

# НЕФТЬ И МОРЕ

Том I



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»  
Москва · 1967

**Нефть и море, т. I.** Труды I Международного конгресса по разработке морских нефтяных месторождений. 1967.

В первом томе трудов I-го Международного конгресса по разработке морских нефтяных месторождений помещены сокращенные доклады по вопросам метеорологии и волновому режиму, морской геологии, геофизики и морской разведки на нефть и газ, бурения в море с плавучих самоподъемных и погружных установок. Описаны технические средства и методы бурения в подводных условиях.

Приведены расчеты некоторых параметров морских буровых установок, плавучих и погружных средств.

Книга предназначена для инженерно-технических работников нефтяной и газовой промышленности, а также для геологов и геофизиков.

*118 илл., 21 табл.*

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Растущее мировое потребление нефти и газа, естественно, способствует усилению внимания к вопросам их добычи не только на суше, но и на территориях, покрытых водами морей и океанов.

В настоящее время уже ведутся интенсивные разведка и разработка подводных нефтяных и газовых месторождений, в частности в Каспийском море, Мексиканском и Персидском заливах, на оз. Маракайбо и в других районах мира.

В связи с разработкой морских нефтегазовых месторождений возник целый комплекс задач, научно обоснованное решение которых предопределяет дальнейшие успехи нефтяной промышленности. Дело не только в том, чтобы добыть нефть и газ из подводных месторождений, хотя эта проблема весьма сложная сама по себе, но и в том, чтобы доставить добытую продукцию потребителю. Для решения многочисленных возникших проблем потребовалось проведение широких океанографических исследований, создание методов геофизических работ в море, строительство специальных нефтепромысловых гидротехнических сооружений и подводных нефтегазопроводов и т. д.

При разработке подводных богатств континентального шельфа возникло много юридических вопросов международного характера, связанных с использованием акваторий свободных морей и океанов.

Весь этот сложный комплекс проблем обсуждался на заседаниях Первого международного конгресса, получившего название «Нефть и море», который состоялся 12—20 мая 1965 г. в Монте-Карло (Монако).

В работе Конгресса принимало участие около 850 ученых и специалистов из 42 стран, в том числе делегации СССР, Великобритании, Голландии, Индии, Ирана, Италии, Румынии, США, ФРГ, Швеции и др.

В двухтомник материалов Конгресса включены все доклады, прочитанные на заседаниях пяти его секций.

Доклады печатаются с некоторыми сокращениями, касающимися главным образом материалов, отражающих не интересную для советского читателя специфику капиталистической системы ведения хозяйства, а также повторений, встречавшихся в разных докладах одного раздела.

Доклады, прочитанные на Конгрессе, можно подразделить по тематике следующим образом: методы и аппаратура для выполнения гидрографических, океанографических и инженерно-геологических исследований и подводных работ в море; оборудование и сооружения для разведки и разработки морских нефтегазовых месторождений; хранение и транспорт нефти, нефтепродуктов и природного газа в морских условиях; загрязнение моря и его предупреждение; юридические вопросы разработки морских нефтегазовых месторождений.

Среди докладов, посвященных океанографическим и гидрометеорологическим исследованиям, связанным с организацией разведки и разработки морских нефтегазовых месторождений, значительный интерес, в частности, представляют доклады «Изучение морей и океанов» А. Лакомба, «Измерения, проводимые с морских буровых оснований» Т. Р. Гаскелла.

Не менее интересны и доклады по геологии и геофизике, среди которых следует отметить такие, как «Морская сейсморазведка» Р. Желеслея и Д. Мишона, «Многokратное отражение в морских сейсмических исследованиях» К. Х. Сэвита, «Проблемы, связанные с отбором керна в осадочных отложениях моря» В. Романовского и др.

Большой интерес представляют доклады, посвященные методам бурения морских скважин, вопросам расчета и конструирования морских буровых установок и подводному заканчиванию скважин. В частности, внимание наших специалистов, вероятно, привлекут, например, такие доклады, как «Новый метод бурения в море», «Проблема устойчивости морских буровых установок», «Выбор расчетного волнового режима при конструировании морских оснований», «Методы заканчивания и эксплуатации морских скважин».

В связи с разведкой и разработкой нефтегазовых месторождений на больших глубинах актуальными становятся вопросы прокладки трубопроводов в глубоководных акваториях и подводного хранения нефти. Этим проблемам на Конгрессе были посвящены отдельные доклады. Ряд материалов, освещенных в этих докладах, несомненно может быть использован в наших условиях. Вопросы создания технических средств для ведения подводных изысканий, методы выполнения различных производственных операций непосредственно под водой подробно освещены в докладе «Аппараты для подводных исследований» (доклад прочитан известным французским исследователем Ж. Кусто), «Поплавки больших размеров» Ж. Пикара и др.

Транспортированию сжиженных газов в специально оборудованных танкерах, проектированию и постройке танкеров и береговых баз для транспортирования сжиженных и природных газов посвящено более десяти докладов.

Для наших специалистов представят, по-видимому, интерес способы хранения СПГ в наземных и особенно в подземных емкостях, результаты исследовательских работ по выбору материалов и конструированию емкостей для танкеров по перевозке сжиженных газов и др.

Интересны также доклады, посвященные борьбе с загрязнением морей и водоемов нефтью.

Конгресс уделил значительное внимание юридическим проблемам, имеющим международный характер, например использованию природных богатств континентального шельфа (доклад Д. Гуарино и Д. Кажанека). Трактовке понятия «континентальный шельф» в свете юридических прав государств — участников Женевской конвенции 1959 г. посвящены также доклады Инго фон Мунха и Мабрука.

Несомненный практический интерес для морского флота представляют вопросы, рассмотренные в докладе «Проблемы, связанные с использованием буровых платформ, с точки зрения классического морского права».

Доклад П. Пиферо «Применение арбитражных процедур в нефтяной промышленности» будет интересен для специалистов и организаций Советского Союза в связи с деятельностью нашего государства по оказанию помощи слаборазвитым странам. К этой же категории относится доклад Д. Делакура и М. Шамара о прокладке и эксплуатации трубопроводов в зонах открытого моря, сопредельных с территориальными водами других государств.

Для однозначного понимания и уточнения таких терминов, как «географические координаты», «прямая линия», «наибольший отлив» и др., полезно ознакомиться с докладом А. Дажнивары и Ш. Пэрре.

В целом материалы Конгресса, несомненно, будут встречены с большим интересом всеми специалистами, работающими в области разведки и добычи полезных ископаемых в море.

Борьба за завоевание минеральных богатств, хранящихся под дном морей и океанов, уже началась. Успехи в области океанографических исследований, создания методов разведки и разработки подводных месторождений, техники и технологии промысловых работ в море должны значительно облегчить освоение огромных запасов морских нефтяных и газовых месторождений.

# I.

## Вопросы метеорологии и волнового режима

### ИЗУЧЕНИЕ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

А. Лакомб<sup>1</sup>

#### ОБРАТИМСЯ К МОРЮ

Семь десятых поверхности нашей планеты покрыты водами морей и океанов. Человечество все более осознает, какие богатства скрыты в этих 1370 миллионах кубических километров морской воды, какую роль эта вода играет в жизни земного шара, в распределении населения нашей планеты и т. д. Человечество все настойчивее стремится познать секреты «лаборатории Земли», проникнуть в тайны морей и океанов и покрытых их водами геологических напластований. Необходимость этого познания особенно усиливается в связи с ощущаемым уменьшением мировых энергетических запасов.

#### РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОКЕАНА, ВЫПОЛНЕННЫЕ ДО 1936 г.

Работы, выполненные с начала возникновения научной океанографии, которое связывают, возможно несколько произвольно, с экспедицией английского судна «Чэлленджер» (1872—1876 гг.), привели к изучению так называемого «среднего океана», для которого из-за отсутствия надлежащих технических средств исследования были установлены лишь общие черты, но «тонкую структуру» океана определить не удалось.

Так как параметры моря изменяются в пространстве и во времени, они могут быть изучены лишь в очень незначительной степени. Для того чтобы объяснить, «почему» и «как» происходит то или иное явление в океане, океанография обращается к помощи других отраслей знания, например, гидродинамики, физики, химии и метеорологии. Так были разработаны методы косвенного исследования некоторых морских процессов (трудно поддающихся прямому определению), например, глубинных течений. Иногда приходится грубо схематизировать сложные морские явления, чтобы иметь возможность объяснить их теоретически. При океанографических исследованиях необходимо учитывать — и это особенно усложняет проблему, — что морские волны возникают под действием таких незначительных сил, которые относятся к тому же порядку малых величин, что и сила Кориолиса, создаваемая вращением Земли. Необходимо также принимать во внимание силы трения, которые трудно поддаются определению в условиях турбулентности движения волн. Форма дна, силы, действующие на водной по-

<sup>1</sup> Профессор физической океанографии. Национальный музей естественной истории, Париж. № 109 (указанный для каждого доклада номер соответствует порядковому номеру документов конгресса).

верхности, оказывают сложное влияние на характер этого движения, которое выходит за пределы математических расчетов.

