается на глубину до 450 м. Двухсферный прочный корпус аппарата с 16 большими иллюминаторами, обеспечивающими круговой обзор, заключен в раму, на которой укреплены все заборные устройства, системы и рабочие органы. Для выполнения подводных работ аппарат оснащен манипуляторами с пятью степенями свободы и сменными инструментами: пробоотборниками грунта, захватами, резаками, насадками для заворачивания гаек и др.

Подводные аппараты чисто транспортного типа не предназначены для ведения подводных работ. В промышленном варианте эти аппараты используются для доставки водолазов с поверхности к месту работ и обратно, т. е. выполняют роль как бы автономного самоходного водолазного колокола.

Высокая стоимость эксплуатации обитаемых подводных аппаратов заставляет делать их универсальными как в отношении конструкции, так и применения. К наиболее совершенным аппаратам, совмещающим функции носителя с транспортным средством, можно отнести аппарат РС-1202 (США) с двумя манипуляторами водоизмещением около 14 т. Его полезная нагрузка 6600 Н, глубина погружений до 1000 м. Экипаж подводного аппарата составляют четыре человека, из которых двое — водолазы. Они могут выходить из аппарата для ведения работ: обследования дна, выполнения взрывных работ, забора проб грунта и т. п. При этом они могут пользоваться электрогидравлическими инструментами.

В III—VI модификациях подводных аппаратов серии „Мермэйд“ (ФРГ) имеются специальный отсек и шлюзовая камера, обеспечивающие транспортировку водолазов на глубину до 200, 300 и 600 м. Цилиндрический прочный корпус собирается из трех секций на болтах, что обеспечивает хорошие условия для транспортировки, ремонта и монтажа оборудования. Манипу-

лятор позволяет вести под водой работы, связанные с осмотром и ремонтом трубопроводов и буровых оснований.

Из отечественных подводных аппаратов следует отметить „Бентос-300“. Его водоизмещение 365 т, длина 21 м, ширина 5 м, высота 11,2 м, экипаж 10 человек, автономность 15 сут. В средней части корпуса расположен водолазный отсек, состоящий из основного помещения, шлюзовой и декомпрессионной камер. Запас дыхательных смесей и водолазное оборудование позволяют осуществлять выход водолазов из подводного аппарата на глубинах до 100 м. Аппарат, предназначенный для научных рыбохозяйственных исследований, является, по существу, разновидностью подводного дома, которому приданы определенная мобильность и средства обеспечения перехода водолазов к нормальному давлению через декомпрессию. Это существенно отличает „Бентос-300“ как от стационарных подводных домов, так и от обычных подводных обитаемых аппаратов, сообщая ему новые достоинства.

Подводная техника за последние 15 лет сделала качественный скачок и продолжает развиваться. Основные направления этого развития — увеличение рабочих глубин, повышение мобильности и безопасности, механизация труда водолазов и создание новых инструментов, разработка автоматизированных систем для выполнения все более сложных подводных работ [1, 23, 60].

#### **5.4. Информационное обеспечение подводных работ**

К этому виду обеспечения подводных работ относятся все способы снабжения технолога необходимой для него информацией: данными о навигационной обстановке, метеорологических прогнозами, сведениями о состоянии оборудования, различных средств обеспечения, о запасах топлива, расходах материалов и т. п. К информационному обеспечению относятся средства подводного поиска, связи с надводными и подводными объектами, средства для фиксации результатов наблюдений за состоянием подводных сооружений, а также оборудование для обработки данных от многочисленных датчиков, контролирующих положение рабочих органов, систем, параметры технологического процесса. При реализации достаточно крупных проектов объем подобной „производственной“ информации настолько велик, что для ее хранения, обработки и представления приходится прибегать к специализированным автоматическим системам управления на базе самых современных ЭВМ.

В навигационные задачи входят определение движения и координат надводных судов, управление перемещением подводных аппаратов, а также отдельных водолазов. Решение этих задач требует различной степени точности и характеризуется различными пространственными масштабами. Для обеспечения

нужд подводной технологии используются все современные средства навигации, включая искусственные спутники, гидроакустические лаги и приборы инерциальной навигации.

Очень интересны и перспективны спутниковые системы. К их достоинствам относятся независимость от погодных условий, отсутствие ограничений по дальности, практически равная точность определений во всей рабочей зоне. Применительно к подводной технологии спутниковые системы позволяют надежно определять местонахождение судна и вести прокладку курса. Определение места судна в открытом море с использованием навигационных спутников отличается от других методов обсервации по небесным телам тем, что радиоаппаратура такого спутника передает в эфир точные данные о его положении в пространстве. Нахождение координат судна включает привязку системы судно-спутник, вычисление координат спутника в момент измерения навигационных параметров относительно заранее установленной системы отсчета и вычисление собственно координат судна. Например, действующая в настоящее время система „Транзит“ позволяет определять положение неподвижного судна с точностью не менее 15 м. Система, представляющая собой глобальную всепогодную систему определения места судна по наблюдениям, выполненным при одном прохождении спутника в зоне видимости потребителя, состоит из трех основных комплексов: навигационных спутников, наземного обеспечения и бортового обеспечения потребителей. Каждый спутник этой системы выводится на круговую полярную орбиту высотой 1000 км, так что находящееся в северном полушарии судно может определять свое местоположение каждые 40 мин.

На практике для решения навигационных задач чаще всего используют комплексные системы, которые способны не только наблюдать за навигационной обстановкой, но и контролировать положение судна на трассе, управлять вспомогательными судами и механизмами. В этом отношении интересна навигационная система трубоукладочного судна „Викинг пайпер“. В качестве основного элемента этой системы использован стандартный комплекс „Дэйт бридж“ (фирма „Норконтрол“), основное предназначение которого — предупреждение столкновения судов в море, навигация и автоматическое судовождение. Наряду с радиолокатором в систему входят двухканальный приемник индикатор спутниковой системы, доплеровский лаг, гирокомпас, приемники системы „Декка“. Точность определения координат судна вблизи берега 5 м, в открытом море 15—20 м. Медленное перемещение судна по трассе постоянно контролируется доплеровским лагом, гирокомпасом и датчиком длины уложенных труб. Периодически ведется контроль положения по приемнику индикатору спутниковой системы. Все данные обрабатываются судовой ЭВМ и выдаются на экраны дисплеев. Перед началом укладки труб в качестве исходной информации в ЭВМ вводятся

координаты реперных точек будущей трассы, ширина зоны следования трубоукладчика по трассе, радиусы изгиба трубопровода в местах изменения курса. В нужный момент эта информация выдается на приборы управления лебедками, обеспечивающими позиционирование. На экране дисплея, установленного на ходовом мостике, можно постоянно наблюдать намеченную трассу, путь следования по ней трубоукладчика, положение якорей („Викинг пайпер“ перемещается с помощью якорей, заводимых буксирными судами), маневры буксирных и вспомогательных судов.

Важная особенность системы — возможность ее использования для автоматической прокладки курса трубоукладчика по ранее полученным результатам изысканий. Для этого карты, записанные на магнитных носителях, с помощью идентичной системы навигации передаются на трубоукладчик и вводятся в память его ЭВМ. В процессе укладки все данные о реальном положении трубопровода фиксируются и передаются службам эксплуатации. Кассета с записями на магнитофонной ленте, полученными в процессе укладки с помощью комплекса „Дэйт бридж“, может быть использована другими судами для точного выхода в требуемые места магистрали с целью устранения повреждений, инспекции, регламентных работ и т. д. [10].

Очень широко используются акустические методы. Наиболее эффективны системы, включающие донные маяки, размещенные в районе проведения работ. Такая система может быть построена на основе измерения времени распространения сигнала. Разрешающая способность этих систем значительно выше, чем у аналогичных надводных радиотехнических средств вследствие того, что скорость распространения звука в воде примерно в 200 000 раз меньше скорости распространения радиоволн в воздухе. Ограничение точности акустических систем с маяками вызвано тремя причинами. Во-первых, точность установок самих маяков не может быть выполнена выше, чем это позволяют радиотехнические средства судна обеспечения (в районах действия радиодальномерных средств до  $\pm 2$  м). Во-вторых, при достаточно больших измерительных базах становится существенной рефракция звуковых волн в слоях с различными акустическими свойствами, отклоняющая звуковой луч от прямолинейного распространения. Правда, в районе с известным распределением звукопроводящих слоев эти погрешности могут быть устранены введением расчетных поправок. Наконец, сама скорость звука в различных слоях морской воды не всегда известна с достаточной точностью.