Если попытаться составить перечень воздействий, которым подвергается морская среда, то обнаружится целая цепь возникающих в ней взаимных реакций на любое местное действие, какого бы характера оно ни было. Эти реакции выражаются в изменении параметров морской среды и их распределения. Кроме сил притяжения, создаваемых морским приливом, источником основных воздействий, которым подвергается море, является атмосфера: поглощение солнечных лучей верхними слоями воды, поверхностные потери тепла вследствие излучения, испарения, конвективного теплообмена между атмосферой и морем, сила трения ветра о верхний слой воды. Эти основные факторы вызывают радикальные поверхностные изменения параметров морской среды (температуры, содержания соли, следовательно, — плотности). Но характерные особенности жидкой среды — ее вязкость, турбулентность, влияние термических потерь среды на ее плотность — приводят к тому, что эти поверхностные воздействия, распространяющиеся на большое расстояние в горизонтальном направлении, вследствие конвекции передаются через течения и морским глубинам.

При определении температуры и солёности испарение, т. е. обмен водяными парами между морем и атмосферой, играет основную роль вследствие своего термического воздействия и создаваемого им увеличения солёности. Но кто не знает основной роли водяных паров в метеорологии, в происхождении ряда нарушений, следовательно и ветров, связанных с этими нарушениями? Ветры являются главными возбудителями океанических течений, возникающих под действием сил поверхностного трения. Таким образом, часть энергии, утерянной океаном в процессе испарения, возвращается ему ветрами. Цикл закрывается. Океан и атмосфера являются двумя фазами одной чрезвычайно сложной термической системы, где различные реакции сочетаются в единое целое, в котором переплетаются причины и следствия.

Понятно, что в этих условиях прогноз морских явлений связан с большими затруднениями.

Незадолго до начала второй мировой войны в океанографии было разработано понятие «усредненного океана», полученное на основании наблюдений, теоретических выводов и построения упрощенной схемы «идеального океана», свойства которого не зависят от времени. При этом часто не учитывались явления трения, турбулентности, колебания плотности и другие факторы, имеющие важное значение в исследовании океана.

## РАЗВИТИЕ ОКЕАНОГРАФИИ ПОСЛЕ 1936 г.

Эти необоснованные представления рассеялись в связи с открытием средств измерений в ограниченном пространстве и времени и созданием усовершенствованной аппаратуры, открывшей возможность изучения «мгновенной структуры» океана.

Представление о «неизменности» океана исчезло в результате появления таких факторов, как:

а) изобретение батотермографа, позволяющего определить «мгновенное» состояние термической структуры 300 м поверхности моря;

б) применение методов радионавигации, пользуясь которыми можно с любой необходимой скоростью сравнивать истинные и предполагаемые точки;

в) создание электродных приборов для измерения морских течений;

г) регистрация мгновенных водных потоков в проливах (например, между Флоридой и Багамскими островами) посредством электродов,

установленных на дне моря и отмечающих электродвижущую силу индукции, создаваемую движением жидкости в магнитном поле Земли;

д) регистрация с самолета посредством болометра температуры поверхности моря;

е) применение метода «многократной корабельной съемки», т. е. одновременных многочисленных исследований океана, проводимых в одной и той же зоне в течение ограниченного времени с нескольких кораблей по заранее разработанной программе.

Однако, несмотря на технический прогресс в области средств и методов изучения океана, перед океанографами стоит еще много нерешенных задач. Например, какую продолжительность наблюдений можно рекомендовать при изучении явлений, связанных с морскими приливами и отливами? Исследователям приходится иметь дело с непрерывным спектром периодов в морских движениях продолжительностью от одной десятой секунды до 18 лет 8 месяцев.

Среди сил, действующих на молекулы жидкости и порождающих в океане перемещение масс воды, с точностью изучены лишь силы астрономические. Но и эти силы вычислить еще невозможно. Очень мало изучено движение масс воды, связанное с явлениями прилива и отлива над большими глубинами. Известно лишь, что после 15-дневных наблюдений, если окажется возможным провести их на соответствующем месте, прогноз явления прилива—отлива можно сделать только относительно этой точки. Что же касается других, в основном преходящих явлений, то какой должна быть минимальная продолжительность их изучения, позволяющая выявить механизм их возникновения, на этот вопрос ответить еще невозможно. По мнению американского океанографа Стоммеля, необходимо выполнять непрерывные исследования и замеры в одной и той же точке в течение 10 лет.

В настоящее время обсуждаются способы и периодичность наблюдений и измерений, а также вопрос о необходимости очень непродолжительных или очень поверхностных наблюдений ввиду изменчивости океана.

Интересно отметить, что группа ученых ряда стран, которой было поручено изучение параметров Атлантики, названная «группа информационных отчетов», переименовала свое наименование в «группу изучения изменчивости океана».

#### **НАПРАВЛЕНИЯ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ**

Специалисты-океанографы ищут новых путей для дальнейших исследовательских работ. Какие тенденции развития наблюдаются в настоящее время?

В некоторых частях океана недостаточные сведения относительно распределения морских параметров требуют систематического выполнения съемок. Координация работ в этой области ученых ряда стран играет большую роль.

В области техники получит развитие магнитная и гравиметрическая съемка. В связи с изменчивостью океана для мгновенной регистрации этих изменений на определенном пространстве организуются одновременные исследования на нескольких кораблях. Эффективным методом считается установка на бакенах плавучих регистрирующих станций. Эти станции, отвечая на запрос наземных станций, будут передавать сведения, накопленные с момента предыдущего запроса. По-видимому, окажется возможным выполнять температурные замеры с борта самолета.

Применение математических, гидравлических или аналоговых моделей полезно для воспроизведения некоторых природных явлений с целью выявления причин их возникновения и возможности соответствующих прогнозов.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОГНОЗА МОРСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Предсказание за несколько часов возникновения какого-либо морского явления может оказаться очень полезным для нефтяников.

К морским явлениям, периодичность которых известна, относятся только приливы. Составляются ежегодные справочники и таблицы приливов, содержащие прогнозы о времени и высоте приливов и отливов в различных портах. Прогнозы основаны на анализе наблюдений за приливами, сделанных в портах. Без этих наблюдений прогнозы приливов оказались бы невозможными, потому что, несмотря на работы Анри Пуанкарэ, теоретическое определение явлений прилива и отлива пока еще неосуществимо. Может быть, эту проблему разрешат современные счетно-решающие устройства. Однако выбор данных для счетных машин связан с большими затруднениями; чрезвычайно большая зависимость прилива и отлива от колебания глубины воды также несколько мешает осуществлению точного прогноза.

Но даже при продолжительном наблюдении за приливами в какой-либо одной точке океана последующий прогноз может встретить затруднения. Так, на 1 января 1965 г. еще не было выполнено ни одного наблюдения за приливом при глубине свыше 470 м. Лишь совсем недавно во Франции было разработано устройство, позволяющее регистрировать колебания давления с точностью до нескольких сантиметров водяного столба при статическом давлении 3000 и 4000 м с периодичностью до одного дня. При помощи этой аппаратуры гидрографической службой морского флота в июле 1964 г. были выполнены наблюдения на глубине 470 м в Гасконском заливе. Испытания на большей глубине будут выполнены как только это окажется технически возможным. Таким образом, новая техника, по-видимому, поможет разрешить эту проблему.

Дальнейшее изучение проблемы приливов, помимо практического значения для работ в области разведки и бурения, представляет научный интерес, так как до настоящего времени известны лишь конечные проявления прилива и отлива у берега, где выполнять наблюдения легко.

Упомянутая аппаратура, какой бы многообещающей она ни была, показывает только «вертикальный аспект» морских приливов и отливов, но не дает «горизонтального аспекта» течений, также имеющего большое значение.

Изучение этих течений и их местный прогноз также требуют наблюдений. Наблюдения должны быть удлинены для того, чтобы получить возможность путем точного анализа установить величину течений прилива и постоянного течения и исключить переходящие режимы, связанные с ветрами, с влиянием метеорологических явлений и т. д.

При изучении явлений прилива—отлива и морских течений обычно допускают однородность плотности воды на различных глубинах. Это неточно. В море встречаются «термотоки», слои с резким изменением температуры, а значит, и плотности, а на границе этих слоев возникают «внутренние волны», влияющие на структуру толщи воды в области течения. Совсем недавно намечены пути изучения явления прилива—отлива в условиях неоднородной плотности воды.

Таким образом, даже для обеспечения прогноза морских приливов, которым свойственна известная периодичность, нужно еще выполнить ряд исследований.

К другим особенностям моря, которые создают наибольшие затруднения в морской разведке и морском бурении, относятся течения и волны.

Поверхностные течения возникают под действием сил трения, возбуждаемых скольжением воздуха по водной поверхности. Эти силы

мало изучены, так как они зависят от ряда факторов: мгновенной геометрии поверхности жидкости в присутствии волн, от скорости ветра на некоторой высоте, обычно равной около 10 м, от «профиля ветра» на меньших высотах. Профиль ветра изменяется в зависимости от степени устойчивости нижних слоев воздуха, находящихся в непосредственном контакте с водой.