Маяковые акустические системы могут быть реализованы несколькими способами [87]. Хороших результатов достигают, применяя донные импульсные повторители-ответчики (транспондеры). В этом случае подводный аппарат (надводное судно) излучает звуковой импульс, принимаемый тремя ответчиками

которые выдают собственные сигналы строго определенной длительности. По разности времени прихода этих сигналов бортовое вычислительное устройство определяет положение аппарата в заданной системе координат. Для большей надежности вертикальную координату можно ввести в вычислитель независимым образом от датчика глубины. С помощью трех ответчиков при

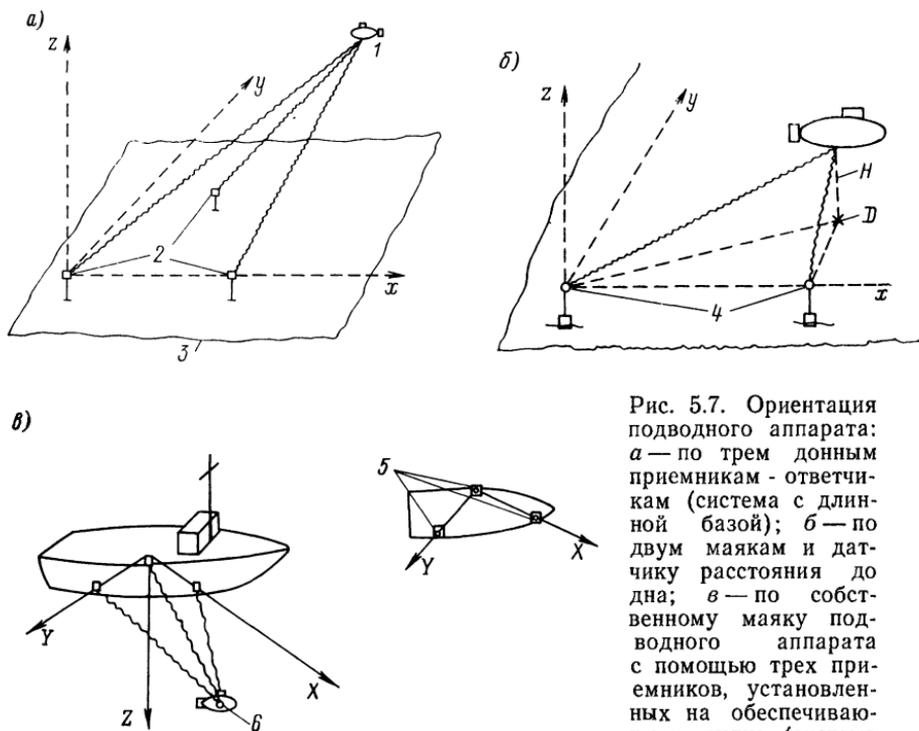


Рис. 5.7. Ориентация подводного аппарата: а — по трем донным приемникам - ответчикам (система с длинной базой); б — по двум маякам и датчику расстояния до дна; в — по собственному маяку подводного аппарата с помощью трех приемников, установленных на обеспечивающем судне (система с короткой базой).

1 — подводный аппарат; 2 — приемник-ответчик; 3 — дно; 4 — донные маяки; 5 — приемники судна обеспечения; 6 — маяк на подводном аппарате; H — расстояние до дна; D — положение аппарата на плоскости  $xy$ .

радиусе приема 12 км обслуживается район площадью до 500 км<sup>2</sup> (рис. 5.7).

Что касается навигационного обеспечения автономных подводных аппаратов, то здесь наиболее перспективными в настоящее время считаются импульсно-доплеровские системы, позволяющие определять положение относительно какой-либо начальной точки отсчета. В таких системах начальные координаты реперных точек вычисляются обычным импульсно-дальномерным способом, а смещение относительно этих точек — интегрированием скорости смещения, определяемой по изменению доплеров-

ской частоты (увеличивающейся или уменьшающейся в зависимости от того, удаляется или приближается объект к маяку).

Разрабатываются и другие типы акустических систем, более простые с точки зрения эксплуатации в ходе выполнения технологических операций в толще воды и на дне. Так, несколькими японскими фирмами создан совместный проект системы, не требующей для работы специальной подготовки, в частности точной установки маяков [97]. Система, включающая несколько ультразвуковых датчиков, блок управления со встроенной специализированной ЭВМ, двухкоординатный самописец и индикаторное устройство, может эксплуатироваться в нескольких вариантах. Один из них, предназначенный для позиционирования подводного бульдозера или любого донного перемещающегося устройства, снабжен двумя ретрансляторами, которые опускаются на грунт на границах рабочей площадки (расстояние от 50 до 400 м), и кабелем связаны с судном обеспечения. Движущийся объект оснащается ультразвуковым маяком. В определенный момент времени один из ретрансляторов излучает, а второй принимает базовый импульс; в следующий момент оба ретранслятора принимают импульс, вырабатываемый маяком объекта, что позволяет определить его расстояние до каждого из ретрансляторов. Ультразвуковые посылки маяка следуют с частотой 5 Гц, поэтому на самописце или индикаторе можно практически непрерывно контролировать положение объекта.

В другом варианте система работает по принципу короткой измерительной базы: три приемопередатчика крепят к днищу позиционируемого судна, подводного аппарата или перемещающегося в толще воды робота в вершинах равностороннего треугольника. В определенной точке на дне устанавливается ретранслятор. Цикл определения координат относительно ретранслятора начинается с подачи одним из приемопередатчиков опорного импульса. В ответ повторитель вырабатывает свой импульс с другой частотой заполнения. Последний воспринимается всеми тремя приемопередатчиками, что позволяет бортовому вычислительному устройству непрерывно рассчитывать положение объекта в трехмерной системе координат. С помощью этой системы можно наблюдать за положением плавающего или перемещающегося по дну водолаза. Описанная система позиционирования снабжена устройством селекции сигналов с автоматической регулировкой усиления, благодаря чему информационные сигналы принимаются в условиях шумов, создаваемых подводными агрегатами.

Приборная реализация систем информационного обеспечения современного рабочего обитаемого подводного аппарата достаточно сложна. Она включает в обязательном порядке устройства гидроакустической связи, эхолоты типа „верх—низ“, различные гидролокаторы, обеспечивающие как панорамный, так и секторный обзор. Сюда входят гидроакустические маяки и при-

емоответчики, доплеровские лаги, специальные приборы подводного поиска (локаторы бокового обзора, магнитометры, металлоискатели и т. д.). Достаточно сказать, что стоимость электронных средств оснащения аппарата широкого назначения составляет почти половину его полной стоимости.

Информационное обеспечение водолаза-технолога осуществить легче. Для работы под водой ему необходимы надежная связь и возможность ориентироваться. Основные требования к используемой при этом аппаратуре — малые габариты и масса, простота и надежность эксплуатации, достаточные дальность и срок действия. Для ориентации сейчас широко используются индивидуальные ультразвуковые средства подводного поиска. С этой целью подводные объекты маркируют акустическими маяками, а водолаза снабжают пассивным локатором с достаточно узкой диаграммой направленности приемного гидрофона, сигнал которого либо подают на головные телефоны, либо на световой индикатор. Если обозначенных на дне объектов (в пределах дальности распространения ультразвукового сигнала) несколько, то сигнал модулируют каким-нибудь простым и хорошо распознаваемым кодом. Особую ценность ультразвуковая разметка имеет при поиске уединенных и редко посещаемых объектов. К недостаткам подобных систем можно отнести наличие довольно сложных электронных приборов, требующих обслуживания, в частности смены источников питания. До получения надежного пеленга водолаз должен затратить некоторое время. Кроме того, если водолаз находится на грунте и ему надо перейти к следующему объекту, то для поиска приходится сильно привсплывать, чтобы избавиться от экранирующего действия препятствий и помех, связанных с отражением от дна.

Существует несколько типов такой аппаратуры. Все они дают только направление на источник ультразвука. Чтобы полностью решить задачу ориентации, надо создать аппаратуру, которая позволяла бы водолазу получать представление о своих координатах. Это гораздо труднее, хотя речь не идет о точных значениях. Попытки в этой области делаются. Не так давно американскими исследователями было запатентовано устройство для ориентации подводного пловца относительно нескольких подводных акустических маркеров. Принцип действия устройства основан на последовательном приеме непрерывного ультразвукового сигнала двумя парами приемников, расположенных друг от друга на определенном расстоянии. Каждая пара предназначена для ориентации в одной из плоскостей и может использоваться самостоятельно. Электронная схема устройства позволяет для каждой пары приемников получить две симметричные диаграммы направленности, образующие равносигнальные направления вдоль нормалей к серединам измерительных баз. Сигнал с выхода устройства подается на головные телефоны. Он модулируется таким образом, что при изменении на-

правления принимаемый водолазом код изменяется. Для работы с одним маркером достаточно использовать одну пару преобразователей. Чтобы получить представление о положении в трех плоскостях, систему делают трехканальной с электрической перестройкой преобразователей на частоту соответствующего маркера. Водолаз последовательно определяет свое положение в трех плоскостях и делает заключение о своем местоположении [44].

Радикальным решением проблемы ориентации водолаза будет, вероятно, такое, при котором его оснащение приборами сведется к минимуму, все вычислительные и подобные им операции будут выполняться внешним устройством, а водолаз в толще воды и вблизи дна поведет оператор или автомат подобно тому, как это делается в авиации. Резервные автономные средства в такой ситуации понадобятся водолазу только на случай выхода системы из строя.

До сих пор речь шла о пассивных методах водолазного поиска и ориентации, однако существуют и активные средства: различного типа водолазные локаторы, металлоискатели и т. д.

Основные параметры локаторов — разрешение по дальности и по углу — определяются характеристиками акустического преобразователя. От них же зависит масса и габариты прибора. Мощность генератора локатора ограничивается соображениями безопасности и емкостью источников питания. Эти параметры не связаны со способом представления результатов, определяющих информационные возможности прибора. В частности, по структуре сигнала на экране индикатора опытный водолаз может определить не только направление, дальность, угловые размеры преграды, но и „почувствовать“ ее фактуру, опознать.

Однако распознавание объектов под водой — это уже другая, самостоятельная информационная задача. Для ее решения естественно привлечь звуковидение. Предмет, находящийся в непрозрачной для глаза среде, облучают ультразвуком. Звуковые лучи отражаются от него, и часть их попадает на звуковой объектив, формирующий в своей фокальной плоскости „изображение“ — распределение в пространстве поля давления, в определенном масштабе воспроизводящего облучаемый предмет. Это поле давления делают видимым при помощи электронно-акустического преобразователя (ЭАП), приемным элементом которого служит пьезоэлектрическая пластина. Чувствительность современных ЭАП (не менее  $10^{-9}$  Вт/см<sup>2</sup>) приближается к аналогичным характеристикам глаза и уха. Их разрешение зависит от частоты облучающего ультразвука. Для подводных исследований с участием водолаза подходит диапазон 5—10 МГц. В этом диапазоне принципиально можно создать аппаратуру, которая позволила бы водолазу просматривать пространство глубиной до нескольких метров. При таких частотах линейное разрешение составляет величину порядка 1 мм.

В настоящее время гидроакустики многих стран работают над созданием акустических голографических систем подводного видения. Интересные результаты получены японскими разработчиками, создавшими и испытанными в 1977 г. макет подобной системы. Система работает на глубине до 100 м, ее дальность действия от 2 до 100 м, угол зрения  $40 \times 40^\circ$  при угловом разрешении  $0,4^\circ$ . Система работает на частоте 200 кГц при мощности излучения 200 Вт. Излучателем служит антенная решетка из 16 пьезокерамических элементов (матрица  $4 \times 4$ ), приемная матрица содержит  $32 \times 32$  элемента. Ее антенна, питаемая 16-канальным генератором, управляемым ЭВМ, последовательно облучает участки просматриваемого пространства. Поступающие с приемной матрицы сигналы усиливаются 1024-канальным усилителем, преобразуются в двоичный код и вводятся в память ЭВМ с сохранением временного признака. Изображение ЭВМ воспроизводит за 2 с. При этом за счет цифровой обработки достигается устойчивое качество изображения, его фильтрация от посторонних помех. Импульсный режим работы позволяет получить данные о дистанции до предмета и вследствие временной селекции снизить влияние объемной реверберации звуковых волн. Сравнение описанной системы визуализации с обычным наблюдением подтвердило ее эффективность, особенно в мутной воде. Так, если дальность обычного наблюдения не превышала 1 м, то гидроакустическая система давала возможность различать крупные детали предмета на расстоянии 100 м при десятикратном увеличении замутненности<sup>1</sup>.

Голографические принципы могут быть использованы и при наблюдении объектов, скрытых от наблюдателя толщей грунта. Такая потребность возникает, например, при обследовании глубоководных трубопроводов. Для этих целей фирмой „Голосоникс“ разработана система, включающая необитаемый подводный аппарат, который несет плоскую многоэлементную акустическую антенну размером  $3 \times 6$  м, собранную из обычных акустических преобразователей, работающих на частоте 10—20 кГц. Эта антенная решетка предназначена для определения местоположения трубопровода (диаметром 0,25—0,9 м), дефектов в нем и в его облицовке. Чтобы повысить разрешение системы, вдоль центральной линии антенной решетки был установлен ряд высокоразрешающих преобразователей, работающих на частоте 200 кГц и обеспечивающих определение линейных размеров повреждения. Подводный аппарат снабжен гидролокаторами, которые обнаруживают препятствия и позволяют удерживать аппарат на определенном расстоянии от дна (рис. 5.8). С помощью индикаторного устройства, размещенного на борту судна обеспечения и связанного с подводным аппаратом кабе-

---

<sup>1</sup> См. „Japan Electronic Engineering“, 1977, IX, № 129, с. 28—31.

лем, можно получить изображение трубопровода в реальном масштабе времени [95].

Следует отметить, что арсенал средств расширения возможностей зрения под водой пока еще беден. Водолаз-исследователь может использовать осветительные приборы — подводные фонари „заливающего света“, индивидуальные осветители направленного действия. В перспективе — освещение участков дна

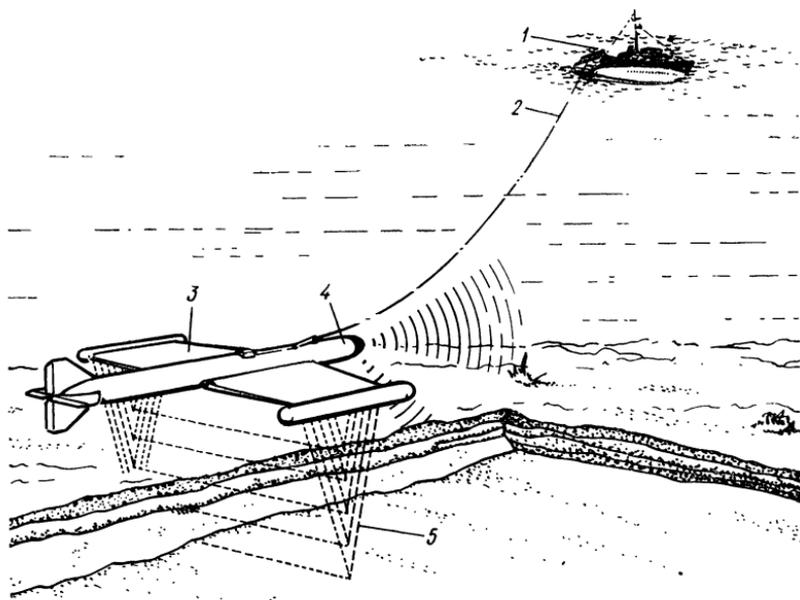


Рис. 5.8. Схема использования акустической голографической системы для обследования подводных трубопроводов.

1 — судно обеспечения; 2 — кабель-трос; 3 — подводный аппарат, несущий акустическую систему; 4 — гидролокатор и высотомер; 5 — направление облучения трубопровода ультразвуком.

лазерами. Но любая подсветка хороша в достаточно прозрачной воде. В воде с большим количеством взвеси увеличение освещенности часто приводит к обратному эффекту: из-за сильного рассеяния света фоновое излучение настолько возрастает, что рассматриваемый объект исчезает из поля зрения. Некоторую помощь здесь могут оказать поляризационные светофильтры. Нанесенные на стекло маски, они ослабляют световой поток, принимаемый глазом, но частично убирают фон. Еще лучший результат дает сочетание поляризационного светофильтра с освещением поляризованным же светом.

Прогресс электроники позволяет надеяться, что водолазы в ближайшее время получат специальные оптические системы обзора, увеличивающие дальность зрения в мутной воде. Сооб-

щения о создании подобных систем уже появились в печати. Они включают в качестве источника света импульсный или непрерывно генерирующий лазер, а в качестве приемника изображения — высокочувствительный электронно-оптический преобразователь. Для подавления сигнала за пределами требуемой дальности наблюдения используют метод „стробирования по дальности“, реализуемый за счет введения в систему питания преобразователя специального временного селектора. Система позволяет не только видеть значительно дальше, но и определять расстояние до наблюдаемого предмета. Подобный метод временной селекции применяется и в гидролокации. Основу такой схемы составляет лазер с малой угловой расходимостью луча, благодаря чему на объекте высвечивается площадка диаметром не более 2 см на расстоянии 10 м. Сканирование луча в двух плоскостях осуществляется с помощью двух вращающихся зеркал. Синхронизация сканирования луча и чувствительной зоны приемной телевизионной трубки дает возможность наблюдать излучение, приходящее только от освещаемой в данный момент точки объекта. Таким образом достигается защита от рассеянного в воде света.