Наблюдения, связанные с изучением «профиля ветра», следует выполнять на расстоянии нескольких дециметров над водной поверхностью, приводимой в движение волнами, и в условиях, исключающих влияние сил скольжения или присутствия зоны термического воздействия, создаваемого, например, исследовательской площадкой на корабле. Для таких исследований подходят только небольшие легкие бакены, легко увлекаемые морем.

Предстоит определить силы, воздействующие на поверхностную пленку воды, скорость движения этой пленки, а также влияние реальной (турбулентной) вязкости на распространение в глубину эффекта движения в поверхностных слоях.

«Таинственный» фактор турбулентности Буссинеска оказывает здесь свое влияние, но значение его в различных случаях еще очень мало изучено.

Изучение мгновенной геометрии морской поверхности в присутствии волн также связано с затруднениями. Хотя уже разработаны полуэмпирические методы прогноза появления волн, основанные на метеорологических данных, механизм образования волн под действием ветра еще точно не известен. Были выдвинуты различные теории резонанса и динамической неустойчивости, однако они, по-видимому, применимы лишь к самым начальным стадиям образования волн. В дальнейшем возникают нелинейные явления, которые очень трудно ввести в математическую схему.

Статистические исследования возможных волн и явлений зыби могли быть выполнены только в немногих точках. Эти исследования не представляют непреодолимых затруднений, но требуют продолжительных наблюдений, глубоких анализов и более полного изучения статистического распределения различных параметров, определяющих возникновение волн, особенно их периодичность и амплитуду. Известно, что монохроматическая цилиндрическая морская зыбь представляет собой лишь начальную составляющую сложного явления образования морских волн, особенно в присутствии ветра.

В изучении нарушений уровня моря вследствие метеорологических депрессий и действия ветра за последние 20 лет сделан значительный прогресс в связи с необходимостью прогноза этих явлений, причиняющих бедствия в прибрежных районах некоторых морей, например Северного моря и особенно на его южном побережье (Голландия — январь-февраль 1953 г., Гамбург — февраль 1962 г.).

Некоторые морские пространства особенно подвержены действию указанных факторов вследствие явлений резонанса. Например, скорость распространения метеорологических депрессий в некоторых морях может быть равной или приближающейся к скорости, свойственной распространению свободной волны ( $\sqrt{gH}$ ) в этом море. В этих случаях особенно большое значение имеет образование «штормовых волн».

Усилиями специалистов (Дудсона и Каркена, а также Хансена) были разработаны методы предсказания «штормовых волн» при помощи счетно-решающих устройств. Результаты применения этих методов весьма перспективны.

Проведенные исследования показали, как морские условия отражаются на качестве и эффективности работ, проводимых в открытом море и в прибрежных районах, подверженных действию волн, насколько более сложным должно быть здесь оборудование и более высокими

затраты по сравнению со спокойными зонами. В свете этих проблем большое значение приобретает познание предельных условий, связанных с морскими волнениями, уровнем, поверхностными, глубинными и даже придонными течениями.

Океанография как наука развивающаяся должна сделать еще много открытий, в том числе и тех, которые могут быть использованы в морской нефтеразведке и морском бурении.

---

## **ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ПРОГНОЗОВ ВЕТРА, ВОЛН И ПОГОДЫ ДЛЯ РАБОТ НА МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ**

*Д. Хибберт<sup>1</sup>*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Немногие отрасли промышленности подвергают свои капиталовложения такому риску из-за погодных условий, как нефтяная промышленность при разработке морских месторождений. Пытаясь свести этот риск к минимуму, нефтяная промышленность вкладывает большие средства в создание службы погоды в море. Государственная служба погоды не в состоянии полностью удовлетворить специальные требования всех отраслей промышленности, в частности морских нефтяных промыслов. Поэтому понятно большое значение специальной вспомогательной службы погоды, обеспечивающей необходимыми гидрометеорологическими данными морские нефтяные промыслы с учетом особенностей работы в море. Примером такой службы погоды является организация, обеспечивающая гидрометеопрогнозами нефтяные компании, работающие в Персидском заливе. Эта служба погоды является единственной в своем роде. Она имеет станции для сбора и передачи данных более чем в шести крупных и во многих небольших странах.

### **СЛУЖБА ПОГОДЫ НЕФТЯНЫХ КОМПАНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ПЕРСИДСКОМ ЗАЛИВЕ**

Инициативу в организации службы прогнозов погоды на море в Персидском заливе взяли на себя в 1957 г. компании Бритиш петролеум (БП) и Шелл. Во время бурения первых разведочных скважин с передвижного основания для компании Шелл приходилось полагаться на очень отрывочные данные, получаемые от метеорологического бюро государственной службы погоды Омана, находящегося в 180 км от района работ, и из временных пунктов наблюдения. Потеря этого передвижного основания в 1956 г. убедила в необходимости организации специальной метеорологической службы. Компании Бритиш петролеум и Шелл обратились к услугам консультантов-метеорологов, которые должны были проводить специальные исследования для прогнозирования состояния моря, а также консультировать компании по вопросу

---

<sup>1</sup> Директор Imcos Ltd., Международная консультативная метеорологическая служба.

о создании сети метеорологических станций. Предполагалось, что прогнозы будут составляться только для операций, связанных с определенным риском, например для передислокации буровых оснований. Компании Шелл и Катар петролеум согласились помочь компании АДМЭ (Абу Дари мэрин эриэс) в установке основания «Энтерпрайз», наладив передачу данных о погоде с метеорологических станций, созданных на базах этих компаний, на первую временную метеорологическую станцию АДМЭ на о. Дас. Эта первая совместная операция прошла удачно.

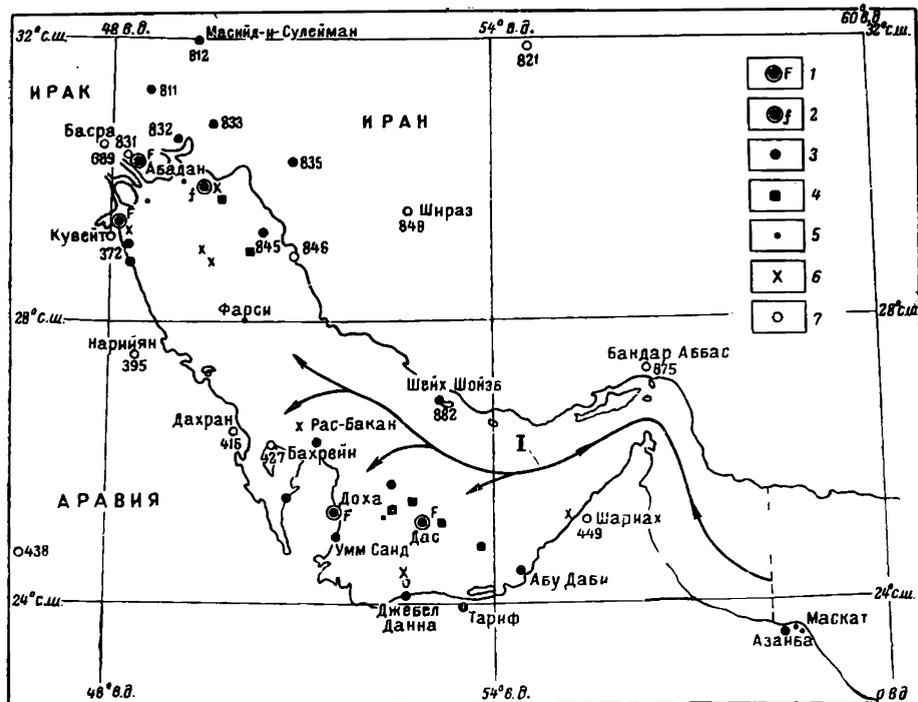


Рис. 1. Карта Персидского залива с размещением метеорологических станций нефтяных компаний и бюро погоды МКМС:

1 — танкеры посылают сводки погоды на о. Дас четыре раза в сутки при местонахождении к западу от 53° восточной долготы.

1 — постоянные бюро погоды МКМС; 2 — временные бюро погоды МКМС; 3 — метеорологические станции нефтяных компаний (МСНК); 4 — метеорологические станции на морских буровых основаниях; 5 — пост наблюдений нефтяных компаний; 6 — наблюдения прекращены; 7 — государственные метеорологические станции.

Стрелки показывают направление распространения волны.

Такое объединение усилий нефтяных компаний привело к тому, что площадь, охваченная метеорологическими наблюдениями в южной части Персидского залива, более чем удвоилась. Но этого все же было недостаточно, так как общее число метеорологических станций во всем Персидском заливе не превышало двенадцати. Для необходимого расширения сети метеорологических станций был единственный путь — объединить силы всех нефтяных компаний, ведущих работы в Персидском заливе. К 1959 г. в осуществлении этого проекта принимало участие восемь компаний, представители которых входили в объединенный метеорологический комитет нефтяных компаний.

Работа метеорологических станций нефтяных компаний, работающих в Персидском заливе, координируется, создана специальная служба прогнозов ветра и волнения. Всей работой службы погоды руководит Международная консультативная метеорологическая служба (МКМС).

Между Маскатом на побережье Индийского океана и Масийд-и Сулейманом в Иране в настоящее время действуют двадцать метеоро-

логических станций нефтяных компаний (МСНК). Бюро прогнозов организованы в трех местах: на о. Дас, в Дохе и Кувейте. Эти бюро составляют прогнозы при проведении ответственных работ, таких как передислокация буровой установки, установка оснований для добычи и прокладки подводных трубопроводов. Все работы по разведке и эксплуатации морских месторождений возле о. Дас (БП) и г. Доха (Шелл) гарантированы от случайностей благодаря прогнозам службы погоды нефтяных компаний. Бюро погоды в Кувейте также является базой МКСМ, в которой имеется постоянный штат специалистов по прогнозам. За работой сети метеорологических станций наблюдают специалисты МКСМ, постоянно находящиеся в Персидском заливе. На рис. 1 показано расположение метеорологических станций нефтяных компаний, а также местонахождение бюро погоды в Персидском заливе.

Для обсуждения итогов деятельности и разработки рекомендаций представители нефтяных компаний, входящих в Объединенный метеорологический комитет, раз в год собираются в Лондоне. Не все нефтяные компании, работающие в Персидском заливе, являются членами Комитета. Небезынтересно отметить, что за семь лет деятельности Объединенного комитета несколько крупных аварий с буровыми установками и другим оборудованием, работающим в Персидском заливе, произошло у тех компаний, которые не охвачены службой прогнозов.

За семь лет накоплены ценные сведения о ветрах, характеристиках волн и т. д. Эти сведения облегчили решение многих теоретических и практических задач, связанных с планированием работ и конструированием оборудования. В настоящее время имеются заслуживающие доверия исходные данные для проектирования оборудования, предназначенного для работы в любой части Персидского залива.

### СЛУЖБА ПРОГНОЗОВ

При составлении планов проведения всех ответственных работ в море обязательным является присутствие специалиста по прогнозам на базе, с которой должны осуществляться эти работы. Между специалистом по прогнозам и руководителями монтажных и буровых работ в море должна быть постоянная связь, так как только в этом случае могут быть правильно учтены прогнозы погоды и состояния моря. Производители работ начинают понимать справедливость требований специалиста по прогнозам проводить как можно в большем объеме и как можно чаще наблюдения за погодой, а специалисты по прогнозам все яснее понимают сущность требований производителей работ и приобретают навык выражать прогнозы в форме, удовлетворяющей этим требованиям. Перед специалистами по прогнозам для морских промыслов поставлена цель осознать, что метеоролог является в данном случае специалистом нефтяной промышленности.

### НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОГОДОЙ

Работа специалиста по прогнозам полностью зависит от поступающих к нему данных наблюдений за погодой, на основе которых он составляет все синоптические карты.

В Персидском заливе данные о погоде можно получить менее чем у шести государственных метеорологических станций. Но ни одна из этих станций не сообщает данные о состоянии моря. Поэтому нефтяные компании вынуждены сами собирать наиболее важные для них данные о погоде.

До организации метеорологической службы нефтяные компании проводили наблюдения за погодой в основном для составления обзора климатических условий. Наблюдения носили ограниченный характер

и осуществлялись один-два раза в день. Данные наблюдений доводились до общего сведения только в ежемесячных обзорах; никакого обмена информацией между компаниями не было; в содержании данных, во времени и методах наблюдений имелись большие несоответствия. Совершенствование методов наблюдений и их приближение к определенному стандарту происходили чрезвычайно медленно, так как наблюдения проводились нефтяниками, не имевшими специальной подготовки для этой работы. Постепенно была выработана простая стандартная форма доклада.

Наблюдения МСНК проводятся через каждые три часа: в 7.00, 10.00, 13.00, 16.00 и 19.00 по местному времени. Регистрируются направление ветра с точностью до десяти градусов и скорость ветра в узлах (1 узел = 1853 м/ч), барометрическое давление в миллибарах с точностью до 0,1 миллибара, приведенное к среднему уровню моря, температура по показаниям психрометрического термометра и приводится простое описание погоды в момент измерений.

Наблюдения передаются специалисту по прогнозам в течение часа в виде сообщения, включающего пять групп сведений.

1 группа	2	3	4	5
Кодированное наименование станции	Ветер DDDF	Давление PPPP	Температура $T_d T_a T_w T_w X$	Описание погоды (кратко и точно)

В группах 2, 3 и 4 содержится точная запись показаний приборов, для которой не требуется знание метеорологического кодирования. В графе 5 наблюдатель простым языком кратко описывает преобладающие особенности погоды в момент наблюдения, например: «облачно» или «песчаная буря». Сообщение поэтому может иметь вид:

1	2	3	4	5
Доха	34,012	10,112	3,227X	Облачно

Наблюдения на морских основаниях включают, помимо перечисленных данных, краткое сообщение о высоте волн.

Когда наблюдатели освоили работу по сбору этих стандартных данных, многим из них были даны дополнительные инструкции, и некоторые станции начали проводить весь комплекс синоптических наблюдений и сообщать их в бюро погоды. Станции в Иране, где наблюдатели нефтяных компаний на аэродромах и других базах, например, на станции Декка (о. Шейх-Шозйб), были обучены метеорологами МКМС, имеют статус Международной метеорологической организации. Номера этим станциям присвоены Департаментом службы погоды Ирана.

Доклады станций нефтяных компаний (МСНК) посылаются в государственные метеорологические бюро, находящиеся в районе, где они расположены, а также в бюро прогнозов нефтяных компаний.

Термин «МСНК» используется для того, чтобы отличать доклады станций нефтяных компаний от полных синоптических докладов, получаемых из других источников.

Доклады МСНК немедленно передаются по радио в один из двух главных центров сбора информации — о. Дас на юге и о. Абадан на севере. В течение часа, пока ведутся наблюдения, центр о. Дас полу-

чает сведения обо всех МСНК в южной части Персидского залива и передает их специалисту по прогнозам в г. Доха. После этого центры на о. Дас и в Абадане обмениваются собранной информацией по специальному каналу радиосвязи. Другие бюро погоды МКМС, расположенные в Персидском заливе, прослушивают весь этот обмен информацией. Сообщения из Кувейта (Саут Пьер) передаются как часть метеорологической сводки для танкеров и поэтому также могут быть приняты радиостанцией бюро погоды.

В отдельных случаях может понадобиться провести наблюдение раньше или позже часа, установленного программой.

Наблюдения, проводимые в 10.00 по местному времени на всех МСНК, предназначены для климатологов. Эти наблюдения более детальные, чем все остальные. Данные всех наблюдений регистрируются и сохраняются для обработки специалистами МКМС на случай, если они понадобятся.

Данные наблюдений с морских буровых оснований за состоянием моря, которые обычно содержат сообщение о максимальной высоте волн во время наблюдений и основываются на визуальном замере или записи показаний на ленте волнографа, представляют исключительную ценность для специалиста по прогнозам.

Танкеры, капитанам которых специально поручено передавать метеосводку, передают полную синоптическую сводку, аналогичную сводкам наземных станций; остальные танкеры передают данные усовершенствованным вспомогательным кодом. Почти каждый день с танкеров передается несколько сводок, причем качество наблюдений очень высокое.

#### **РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ О ПОГОДЕ**

Регулярные наблюдения МСНК и ежедневная климатологическая сводка обеспечивают достаточный объем информации для составления общей сводки. Однако крайне желательна непрерывная регистрация параметров ветра и волн. Непрерывная регистрация параметров волн проводится на максимальном числе морских оснований. По данным собранных и проанализированных сводок ведется непрерывная регистрация погодных условий в Персидском заливе. Эти данные, зарегистрированные в течение длительного времени, значительно облегчают планирование строительства и проектирование сооружений для добычи нефти.

#### **ПРИБОРЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

В связи с созданием службы прогноза погоды и сети наблюдательных пунктов в Персидском заливе были переоборудованы существующие станции и создано много новых. Благодаря этому появилась возможность значительно стандартизировать приборы и упростить работу наблюдателей.

Приборы должны облегчать наблюдения за погодой и состоянием моря, а некоторые из них, кроме того, должны обеспечивать непрерывную регистрацию данных для климатологических и других исследований. Как правило, повсеместно должны непрерывно регистрироваться параметры ветра и волнения, а в некоторых районах данные о приливах и отливах.

#### **Скорость и направление ветра**

Данные о скорости и направлении ветра должны накапливаться на всех станциях и постоянно регистрироваться всюду, где это возможно. Для наблюдений рекомендуется применять чашечный анемо-

метр со счетным устройством, которое показывает среднюю скорость ветра за десять минут. Флюгер имеет необязательно, так как направление ветра можно с достаточной точностью определить расчетным путем. Головка анемометра на наземных станциях должна устанавливаться на стандартной высоте 10,06 м от уровня земли на открытой площадке. В качестве временного прибора на морских основаниях и на борту кораблей можно применять ручные анемометры.

Регистрирующие анемометры или анемографы бывают механические и электрические. Независимо от того, какой из двух типов анемографов используется, запись должна быть четкой, чтобы ее можно было легко прочесть. На станциях, где нет постоянного электропитания, предпочтительно использовать механические анемографы с пьезометрической трубкой. На станциях, расположенных в море, где наблюдатель имеет возможность уделить прибору больше внимания, лучше использовать прибор Дине с парафинированной картой, рассчитанной на запись в течение 24 ч. Ежедневная смена карты обеспечивает систематическую регистрацию времени наблюдений и регулярный ежедневный осмотр прибора. Анемографы с пьезометрической трубкой не подходят для передвижных морских оснований.