Несколько слов о ставших уже традиционными методах регистрации результатов подводных наблюдений — фото- и киносъемке, телерепортаже. Эти методы прочно вошли в практику работ под водой. Они позволяют быстро собрать требуемые сведения о нужном объекте, максимально сократить время работы под водой за счет детального анализа на поверхности полученных изображений.

Реализованы два пути создания аппаратуры для подводной съемки: изготовление боксов для серийных камер и разработка специальных герметичных камер. Нашей промышленностью были освоены серийные боксы типа УКП для камер «Ленинград», «Зоркий», ФЭД, типа КПФ для камеры «Старт», типа КПФ-1 для камеры «Зенит». Умельцы быстро научились переоборудовать эти боксы практически под любые фотоаппараты, встраивать в них блоки питания для электронных ламп-вспышек, а сами лампы монтировать на кронштейнах. Качественный скачок в развитии техники для подводной съемки произошел после создания под руководством М. М. Русинова серии специальных короткофокусных подводных объективов типа «Гидроруссар». Эти объективы практически не дают искажений, свойственных их сухопутным «собратьям», резко «рисуют» изображение предмета с расстояния 50 см до бесконечности.

Перспективна для подводных съемок отечественная камера «Салют» с широкоугольным короткофокусным объективом «Мир-26». Широкая пленка (размер кадра 6×6 см), точная наводка на резкость по матовому стеклу, быстросъемная кассета со счетчиком кадров — все это дает возможность делать снимки, по качеству не уступающие тем, которые получаются с по-

мощью известной зарубежной камеры «Роллей-флекс» (вместе с фотобоксом — «Роллей-марин»).

Нельзя не упомянуть и о популярной шведской камере «Хассельблат» с боксом того же наименования. Все виды этой камеры, выпускаемой в Гетеборге, позволяют получать прекрасные подводные снимки, однако стоимость камеры очень высока, что еще раз выгодно отличает отечественный «Салют». К сожалению, боксы для «Салюта» серийно не выпускаются, однако чертежи их описаны в литературе.

У подводников во всем мире большим успехом пользуются фотокамеры, разработанные специально для подводных съемок. Первая среди них — созданная под руководством Ж.-И. Кусто камера «Калипсо-фото». Она имеет кадр  $24 \times 36$  мм, оснащена объективом с фокусным расстоянием 35 мм, диапазон ее выдержек — от  $1/30$  до  $1/1000$  с, а примерные размеры —  $130 \times 90 \times 35$  мм. В воде камера обладает небольшой положительной плавучестью и почти не сковывает действия водолаза. Не меньшей популярностью пользуется выпущенная в Японии по французскому патенту камера «Никонос», являющаяся почти полным повторением камеры «Калипсо-фото». Интересно отметить, что эта камера рекламировалась как всепогодная, позволяющая фотографировать в проливной дождь. Это определило для нее обширный рынок сбыта. Одна из последних разработок — камера «Никонос-2» — предназначена исключительно для подводных съемок. Она оснащена сверхширокоугольным объективом UW-Nikkor с фокусным расстоянием 15 мм и углом зрения в подводном положении  $94^\circ$ .

Из широкоплечных камер, предназначенных специально для выполнения технических фоторабот, специалисты выделяют уже упоминавшуюся камеру РС-770 (более поздняя модель — РС-775), разработанную фирмой «Хайдро продактс» совместно с лабораторией электроники ВМС США. Важное достоинство этой камеры — возможность с ее помощью отснять 30 м пленки, сделав без перезарядки до 400 кадров размером  $57 \times 57$  мм. В свое время камера РС-770 получила достаточно высокую оценку акванавтов подводной лаборатории «Силаб-2».

Одна из последних разработок в этой области — камера для технических съемок ВДС-370. С ее помощью можно сделать 800 кадров на обычной 35 мм пленке и 1600 кадров на пленке с тонкой подложкой. На каждом кадре фиксируются его номер, дата и время съемки. Камера оснащена объективами «Никонос» с фокусными расстояниями 28, 35 и 80 мм, имеет выдержки от  $1/5$  до  $1/125$  с, а изменение относительного отверстия — от  $1:3,5$  до  $1:22$ . Дистанция съемки — от 60 см, все управление камерой электрифицировано.

Серийные боксы для киносъемочных аппаратов выпускались отечественной промышленностью только для узкоплечных любительских камер «Спорт» и «Кварц» («Кварц-2»). Это

известные ПКБ-2 и «Нептун». Для технических и научных съемок наиболее подходят аппараты, работающие на пленке 16 и 35 мм, оснащенные электроприводом. Разработан ряд конструкций боксов для таких аппаратов. А. С. Массарским, например, описаны боксы для камер «Киев-16С-2», «Адмирал-электрик», «Конвас-автомат». Эти боксы изготовлены в нескольких экземплярах, известны их модификации. Сейчас любая съемочная группа, приступающая к подводным работам, вынуждена первым делом позаботиться об изготовлении подходящего бокса. Возможный выход из создавшегося положения — выпуск специализированной подводной камеры. Первая отечественная конструкция подобного рода принадлежит А. С. Массарскому. Созданный им герметичный корпус для камеры типа «Аврора-12» выдержал давление на глубине 82 м.

При выполнении технических и исследовательских работ под водой киносъемка по своим возможностям уступает более оперативному телерепортажу. Кроме телерепортажа техника кабельного телевидения широко применяется для наблюдения за водолазами, за работой различных устройств, которые в любой момент могут потребовать человеческого вмешательства, для предварительного осмотра участка дна, куда должен спуститься водолаз. Особое применение нашли телевизионные устройства при создании телевизоров для различной съемочной аппаратуры. Важное достоинство методов телевидения состоит в том, что в процессе преобразования сигнала появляется возможность сильно повысить контраст изображения на телеэкране по сравнению с контрастом наблюдаемого объекта. Известно, что так называемая идеальная телевизионная система благодаря этому свойству имеет различимый порог контраста в сто раз меньший, чем глаз человека. Это дает возможность повысить дальность видимости в морской воде примерно в два раза по сравнению с обычным визуальным наблюдением.

Современная подводная телекамера — небольшой 250-миллиметровый цилиндр массой около 2 кг и диаметром примерно 50 мм. Камера может быть установлена прямо на водолажном шлеме и отъюстирована так, чтобы поля зрения надводного оператора и водолаза совпадали. Камера соединяется кабелем с монитором на борту судна обеспечения, в подводном убежище или на платформе. По кабелю подаются видеосигнал, сигналы управления, питание, комментарии водолаза. В открытом море и в прибрежных водах, не замутированных выносами, современные телекамеры могут работать без специального освещения практически во всем диапазоне погружений с аквалангом. Освещенность при этом меняется от нескольких тысяч лк у поверхности до единиц лк на глубине около 100 м. Если естественного освещения недостаточно или необходимо стабилизировать освещенность, изменяющуюся из-за перемещения водолаза, применяют подводные светильники. Обычно

для подсветки достаточно двух ламп мощностью 100—150 Вт. При большей мощности дальность наблюдения, как и при фотографировании, уменьшается из-за дымки обратного рассеяния. Используют и «бестеневые» осветители, включающие большее число ламп при той же общей мощности.

Если работу надо вести в мутной воде, где видимость близка к нулю, никакие ухищрения с искусственным освещением обычно не помогают. Здесь для наблюдений используют контейнеры с чистой водой, через которые можно наблюдать небольшие предметы, состояние поверхностей оборудования и опор. Для контроля больших объемов в мутной воде с помощью оптических методов не так давно американские специалисты предложили специальную систему очистки и подачи прозрачной воды. Для стационарных наблюдательных телевизионных систем это хотя и дорогостоящий, но перспективный метод. Возможно, что с развитием звуковидения и акустической голографии удастся создать более подходящие системы наблюдения за работающими под водой механизмами, но элемент телевизионной аппаратуры в них будет присутствовать непременно.

Телевизионный монитор, расположенный в пункте управления работами, включает пульт управления одной или несколькими камерами, видеоконтрольное устройство, видеомагнитофон. В эту же систему подключены переговорные устройства, что дает возможность синхронно записывать на звуковой дорожке речь водолаза и реплики оператора. Использование видеозаписи не только расширяет возможности памяти, но и существенно образом изменяет саму динамику работы под водой. Если в случае систем без записи изображения оператор и специалисты на поверхности должны были успевать просматривать быстро чередующиеся кадры изображения, все время дергая водолаза просьбами замедлить осмотр, то теперь, используя стоп-кадр, непосредственный осмотр и детальное изучение повреждений можно разделить.