На станциях и морских основаниях, где для обеспечения беспрепятственного действия ветра приходится устанавливать головку анемографа в точке, удаленной от записывающего устройства, предпочтительно использовать электрические анемографы. Так как эти анемографы имеют индикатор с круговой шкалой, помимо регистрирующего устройства с картой, за скоростью и направлением ветра можно в любой момент наблюдать визуально и по индикатору.

## Температура воздуха

Наблюдения за температурой воздуха должны проводиться на всех станциях. На некоторых станциях температуру можно регистрировать непрерывно, достаточно применить надежные метеорологические термометры, устанавливаемые в метеорологической будке. Максимальные и минимальные температуры воздуха необходимо регистрировать только на определенных станциях.

## Влажность

Для станций с более примитивной методикой наблюдений наилучшим методом является вычисление влажности по показаниям психрометрических термометров, установленных в метеорологической будке. Предпочтительно использовать для определения влажности аспирационный психрометр, но на работу с ним затрачивается некоторое время.

## Волны

За волнами следует наблюдать со всех станций, находящихся на берегу, например на пирсах, где наблюдениям за состоянием моря ничто не мешает, а также с морских оснований в открытом море, на которых постоянно находится персонал. Для наблюдений могут быть установлены простые волновые столбы или соответствующим образом размеченные конструкции. Если для наблюдений нет волномера или волнографа, наблюдателям следует дать соответствующие инструкции.

Регистрировать параметры волн необходимо везде, где это возможно. Ни один тип волнографа нельзя считать универсальным: каждый из них имеет свои преимущества и недостатки и ни один из них не подходит для всех станций. Необходимо наблюдать и регистрировать вол-

ны, которые в наименьшей степени подверглись влиянию преломления или отражения от близко расположенных препятствий; поэтому опоры оснований являются отнюдь не самым лучшим местом для монтажа приборов, измеряющих параметры волн. При измерениях должен быть охвачен весь спектр длин и периодов, в котором находятся эти параметры ветровых волн и мертвой зыби. Приборы, регистрирующие давление, которые нужно устанавливать в море на глубине более 9 м, не подходят для измерений параметров волн, так как могут дать значительные ошибки при замерах более коротких волн. Регистрацию параметров волн должен вести и постоянно следить за нею сам наблюдатель, для того чтобы сразу заметить неисправность прибора. Регистрирующий прибор должен обеспечивать в случае необходимости (например, при шторме) непрерывную регистрацию параметров волн. В других случаях он должен работать только днем в течение коротких промежутков времени.

Тип и фирма-изготовитель регистрирующего прибора выбираются в зависимости от условий проведения измерений.

Волнографы наиболее удобно классифицировать по принципу действия: механические волнографы; гидростатические; эхолоты с записывающими устройствами; волнографы-акселерометры, подвешиваемые на бую; реостаты и емкостные волнографы.

Ниже приводятся замечания по поводу условий, в которых могут быть применены волнографы различных типов.

Механические волнографы регистрируют перемещение поверхностного слоя воды. Их устанавливают на стационарном сооружении типа сваи. Передвижные основания под буровые установки для них не подходят. Одним из лучших является механический волнограф Вемельсфельда (компания Ван Эссен, Нидерланды). Он наиболее подходит для мест, где нет постоянно работающего персонала, так как не требует внешнего источника энергии и приводится в действие самими волнами. Для интерпретации записи показаний волнографа Вемельсфельда очень важно иметь запись приливо-отливных явлений.

Гидростатические волнографы регистрируют изменение гидростатического давления воды над устройством, измеряющим давление, которое может быть установлено на дне моря, если глубина его в этом месте невелика, или подвешено ниже уровня поверхности моря. Волнограф соединяется с подводным устройством при помощи шланга, кабеля или радиосвязи. Некоторые гидростатические волнографы имеют независимое устройство. По показаниям некоторых из них можно также составить бюллетень приливо-отливных явлений.

Гидростатические волнографы, по-видимому, больше всего подходят для передвижных оснований. Устройство, измеряющее давление, может быть подвешено на необходимой глубине. Волнограф не показывает истинной высоты волн. Поэтому к волнографу прилагается карта поправок. Физическая связь между подводным датчиком и записывающим устройством может оказывать некоторое влияние на процесс измерения, если параметры волн должны регистрироваться в точке, расположенной в нескольких километрах от берега, где нет стационарного основания или плавучих средств, установленных на анкерах («мертвых» якорях). В этом случае датчик давления должен быть снабжен радиопередатчиком.

Независимые волнографы следует использовать только в крайнем случае.

Эхолоты с записывающим устройством могут быть основаны на двух принципах действия: при одном из них звуковой импульс посылается к поверхности воды сверху, при другом — снизу. Ни один из приборов этого типа не подходит для использования на нефтяных промыслах.

Волнографы-акселерометры передают данные измерений по радио на береговую базу. Эти приборы пока еще мало применяются для регистрации параметров волн в открытом море. Для эффективности работы их следует свободно подвешивать на буйе, а за показаниями прибора можно наблюдать только при условии, если буй соединен с за-

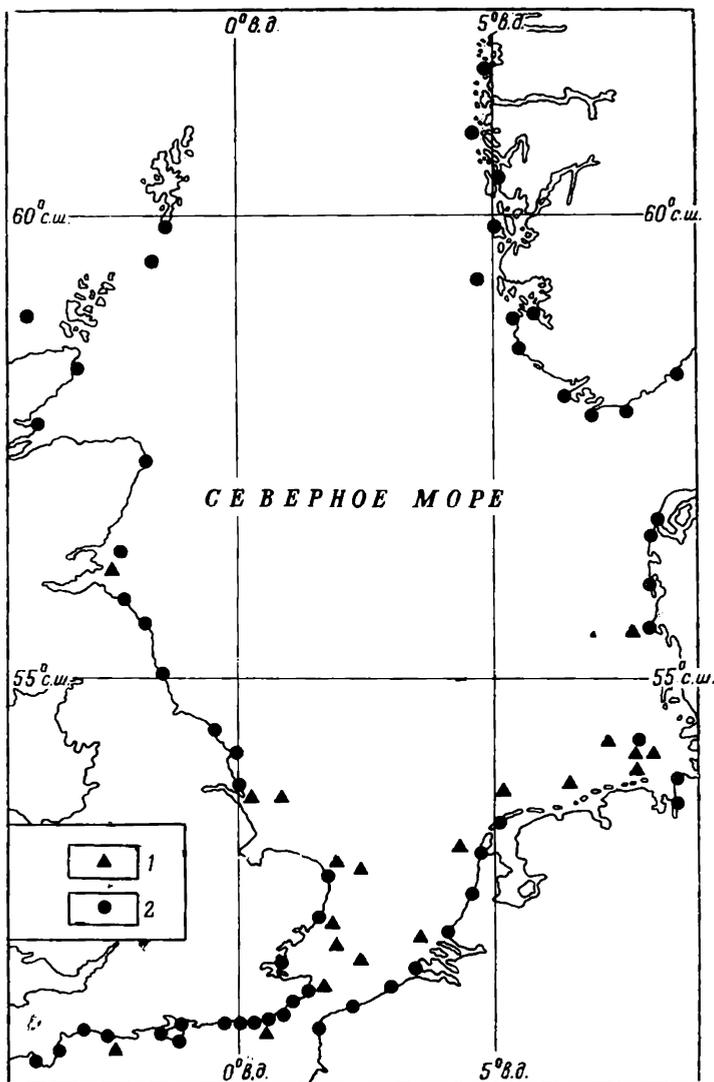


Рис. 2. Карта Северного моря с государственными метеорологическими станциями.  
Точки наблюдения за погодой и состоянием моря: 1 — плавучий маяк; 2 — береговые станции.

писывающим устройством при помощи кабеля или радиосвязи. Буй и кабель могут стать препятствием для работ с морского бурового основания. Уход за этими приборами в открытом море затруднителен. Есть основания предполагать, что волнографы-акселерометры представят определенную ценность в условиях, когда окажется возможным установить плавучие автоматические метеорологические станции.

Реостатные и емкостные волнографы состоят из датчика, размещаемого под водой. Поэтому для их установки необходимо стационарное сооружение. Датчиком может быть реостатный провод,

который зашунтирован под поверхностью воды самой водой; изменение сопротивления является поэтому мерой изменения высоты волн. Точно так же конденсаторы, установленные на определенных расстояниях друг от друга на столбе, могут получать закорачивание электроцепи под действием волн и менять частоту генератора переменной частоты. При другом устройстве изолированный провод проходит через поверхность воды, и частота генератора переменной частоты изменяется под влиянием изменения емкости между изолированным проводником и морем. Прибор соединяется с записывающим устройством кабелем или при помощи радиосвязи. Запись может осуществляться на ленте в виде кривых или перфораций или восприниматься магнитной проволокой для последующей обработки на электронносчетных машинах.