Такие важные достоинства телевизионной аппаратуры как оперативность обработки информации, возможность автоматизации и постоянного видеоконтроля за действиями людей и оборудования, принципиально высокое качество записи — все это делает ее применение при организации подводных работ не только выгодным, но и просто необходимым.

Интересные возможности открывает прямой телерепортаж. Уже более 10 лет используются для этой цели телекамеры в практике обследования транспортных сооружений, опор мостов, кладки молов, прокладки трубопроводов. Для этих целей специалистами в нашей стране еще в 1965 г. была разработана надежная транспортная аппаратура. Создание портативных телекамер расширило возможности телерепортажа. Дж. Кенни описывает в качестве примера использования телерепортажа метод освидетельствования морских буровых платформ, введенный

американским бюро судоходства [23]. Теперь, не останавливая бурения, можно осмотреть подводные части платформы, записать результат на магнитную ленту и предъявить ее в органы надзора для заключения о пригодности к дальнейшей эксплуатации.

По мере развития техники телевидения его техническое применение становится все более привлекательным. Уже сейчас это электронное зрение превосходит зрение человека в 10—100 раз, а фотографический процесс — в 100 раз. В перспективе создание малогабаритных твердотельных датчиков изображения на базе так называемых самосканирующихся матриц, внедрение которых в корне изменит процесс формирования изображения, чрезвычайно упростит передающую аппаратуру. Такие матрицы не требуют сложной системы питания, стабильны во времени, их размеры таковы, что герметичный передатчик с объективом и усилителем умещается на ладони.

У телевидения есть и другие возможности развития. До сих пор речь шла об обычном телевидении, но ведь разрабатываются и системы объемного телевидения. Такие системы крайне нужны операторам подводных манипуляторов, их опытные образцы уже существуют. Ведутся разработки и телевизионных голографических систем. Принцип их действия состоит в том, что голографическое изображение формируется не на фотослое, а на катоде передающей трубки. Затем голограмма воспроизводится на экране приемника — специальной проекционной трубки, освещается лучом лазера и восстанавливается в объемное изображение предмета. Реализация возможности создания таких систем уже доказана экспериментально, правда пока только для ограниченного числа ракурсов статического изображения. Для передачи динамики пока еще нет способа передачи голограмм с требуемой скоростью. Однако вполне возможно, что голографическое телевидение найдет применение в практике подводных работ.

Как видит читатель, даже столь поверхностное описание существующих и разрабатываемых в настоящее время средств информационного обеспечения подводных работ показывает их довольно широкие возможности. Очевидно, что развитие физических представлений о природе подводной среды, темпы развития электроники, широкое использование вычислительной техники — все это позволит со временем создать единые информационно-управляющие системы “человек — подводная среда”. Они будут способны решать не только локальные задачи наблюдения за несколькими подводными аппаратами или водолазами, но и полностью возьмут на себя обработку тех огромных массивов информации, с которыми приходится иметь дело при широком развертывании подводных работ в океане. Уже сегодня в арсенале электроники есть все необходимые элементы для создания таких систем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Проникновение технологии в толщу вод океана — закономерный процесс, вызванный растущими потребностями человечества в пище, энергии, в сырье для промышленности и строительства.

Практически все работы, которые человек выполняет в океане, так или иначе связаны между собой. Само освоение океана — проблема сугубо комплексная. Именно поэтому при планировании, подготовке и реализации морских технологических проектов необходимо постоянно помнить об этой взаимосвязи и именно поэтому в настоящей книге введено широкое понятие „подводная технология“, охватывающее любые виды подводной деятельности.

Выбор таких элементов подводной технологии, как подводное строительство, добыча сырья, разработка биоресурсов, не случаен. В настоящее время в этих областях сосредоточены основные усилия подводных технологов и достигнут значительный прогресс, а кое-где даже предел разумных возможностей. Последнее касается, например, традиционного лова морских животных в толще воды, который без мер по активному воспроизводству становится все менее рентабельным.

Добыча морской нефти, разработка залежей конкреций, глубоководных илов, металлоносных песков, развитие марикультуры — вот основные направления развития подводной технологии на ближайшие 10—20 лет. Далее на очереди — морская энергетика, переработка морской воды (в более широких, чем сейчас, масштабах), разработка коренных и осадочных пород, качественное улучшение технологии марикультуры.

Наряду с таким расширением сферы приложения подводной технологии будет происходить ее совершенствование, распространение на районы со все более тяжелыми природными условиями — предельные глубины океана, покрытые льдами моря Северного Ледовитого океана. Значительное место в технологических операциях займут чисто подводные методы работы. Уже сейчас подводная техника успешно развивается именно в этом направлении.

Таким образом, основными вопросами, которыми предстоит заниматься в ближайшем будущем подводным технологам, являются разработка технологических процессов подводной добычи, обогащения и частичной переработки сырья, разработка совершенной подводной техники и, конечно, подготовка кадров.

1. Аварийно-спасательные и судоподъемные средства. Л., Судостроение, 1979.
2. **Андреев Н. Н.** К теории лова рыбы траллирующими орудиями.— Тр. ВНИРО, 1977, т. 122, с. 59—76.
3. **Аюшин Б. Н., Чигиринский А. И.** Научные основы развития марикультуры в Приморье.— Тр. 5 японо-сов. симп. аквакульт., сент. 1976, Изд. Токийского университета, 1977, с. 317—324.
4. **Бадовский Н. А.** Бурение на нефть и газ на шельфе американского и европейского континентов.— М., 1975.
5. **Бородавкин П. П., Березин В. Л., Шадрин О. Б.** Подводные трубопроводы. М., Недра, 1979.
6. Биологические основы борьбы с обрастанием. Киев, Наукова думка, 1973.
7. **Бунич П. Г.** Экономика мирового океана. М., Наука, 1977.
8. **Буянкина С. К.** Биотехника искусственного разведения морской капусты в Приморье.— Тр. ВНИРО, М., 1977, т. 124, с. 52—56.
9. **Варыпаев В. Н.** Коррозия металлов. Л., Изд. ЛГУ, 1972.
10. Вычислительные системы трубоукладчика Викинг Пайпер.— Экспресс-информация ВИНТИ «Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы», 1976, № 48. реф. 424, с. 15—16.
11. Геологическое управление США о загрязнении акватории Северо-Атлантического континентального шельфа.— Инж.-нефт, 1976, № 12, с. 4—5.
12. **Гольдин Э. Р., Забела К. А.** Механизация строительства подводных сооружений. М., Стройиздат, 1979.
13. **Гуревич Е. С., Искра Е. В., Куцевалова Е. П.** Защита морских судов от обрастания. Л., Судостроение, 1978.
14. **Гюльбадамов С. Б.** Техника рыболовства и рыболовный флот.— В кн.: Оборудование пищевой промышленности. М., 1975, т. 3, с. 55—134.
15. **Денисов Н. Е.** Некоторые вопросы методики водолазных исследований донных сообществ.— Океанология, 1972, т. 12, вып. 5, с. 884—891.
16. **Дмитриев А. Н.** Проектирование подводных аппаратов. Л., Судостроение, 1978.
17. **Зальцман Г. Л., Кучук Г. А., Гургенидзе А. Г.** Основы гипербарической физиологии. Л., Медицина, 1979.
18. **Заферман М. Л.,** Визуальная оценка плотности скопления рыб.— Рыбное хозяйство, 1978, № 3, с. 11—14; Определение численности промысловых объектов с помощью притралового автомата.— Рыбное хозяйство, 1974, № 7, с. 25—26.
19. **Згурский К. Н.** Техника и технология бурения скважин с подводным устьем.— М., 1975.
20. **Зорбиди В. Н.** Аварийно-спасательные и судоподъемные операции. М., Транспорт, 1976.
21. **Ивлев В. С.** Экспериментальная экология питания рыб. М., Пищевая промышленность, 1955.

22. Капустин К. Я. Плавающие буровые установки и буровые суда. М., Недра, 1974.
23. Кенни Дж. Техника освоения морских глубин. Л., Судостроение, 1977.
24. Кицак Н. А., Забела К. А. Подводно-технические работы в строительстве. Киев, Будівельник, 1970.
25. Коротков В. К., Кузьмина А. С. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ним. М., Пищевая промышленность, 1972.
26. Красов Н. В. Подводно-технические работы. М., Транспорт, 1975.
27. Лезгинцев Г. М., Контарь Е. А., Кузнецов Г. И. Разработка глубоководных месторождений твердых полезных ископаемых Мирового океана.— В кн.: Разработка месторождений твердых полезных ископаемых, М., ВИНТИ, 1976, т. 14, с. 269—332.
28. Леонтьев О. К. Дно океана. М., Мысль, 1968.
29. Лукашов В. Н. Метод классификации орудий лова.— Рыбное хозяйство, 1969, № 4, с. 34—36.
30. Мадатов Н. М., Зорбиди В. И. Организация и технология подводного судоремонта. М., Транспорт, 1973.
31. Мельников В. Н. Биофизические основы промышленного рыболовства. М., Пищевая промышленность, 1973.
32. Мельников В. Н. Основы управления объектом лова. М., Пищевая промышленность, 1975; Некоторые вопросы теории управления объектом лова.— Тр. ВНИРО, 1973, т. 97, с. 8—42.
33. Меншуткин В. В. Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных. Л., Наука, 1971.
34. Меньшиков В. И., Яковлев В. И. Выбор оптимальных параметров облавливающей системы по критерию скоростной выносливости рыб.— Рыбное хозяйство, 1978, № 6, с. 51—53.
35. Меренов И. В. Подводная очистка и окраска судна. Л., Судостроение, 1978.
36. Миял П. Х. Морские хозяйства в прибрежных водах. М., Пищевая промышленность, 1978.
37. Моисеев П. А. Промысловая продукция Мирового океана.— В кн.: Биология океана, т. 2. М., 1977, с. 289—313.
38. Необитаемые подводные аппараты/Под ред. А. В. Сытина, М., Воениздат, 1975.
39. Никоноров И. В. Взаимодействие орудий лова со скоплениями рыб. М., Пищевая промышленность, 1973.
40. Одум Ю. Основы экологии. М., Мир, 1975.
41. Освоение глубин океана/Под ред. В. В. Андреева, М., Воениздат, 1971.
42. Основания для бурения скважин в море, применяемые за рубежом: ВНИИ организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, обзоры зарубежной литературы: серия «Бурение», М., 1975.
43. Пат. 3859804 [США].
44. Пат. 3927388 [США].
45. Пат. 2250295 [Франция].
46. Пат. 2251208 [Франция].
47. Пат. 50—8825 [Япония].
48. Пат. 51—2201 [Япония].
49. Пат. 51—2721 [Япония].
50. Педоренко А. Криогенный аппарат АК-3.— Спортсмен-подводник, 1977, вып. 46, с. 19—28.
51. Проектирование и строительство технических средств для изучения и освоения океана. Л., 1977.
52. Серебров Л. И., Чумаков А. К., Синатор Г. К. Определение плотности рыбных скоплений на пути трала.— Рыбное хозяйство, 1978, № 4, с. 64—66.
53. Справочник водолаза/Под ред. Е. П. Шиканова, М., Воениздат, 1973.
54. Сооружение подводных трубопроводов.— Экспресс-информация ВИНТИ «Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы», 1977, № 36, реф. 303—305, с. 25—38.

55. Технологія добычы полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов/ Под общей редакцией В. В. Ржевского и Г. А. Нурока, М., Недра, 1979.
56. **Торбан С. С.** Механизация процессов промышленного рыболовства. М., Пищевая промышленность, 1977.
57. **Трещев А. И.** Научные основы селективного рыболовства. М., Пищевая промышленность, 1974.
58. **Трофимов В. И.** Механизация добычи морских беспозвоночных. М., Пищевая промышленность, 1970.
59. Устройство для подводной выемки грунта.— Консепу-но кикайка, 1974, № 200, с. 51—59 (на япон. яз.).
60. **Хаукс Г.** Подводная техника. Л., Судостроение, 1979.
61. **Цапко А. С.** Механизация добычи и первичная обработка морских водорослей. М., Пищевая промышленность, 1968.
62. **Шабалин В. Н., Печатин А. А., Громадский Б. В.** Водолазная техника в рыбном хозяйстве. М., Пищевая промышленность, 1977.
63. **Шелковников И. Г., Морозов Г. И., Лукошков А. В.** Пробоотборник ударного действия для разведки морских россыпей.— Разведка и охрана недр, 1977, № 3, с. 56—57.
64. **Шеховцева Л. С.,** Теоретические основы экономической оценки биоресурсов моря в прибрежных водах.— Тр. АтлантНИРО, Калининград, 1977, вып. 70, с. 17—28.
65. **Шкундин Б. М.** Землесосные снаряды. М., Энергия, 1973.
66. **Шпаков Г. Т.** Некоторые проблемы механизации добычи ламинарии.— Рыбное хозяйство, 1977, № 5, с. 63—65.
67. Abwurfstrategien bei Freifallgeräten.— Meerestechnik., 1973, Bd. 4, N 4, s. 113—115.
68. **Boyardjief C., House H., Roussel H.** A new offshore pipe aligning system.— 9th Annu. Offshore Technol. Conf., Houston, Tex., 1977, vol. 2, p. 257—266.
69. **Buehring W. R.** Bottom-pull method would use ring-stiffened pipe in deep water.— Oil and Gas J., 1976 vol. 74, N 42, p. 59—64.
70. **Carrean D. W.** Arctic offshore drilling, a technical development and economic evaluation.— 4th Annu. Offshore Technol. Conf., Dallas, 1972, vol. 2, p. 623—636.
71. **Chapman C. J., Mason J., Kinnear J. A.** Diving observation on the efficiency of dredges used in the scottish fishery for the scallop, Pecten maximus.— Scot. Fish. Res. Rep., 1977, N 10, p. 1—16.
72. **Chateau G. M.** Deepwater seafloor production station being developed of Africa.— Oil and Gas J., 1977, vol. 78, N 18, p. 148—150, 153, 156, 161, 162, 164.
73. **Chida S.** Sea bottom excavator.— Interocean-73. Düsseldorf, 1973. Bd. I., s. 666—674.
74. **Cobb G. S.** Sea plow-IV — an underseas vehicle for burying ocean cable.— 2nd Annu. Comp. Conf. Oceans-76, Washington, D. S., 1976, 19 B1-19. B6.
75. **Davis A. P.** Laying and repairing of submarine cables and their impact on other users of the sea bed.— J. Sos. Underwater Technol, 1976, vol. 2, N 3, p. 26—29.
76. Deep water engineering in the North sea. Part II. Laying of large diameter pipe deep water.— Proc. 9th world Petrol. Congr., London, 1975, vol. 4, p. 93—105.
77. Development plans for Canadian Arctics gas field.— Petrol. Times, 1977, vol. 81, N 2057, p. 17—19.
78. **Donkers J. M., Groot R.** Dredging at sea.— 5th Annu. Offshore Technol. Conf., Dallas, 1973, vol. 1, p. 379—390.
79. **Doughty S. C.** Deep sea construction.— J. Constr. Div. Proc. Amer. Sos. Civ. Eng., 1975, vol. 101, N 3, p. 607—622.
80. Entwurf eines Tiefsee.— Fördersystems.— Meerestechnik, 1975, Bd. 6, N 3, s. 90—91.