При использовании реостатного волнографа ступенчатого типа возникали трудности из-за смачивания электродов, находящихся над уровнем воды. Поэтому емкостный волнограф более предпочтителен. Приборы обоих типов имеют тот недостаток, что для их установки требуются стационарные сооружения, но если не принимать во внимание трудности, связанные с эксплуатацией электронных систем, эти приборы вполне подходят для установки на морских основаниях.

### СЛУЖБА ПОГОДЫ ДЛЯ СЕВЕРНОГО МОРЯ

Было бы неверно считать, что специальная служба прогнозов для нефтяных разработок необходима только в мало исследованных районах мира и что в хорошо изученных районах нет необходимости создавать специальную службу прогнозов. Специальные наблюдения за параметрами ветра и волн с морских оснований в таких районах, как Северное море, нужны не в меньшей степени, хотя Северное море окружено хорошо развитой сетью станций Международной метеорологической службы (рис. 2). Погодные условия в Северном море более изменчивы, чем в других районах мира, и опасность аварий из-за погоды при проведении работ в море здесь так же велика, как и в других районах. Поэтому здесь весьма важно было бы иметь специальную службу прогнозов погоды. Следовало бы рассмотреть вопрос об установке в открытом море, между Норвегией и Шотландией, автоматических метеорологических станций. О Северном море собрано очень мало океанографических данных. По-видимому, время от времени понадобится проводить специальные гидрографические работы для сбора данных, необходимых для планирования работ по разведке и добыче нефти, а также проектирования морских оснований.

---

## ИЗМЕРЕНИЯ, ПРОВОДИМЫЕ С МОРСКИХ БУРОВЫХ ОСНОВАНИЙ

*Т. Р. Гаскелл<sup>1</sup>*

Морские основания, применяемые в бурении, с успехом могут быть использованы для различных океанографических исследований.

Ниже описываются различные океанографические исследования, которые было бы очень полезно провести с морских оснований.

---

<sup>1</sup> Научный консультант компании Бритиш петролеум. № 114.

## Течения

Течения происходят во всей пятикилометровой толще океанов, а также у поверхности. Изучение циркуляции воды в океанах имеет большое значение по многим причинам.

Новые сведения о погоде мы накапливаем не только путем изучения данных, получаемых со станций, разбросанных по всей земной поверхности, но и путем регулярных наблюдений при помощи аэростатов и фотографирования характера облачности с искусственных спутников Земли. Чтобы полнее понять закономерность изменения погоды, очень важно иметь больше сведений о взаимодействии воздуха и моря, а составной частью этой проблемы является скорость смешивания поверхностного слоя воды с основной массой воды океанов.

Бурение на больших глубинах моря в ближайшие годы (за исключением бурения по проекту Мохол) проводиться не будет, и поэтому исследование циркуляции вод на больших глубинах не может проводиться с морских оснований. Однако с оснований можно замерять течения в поверхностных слоях воды, и прибор для измерения скорости течений был бы очень полезен. Но для сбора комплекса данных в любой точке необходимо выполнять замеры на разных стадиях прилива и в разное время года.

Необходимость исследования перемещения воды над дном моря непосредственно связана с разведочным бурением и эксплуатацией морских нефтяных месторождений. Так, при проведении работ в Северном море произошла авария из-за размыва песчаного дна у опор бурового основания. Это явление может быть опасным для всей конструкции, поэтому должны быть приняты меры предосторожности для исключения вредного влияния подводных течений. Вначале следует проанализировать имеющиеся сведения о подводных течениях, и если параметры течений окажутся выше тех, которые предположительно могут вызвать перемещение грунта, из которого сложено морское дно, необходимо тщательно следить за состоянием моря вокруг опор основания, используя для этого водолазов или систему подводного телевидения. Аналогичные меры предосторожности должны быть приняты в тех случаях, когда имеется опасность заполнения песком кингстонов полупогружных оснований.

При проектировании подводных трубопроводов также необходимо изучить подводные течения. Имея данные о подводном течении, можно предотвратить перемещение и колебания трубопровода, уложенного на дно моря. При исследованиях можно пользоваться приборами для замера скорости течения, установленными в выбранных точках. Некоторые полезные сведения можно получить и при изучении песчаных волнистых наносов на дне моря. Эти исследования можно выполнять с помощью водолазов или с применением подводной фотокамеры.

## Приливы

В неглубоких участках моря, где проводится разведка нефтяных месторождений, подъем воды при приливе и падение уровня при отливе выражены особенно ярко. Такие районы, как Северное море, отличаются необычным характером приливов и отливов с амфидронными точками, где изменение уровня равно нулю. Если делать замеры во всех точках, где ведется бурение, то можно значительно расширить наши знания о приливах. Для определения расчетным путем различных констант, используемых при прогнозировании приливов, необходимо зарегистрировать изменения уровня при приливах и отливах только в те-

чение 30 дней. Легко организовать визуальное наблюдение за приливами с помощью компетентных наблюдателей; имеются также простые регистрирующие приборы для записи данных о приливах. На плавучих или полупогружных основаниях уровень прилива можно определять измерением глубины воды через одинаковые промежутки времени.

## В о л н ы

Первое, что интересует конструктора, проектирующего морское основание, — это глубина моря, на которой будут вести бурение. Следующим важнейшим фактором, определяющим конструкцию основания, является наибольшая высота волн, на действие которых рассчитывается сооружение. Если известны скорость и продолжительность действия ветра, а также дальность разгона волн, можно весьма точно вычислить высоту и длину волны. Еще более важно для конструктора, проектирующего морское основание, знать географическое положение точки бурения и направление господствующих ветров, так как только на основе этих сведений можно вычислить максимальную высоту возможной волны. Так как максимальная высота волны зависит от максимальной скорости ветра, можно при расчете с уверенностью исходить из величины самой высокой скорости ветра, когда-либо и где-либо зарегистрированной. При другом подходе, который приводит к несколько меньшим значениям максимальной скорости ветра, рассматривается вероятность возникновения ветра, обладающего высокой скоростью, и таким образом определяются максимальные условия для периодов в 10, 50 или 100 лет.

Когда основание построено, его необходимо установить в рабочее положение на опорах или фиксировать его якорным креплением. При проведении этих операций действие волн может быть весьма опасным, так как волны высотой лишь в 1,2—1,5 м уже могут повредить основание. Именно потому-то большое значение для проведения этих ответственных работ имеют точные краткосрочные прогнозы.

Основные параметры морских волн, которые нужно знать, — это высота волны и период. За этими параметрами можно наблюдать визуально, если на опоре основания сделано несколько отметок на разных уровнях. Имеются сравнительно недорогие и простые регистрирующие волномеры, действие которых основано на принципе измерения давления. Для кораблей или полупогружных оснований необходимо измерять не только давление волны, но и ускорение. Британский национальный институт океанографии имеет установленный на корабле волномер, который автоматически преобразовывает данные об этих параметрах в запись высоты волн. Кроме того, прибор может отдельно регистрировать ускорение, что бывает полезным при сборе исходных данных для конструирования основания.

Нефтяные организации провели эксперименты по определению нагрузки, создаваемой волнами, на цилиндрические опоры различного диаметра и решетчатые фермы. Для некоторых новых оснований с опорами большого диаметра необходимо проводить несколько замеров силы волн для получения более точного представления об их работе.

Для того чтобы получить точные прогнозы, рекомендуется замерять волны на любой новой точке бурения, так как, несмотря на довольно значительные глубины моря, на многих нефтяных площадях континентальных шельфов наблюдается изменение усредненной характеристики волн в зависимости от рельефа морского дна.

Регистрирующие волномеры должны быть максимально автоматизированы.

Небезынтересно знать, что самые качественные записи параметров волн за последние несколько десятилетий были сделаны на небольших

судах, команды которых заинтересованы в получении точных характеристик волн и имеют большую подготовку к проведению этих работ, чем нефтяники, ведущие работу на морских основаниях.

## Погода

Морские основания часто являются метеорологическими станциями, с которых поступают очень ценные метеорологические сведения, так как основания обычно бывают расположены в районе курсирования судов и проведения операций по перевозке буровых установок на новые точки бурения. В Северном море по всему периметру расположены метеорологические станции, но в открытом море нет ни одного острова, с которого можно было бы вести метеорологические наблюдения. Поэтому наблюдения в области службы погоды, осуществляемые с морских оснований, имеют большое значение для нефтяников, ведущих бурение в море. Очень важно, чтобы морские основания были снабжены хорошим оборудованием для ведения обычных метеорологических наблюдений. Необходимо стандартизировать оборудование и методы проведения наблюдений. Следовало бы создать специальную организацию для сбора и обработки результатов наблюдений. Требования, предъявляемые морским бурением к службе погоды, довольно специфичны, а опыт работы в Мексиканском заливе показал, что общий прогноз погоды, составляемый метеорологической службой, недостаточен для решения ряда проблем морского бурения.