81. Explorationsgerät zur Kontinuierlichen marinen Probennahme.— Meeres-technic, 1972, Bd. 3, N 4, s. 156—157.
82. Fahrbares Raupenbohrgerät unter Wasser.— Hansa, 1972. Bd. 109. N 7, s. 584.
83. Foster W. Undersea cable maintenance and repair — a review.— 9th Annu. Offshore Technol. Conf., Houston, Tex., 1977, vol. 4, p. 503—510.
84. Frank A., Varaksin S. Verdichtung von Böden durch dynamische Einwirkung mit Fallgewichten über und Wasser.— Baumasch. und Bautechn., 1977, vol. 24, N 9, p. 529, 531—539.
85. Gonvenot D., Gabaix J. C. A new foundation technique using piles seabed by cement grout under high pressure.— 7th Annu. Offshore Technol. Conf. Houston, Tex., 1975, vol. 2 p. 645—656.
86. Hussen G. Van. Hammers designed for deep water pipe driving.— Oil and Gas., J. 1976, vol. 74, N 42, p. 66—69.
87. Hydronautics. New York and London, 1970.
88. Isaais Ch. R. Dredging for bulk samples of manganese nodules.— Mining Eng., 1974, vol. 26, N 4, p. 27—30.
89. Lange J., Tamm U., Würz H. Entwicklung einer Schleppsonde zur "in-situ" Analyse von Manganknollen — Lagerstätten.— Meerestechnik, 1975, Bd. 6, N 2, s. 50—55.
90. Malcolm B. G., Gollhofer F. R. Inner space station for ocean floor operations.— Mech. Eng., 1975, vol. 97, N 10, p. 34—37.
91. Mallon L. G. Legal foundation for priority usage of ocean space.— 2nd Ann. Comp. Conf. Oceans-76. Washington D. C., 1976, 1C1—1C4.
92. Manen J. D. van. Aspects of maritime research in ocean engineering.— Ingeneur/Ned/, 1977, vol. 89, N 11, p. 213—216.
93. Marine ecology./ Ed. by O. Kinne, vol. 3: Cultivation, pt. 3, London a. o., Willy, 1977.
94. Maurer L. A., Edgerton A. T. Flight evaluation of US Coast Guard airborne oil surveillance system.— Mar. Technol. Soc. J, 1974, vol. 10, N 4, p. 38—52.
95. Metzler J. A. Acoustic holography may permit buried pipe line inspections.— Ocean Industry, 1978, May, p. 94—95.
96. Mohr H. O. Subsea pipeline connectors: a look at what's available.— World Oil, 1976, vol. 183, N 6, p. 73.
97. Motohisa N. and other. Underwater positioning system.— Hitachy hyiron, 1975, vol. 57, N 10, p. 881—886.
98. Pipelining plunges into deeper water.— Oil and Gas J., 1976, vol. 74, N 19, p. 27—28.
99. Reuter M., Kniess J. Erfahrungen bei der Überwachung der Herstellung von seeverlegten Gasleitungen.— Interocean-76, Düsseldorf s. a., 1976, Bd. 1, p. 674—690.
100. Reuter M. Planung, Bau und Gütekontrolle seeverlegter Gasleitungen. 2 Teil: Verarbeitung, Korrosionsschutz und organisatorische Problem.— Meerestechnik, 1975, Bd. 6. S. 205—210.
101. Richards A. F., Ling S. C., Gerwick B. C., Jr. Site selection for offshore facilities.— Ocean. Engng., 1976, vol. 3., p. 189—206.
102. Slapno W. D. Exploration technology and ocean mining parameters.— Mining Congress J., 1976, vol. 62, N 5, p. 16—22.
103. Snider W. D. Management of Mid-Atlantic offshore development risks.— Mar. Technol., 1977, vol. 14, N 14, p. 331—350.
104. Sparkes H. L. Ekofisk-Erden gas pipeline construction and operation.— Interocean-76, Düsseldorf s. a., 1976, Bd. 1, s. 777—788.
105. Stanley M. Health and safety—the foundations of a new industry.— Petrol. Times, 1976, vol. 80, N 2020.
106. Tiefsee — Ferusehsystem mit "Valdivia" erprebt.— Meerestechnik, 1975, April, N 2, s. 56—57.
107. Tone boring develop multi-bit rig.— Ground Eng., 1972, vol. 5, N 5, p. 36.

108. **Toolan E. E., Fox D. A.** Geotechnical planning of piled foundations for offshore platforms.—Proc. Inst. Civ. Eng., 1977, vol. 62, May, p. 221—244.
109. **Trebichavsky J.** Přispěvek ekonomickému hodnocení hlubokomorské těžby manganových konkréci.—Rudy, 1974, d. 22, N 10, s. 308—316.
110. **Wakefield S. A.** The atlantic outer continental shelf.—Anur. Gas. Assoc., Mon, 1973, vol. 55, N 9, p. 8—11.
111. **Walter J. C., Muklatun B., Andersen T.** Risk Analysis- A Systematic Approach to Safety.—Veritas, 1977, vol. 23, N 90, p. 4—6.
112. **Welding for the sea.**—Weld. Des. and Fabr., 1977, vol. 50, N 5, p. 85—88.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	3
Глава 1. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ . . .	5
1.1. Классификация подводных технологических операций . . .	5
1.2. Морская среда как определяющий технологический фактор . .	10
1.3. Краткая характеристика строения дна морей и океанов . . .	20
1.4. Человек в системе «человек—подводная среда» . . . . .	25
1.5. Объекты подводного строительства . . . . .	33
Глава 2. ПОДВОДНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ . . .	42
2.1. Инженерные изыскания . . . . .	42
2.2. Сооружение фундаментов . . . . .	51
2.3. Монтажные работы . . . . .	62
2.4. Прокладка трубопроводов и кабелей . . . . .	75
2.5. Ремонтные работы . . . . .	88
2.6. Борьба с обрастанием и коррозией . . . . .	95
Глава 3. ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ . . . . .	103
3.1. Добыча нефти и газа . . . . .	103
3.2. Разработка прибрежных месторождений твердых ископаемых	114
3.3. Разведка глубоководных месторождений . . . . .	129
3.4. Меры по охране среды при подводной добыче полезных иско-	
паемых . . . . .	149
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ВОСПРОИЗВОДСТВА МОР-	
СКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ . . . . .	159
4.1. Количественная оценка запасов промысловых организмов . .	159
4.2. Орудия лова и их взаимодействие с промысловыми объектами	166
4.3. Особенности технологии добычи донных организмов . . . . .	180
4.4. Воспроизводство морских биологических ресурсов . . . . .	189
Глава 5. ВОДОЛАЗНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДВОДНЫХ РАБОТ . . .	196
5.1. Основные виды водолазных работ . . . . .	196
5.2. Методы проведения водолазных спусков . . . . .	201
5.3. Средства обеспечения погружений . . . . .	212
5.4. Информационное обеспечение подводных работ . . . . .	219
Заключение . . . . .	233
Указатель литературы . . . . .	234

**Вячеслав Александрович Коробков**  
**Валерий Семенович Левин**  
**Андрей Васильевич Лукошков**  
**Павел Павлович Серебrenицкий**

---

#### **«ПОДВОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»**

Редактор М. И. Карпова. Художественные редакторы О. П. Андреев, В. В. Купихин. Технический редактор А. П. Ширяева. Корректоры Н. Н. Кузнецова, В. Ю. Самохина. Обложка художника Б. Н. Осенчакова.

ИБ № 537

Сдано в набор 28.01.81. Подписано в печать 08.05.81. М-28948. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2. Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,0. Усл. кр. отт. 15,0. Уч.-изд. л. 16,1. Тираж 9000 экз. Изд. № 3530—79. Заказ № 271. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Судостроение», 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

б)

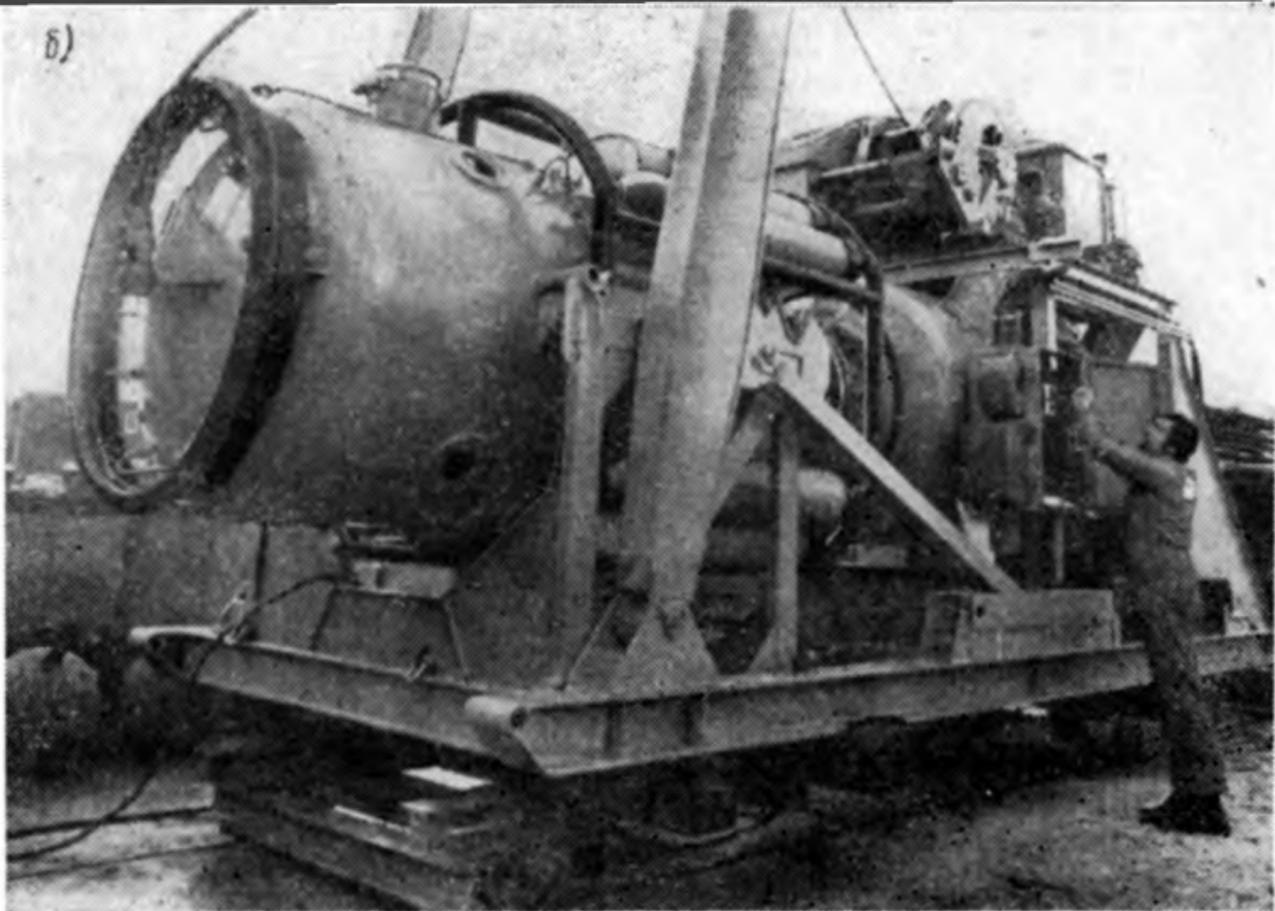


Рис. 5.3. Размещение средств обеспечения: а — стационарное; б — в переносном варианте.

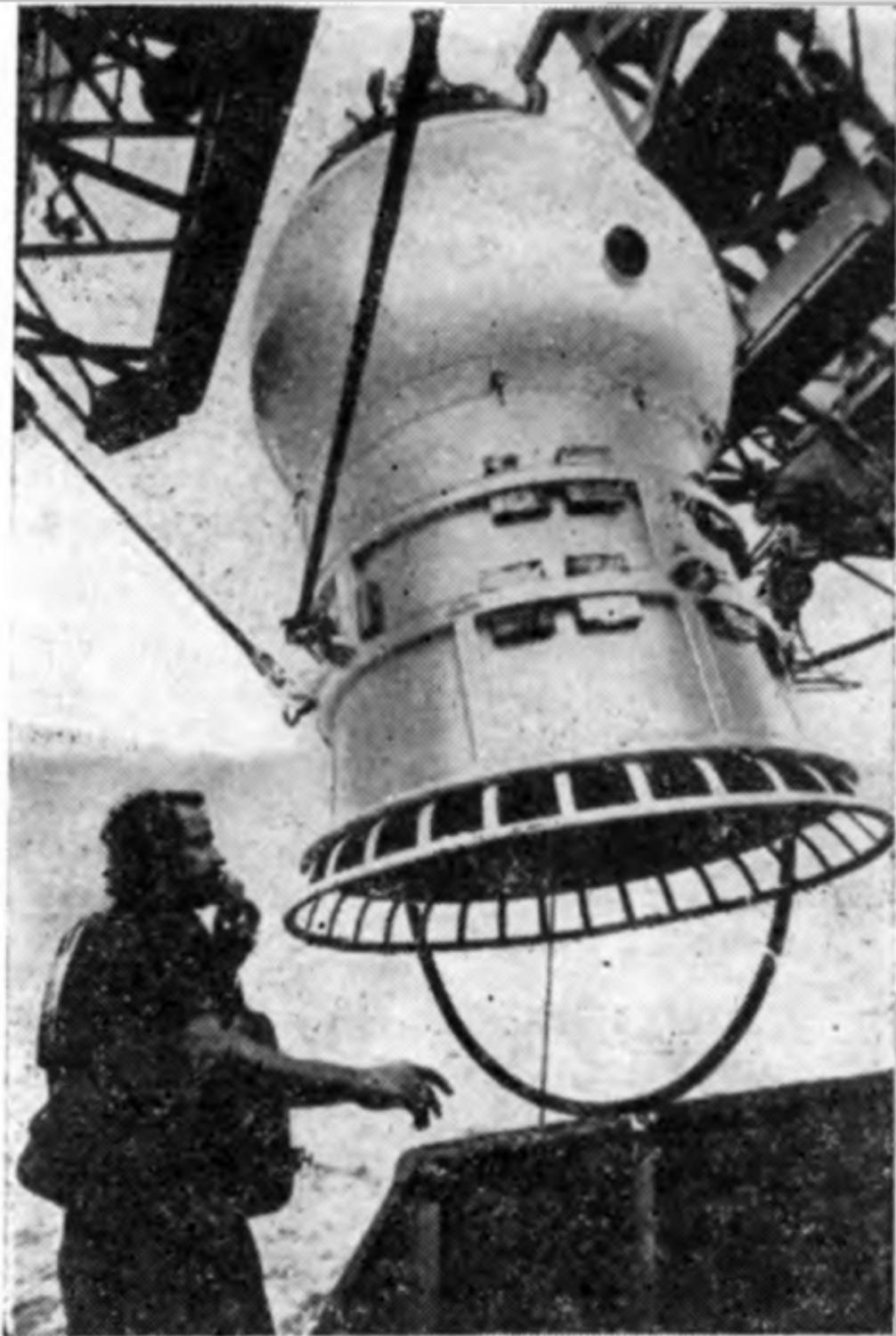


Рис. 5.4. Водолазный колокол фирмы «КОМЕКС».

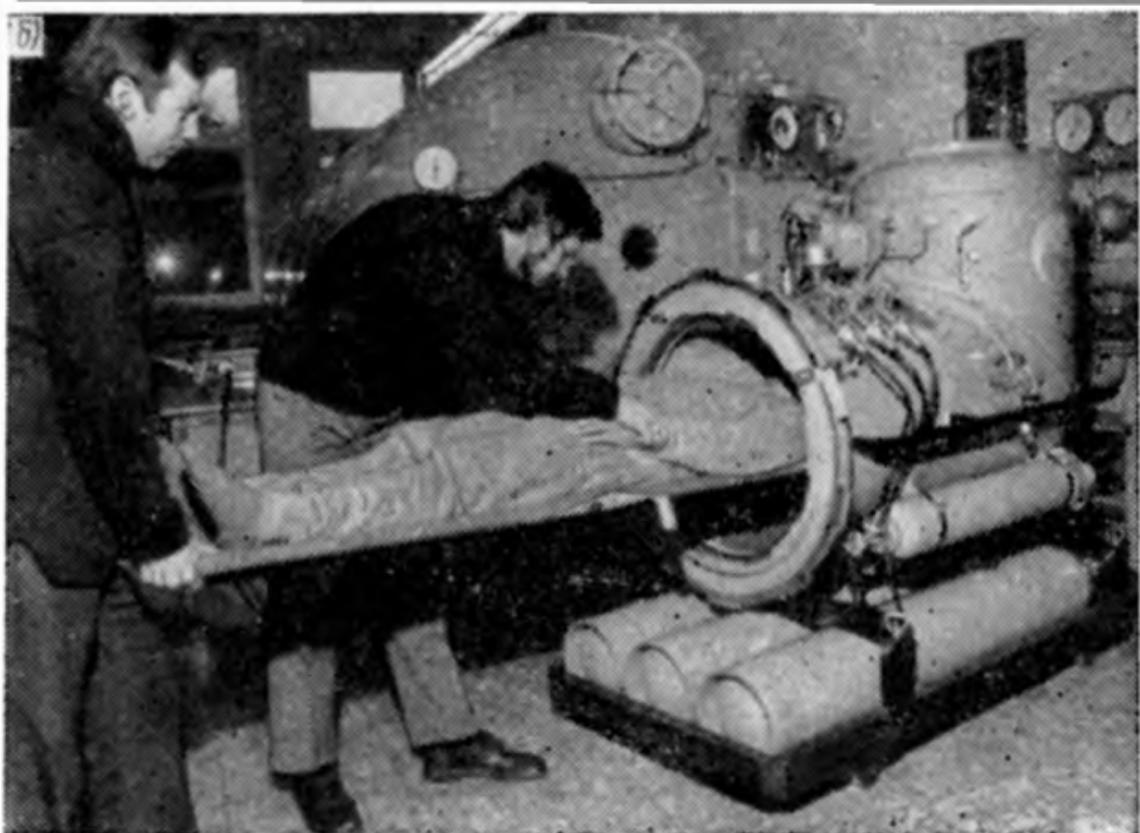


Рис. 5.5. Барокамеры: а — рекомпрессионная камера типа РКУМ-11 (стационарная); б — камеры фирмы «Дрегер» (стационарная и транспортабельная).