Нефтяники, работающие на морских основаниях, должны понимать необходимость проведения текущих метеорологических наблюдений — это очень важная работа. Капитаны кораблей уже много веков занимаются изучением и регистрацией погодных условий, считая это необходимой частью своей работы, но нефтяники, которые работают на морских сооружениях, часто заботятся только о проходке и слишком мало интересуются вспомогательными работами, от которых зависит продуктивность их усилий.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании подводных геологических разрезов океанографы, изучающие дно на больших глубинах моря, широко используют геофизические методы. Аналогичные методы используются при поисках нефти на мелководных континентальных шельфах. Но геологические исследования, проводимые с морских оснований, не могут дать больших результатов.

## Гравиразведка

Вероятно, с морских оснований можно будет устанавливать контрольные гравиметрические точки, хотя гравиметрия и не оказалась достаточно экономичным методом разведки морских месторождений нефти. Небольшие перемещения, которые свойственны даже стационарным основаниям, делают проведение точных гравиметрических исследований весьма трудоемким процессом, так как необходимо выводить средние данные за значительный период времени. Если же спускать гравиметры на дно моря, то этот метод не будет иметь никаких преимуществ по сравнению с гравиразведкой с корабля.

## Магнитная разведка

Методом магнитной разведки, осуществляемой при помощи авиации, можно быстро исследовать большие пространства моря. Но проведение магнитной разведки со стальных оснований результатов не даст.

## Сейсморазведка

Сейсмическая разведка является наиболее эффективным геофизическим методом, при помощи которого геологи ведут работы в море. Методы измерения при сейсмической разведке настолько совершенны, что применение их в море обходится дешевле, чем на суше. По-видимому, применение сейсморазведки с морских оснований не внесет ничего существенно нового в проведение этих работ на море. Однако в чисто научном отношении некоторые виды сейсмических работ, проводимых со стационарных оснований, могут дать интересные сведения. Для исследования волн землетрясений может иногда потребоваться создание сейсмостанций в центре какого-нибудь района моря. Сведения, получаемые на такой станции, могут быть использованы для внесения поправок в данные станций, расположенных по периферии моря. Когда в каком-нибудь районе континентального шельфа установлено несколько буровых оснований, то при надлежащем сотрудничестве можно осуществить необходимые измерения, аналогично тому, как совместными усилиями ученых нескольких стран в течение последних десяти лет был исследован район Альп в Европе. При изучении внутреннего строения Земли было бы очень интересно организовать измерение толщины земной коры в районах мелководья. При проведении этих работ стационарные основания могут быть использованы как точки регистрации. При этих исследованиях нефтяники могут получить сведения о глубине залегания коренных пород.

### Изучение морского дна

Одним из новых геофизических приборов, который оказался весьма полезным при изучении больших участков морского дна, является боковой гидролокатор. Этот прибор посылает на дно океана на расстояние около 1000 м узкий луч звуковых импульсов, частота которых составляет 50 кГц. Отражение звуковых импульсов зависит от свойств пород, из которых сложено морское дно, а также от того, в какую сторону оно наклонено, — к гидролокатору или от него. Если дно сложено твердыми породами, регистрируемые отраженные импульсы сильнее, если дно сложено илом, — импульсы слабее; они усиливаются, если дно наклонено в сторону гидролокатора, и почти не улавливаются, если оно наклонено от гидролокатора. Серию таких исследований можно было бы провести, например, в нескольких частях Северного моря. При помощи регистрирующего блока бокового гидролокатора можно было бы через определенные промежутки времени записывать импульсы, отраженные одним и тем же участком дна моря. Путем регулярного включения гидролокатора можно было бы наблюдать за перемещением песчаных масс по дну моря.

Перемещение грунтов, складывающих морское дно, представляет интерес для инженера, руководящего добычей нефти на морских месторождениях. Это перемещение может повредить трубопроводы и частично способствовать размыву под опорами основания. Переместившийся песок может перекрыть кингстоны полупогружных оснований и повлечь необходимость проведения дорогостоящих операций при помощи гидромониторов для восстановления плавучести основания. Чем больше изучено перемещение песка морского дна, тем легче принять меры для того, чтобы избежать дорогостоящих подводных работ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объем океанографических, метеорологических и геологических исследований, которые следует проводить нефтяникам, работающим в море, невелик. Но эти исследования позволят сэкономить средства и

повысить эффективность работ, а также обеспечат накопление исходных данных для проектирования буровых оснований. Эти работы будут носить комплексный характер. Наилучшим местом для проведения их являются сооружения типа буровых оснований. Большая часть этих исследований потребует весьма незначительных затрат. На основаниях должны быть выделены помещения для научных работ и приобретено необходимое оборудование.

---

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТОЙЧИВОЙ МОРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ГЛУБОКИХ ВОДАХ

*Г. Н. Джарлан и В. Маркс<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

В связи с поисками промышленных запасов нефти, намеченными на ближайшие 20 лет, и последними достижениями океанографии и геофизической разведки повысился интерес к бурению нефтегазовых скважин в море, несмотря на сложность технических вопросов (особенно при больших глубинах моря), тяжелые гидрометеорологические условия и огромные капитальные вложения.

Особое внимание привлекает к себе Северное море. С того времени, как Голландия в 1960 г. обнаружила здесь более 800 млрд. м<sup>3</sup> запасов природного газа, деятельность нефтегазовых организаций в этом районе активизировалась как никогда ранее за всю предшествующую сорокалетнюю историю морского бурения.

До тех пор, пока не будет решен ряд технических проблем, работы в море будут ограничены относительно небольшими глубинами. Главная техническая проблема — это создание эффективных и экономичных условий для бурения в глубоких водах. Для предотвращения осложнений, связанных с тяжелыми гидрометеорологическими условиями, рабочие операции, возможно, будут перенесены на дно океана. Однако только после гибели подводной лодки «Трешер» проблеме погружения на большие глубины стали уделять серьезное внимание. Между тем расширение разведочного бурения на относительно большой глубине океана привело к необходимости создания устойчивой плавучей платформы, с которой можно было бы вести хотя бы такие работы, которые ведутся с прибрежных оснований.

При конструировании плавучей платформы для глубоких вод наблюдалась тенденция сохранить все традиционное буровое оборудование и разместить его на плавучей установке. Другим решением является использование буровой баржи для бурения по проекту Мохол. Так как на бурении в глубоких водах затрачиваются большие средства (около 15 000 долларов в сутки или 800 000—900 000 долларов на скважину), буровые работы необходимо вести с платформ непрерывно в течение длительного времени. Поэтому понятна необходимость создания условий, обеспечивающих проведение работ в любую погоду.

Были тщательно изучены все известные конструкции платформ. Однако возможно, что создание рациональной конструкции устойчивой

---

<sup>1</sup> Океаникс инкорпорейшн, США.

платформы, обеспечивающей максимальную эффективность работы, будет ограничиваться условиями ее эксплуатации и прежним расположением рабочих площадок.

Исходя из того, что условия работы играют важную роль в экономичности бурения в глубоких водах, по-видимому, целесообразнее было бы сначала найти наиболее подходящую конструкцию платформы, а затем рассматривать вопросы, связанные с ее эксплуатацией, размещением на ней оборудования, материалов и жилых помещений.

В настоящей статье показано, что для создания рациональной конструкции плавучей буровой платформы необходима точная оценка действующих на нее гидродинамических сил. Описаны также базовая конструкция такой платформы и ее работа на основе проведенных предварительных испытаний модели.

## ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

### Условные обозначения

- $d$  — диаметр (перфорированного) отверстия.
- $f$  — коэффициент трения.
- $g$  — ускорение силы тяжести.
- $h_0$  — амплитуда волны.
- $h_1$  — максимальная высота уровня воды в камере.
- $L$  — длина волны.
- $l$  — ширина камеры.
- $l_c$  — толщина перфорированной стенки (длина канала).
- $M_1, M_2, M', M_2'$  — расположение молекул воды в падающей волне.
- $p$  — давление.
- $Q$  — объемная разгрузка.
- $T$  — период волны.
- $t$  — время.
- $u_{max}$  — максимальная скорость струи в канале.
- $W_h$  — общая энергия, рассеиваемая в виде тепла в результате трения.
- $\Delta h$  — изменение гидростатического напора.
- $\rho$  — плотность морской воды.
- $\sigma$  — площадь поперечного сечения отверстия (перфорации).
- $\sigma_p, \sigma_u$  — общая площадь соответственно перфорированной и неперфорированной поверхности.
- $\varphi$  — фазовый угол молекулы воды в орбитальном движении волны.
- $\omega$  — частота волны.

Плавучая платформа представляет собой конструкцию, которая находится на границе двух сред — воздуха и воды и подвергается влиянию как случайных, так и постоянно действующих сил: ветра, волн и течений. Из всех этих внешних факторов преобладающее значение имеет воздействие волны, а отсюда и требование к особой остойчивости платформы. Конструкция, плавающая на поверхности моря, имеет шесть степеней свободы и под действием сил и моментов может быть подвержена бортовой и килевой качке, подъему и опусканию (на волне), толчкам, рысканию и может совершать поворот вокруг вертикальной оси. Максимальная остойчивость платформы может быть достигнута при минимальном перемещении (за счет максимальных восстанавливающих сил). Отсюда следует, что для рассеивания энергии ветра, волн и течений, для предупреждения нежелательного действия их сил на платформу должно быть создано специальное приспособление.

Среди действующих на платформу сил первостепенное значение имеют волны. Платформа, подверженная действию волны, часть энергии поглощает, а часть отражает. Поглощение считается полезным явлением, так как при этом энергия передается несущим элементам конструкции, а отражение — вредным, так как оно проявляется в виде перемещения платформы. Для максимального уменьшения отраженной энергии необходимо учитывать характер действующих сил.

Для упрощения задачи можно воспользоваться сведениями из области изучения звукопроницаемости, так как между звуковыми и морскими волнами существует полная аналогия, и закономерности, установленные для звуковых колебаний, в определенных случаях могут быть применимы к морским волнам.

Для поглощения энергии волны наиболее простое решение заключается в перепуске волны через пористое препятствие (акустическую плиту). Пористость может быть представлена в виде каналов, при этом необходимо соблюдать определенное для каждого случая отношение суммарной площади поперечного сечения каналов к общей площади поверхности. Было установлено, что при относительно низкой пористости может быть поглощена относительно большая часть энергии. Следует отметить, что в системе координат Галилея функция Лагранжа для перемещающихся частиц жидкости такова, что закон сохранения энергии касается всех видов волн независимо от среды, в которой они распространяются, и их частоты. Поэтому при рассмотрении отражающих свойств акустической плиты можно установить физические и геометрические параметры для максимального поглощения энергии морских волн, минимального отражения, а следовательно, и минимального смещения платформы под действием этих волн.

### РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

По аналогии со звуковой волной, часть энергии гравитационной волны, попадающей на пористую стенку, отражается, а остальная часть волны проходит через перфорационные отверстия. Потенциальная энергия морской волны при прохождении ее через перфорацию переходит в кинетическую энергию струи, которая затем частично рассеивается в канале вследствие вязкости и частично вследствие турбулентности потока в камере, расположенной за перфорированной стенкой. Эффективность рассеивания энергии зависит от характеристики волны, а также от геометрии перфорированной стенки и камеры. Критерии для нахождения оптимальной геометрии, способствующей максимальному поглощению энергии, рассматриваются в данной статье только суммарно.

Допустим, на участок перфорированной стенки падает волна, часть энергии которой отражается, а часть передается через перфорацию (каналы) во внутреннюю камеру (рис. 1). Для определения геометрических характеристик перфорированной стенки и камеры, от которых зависит максимальное поглощение энергии, необходимо установить закон движения жидкости в камере в функции от характеристик волн, ширины камеры и фазового угла. Найденная зависимость приводит к определению следующих критериев при конструировании: 1) отношения ширины камеры к длине волны; 2) отношения толщины стенки (длины канала) к диаметру отверстия канала; 3) отношения площади всех отверстий к сплошной поверхности стенки.

Рассмотрим каждый из этих критериев отдельно.

#### Отношение ширины камеры к длине волны

Примем линии  $OX$  и  $OZ$  за декартовы координаты; начало координат взято у стенки, а расположение камеры показано на рис. 2. По мере того как молекула воды, расположенная в точке  $M_1$ , начинает двигаться по орбитальной кривой, молекула в точке  $M_1'$  проходит через отверстие в стенке и попадает в горизонтальный цилиндрический канал. Здесь она подвергается действию сил трения, которые создают сопротивление ее дальнейшему движению до тех пор, пока молекула не достигнет положения  $M_2$ , определяемого фазовым углом  $\varphi$ . Вследст-

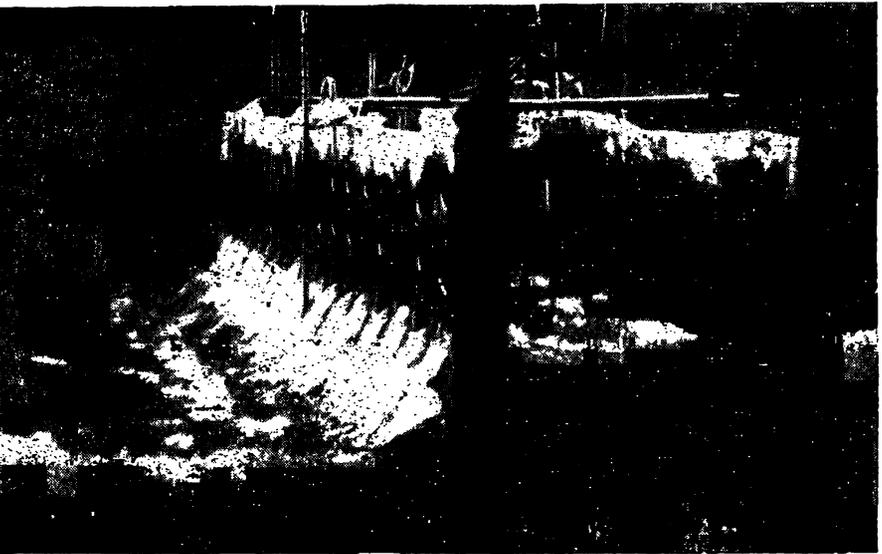
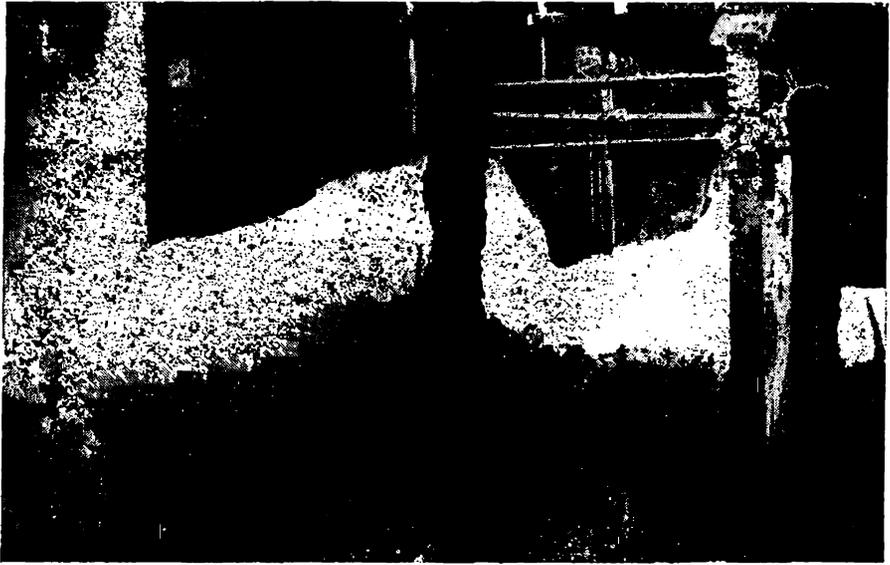


Рис. 1. Моделирование волны, падающих на перфорированную стенку, и обратный поток.

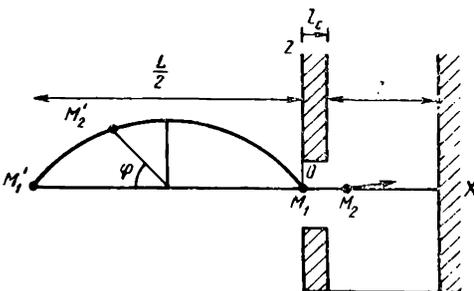


Рис. 2. Волна, падающая на перфорированную стенку.

вие притока в камеру уровень воды в ней поднимется. Таким образом, можно записать

$$\int_{-\frac{L}{2}}^0 \int_{t=0}^{t=\frac{T}{2}} h_0 \sin(\omega t + \varphi) dt dx = \int_0^{h_1} \int_{t=0}^{t=\frac{T}{2}} l dt dz, \quad (1)$$

где начало отсчета времени совпадает с началом заполнения камеры;  $h_1$  — максимальный уровень воды внутри камеры при  $z=0$ .

Интегрирование уравнения (1) дает

$$lh_1 = L \frac{h_0}{\pi} \cos \varphi. \quad (2)$$

Для образования потока струи, необходимого для соответствующего рассеяния кинетической энергии, между уровнем воды снаружи и внутри камеры должен быть создан определенный напор. Желательно, чтобы фазовый угол  $\varphi$  равнялся  $\sim 60-80^\circ$  или несколько больше. Значение угла  $\varphi$  повышается с увеличением длины волны. Эксперименты, проведенные на желобе с двумя измерениями, показали, что величина  $\cos \varphi \approx 0,3$ , соответствующая волнам с периодом 6—8 сек, дает отношение

$$\frac{l}{L} \approx \frac{1}{10}. \quad (3)$$

Для волн с периодом от 14 до 20 сек величина  $\frac{l}{L}$  равна приблизительно  $1/30$ .

Отношение толщины стенки к диаметру отверстия

По мере того как волна ударяется о перфорированную стенку, образующийся гидростатический напор направляет струю через каналы в камеру. Таким образом, потенциальная энергия волны переходит в кинетическую, рассеивающуюся большей частью в камере. Вследствие градиента обратного давления, возникающего под влиянием сплошной задней стенки, молекула воды теряет часть своей кинетической энергии, а оставшаяся часть снова переходит в потенциальную. Затем под действием напора, образовавшегося в камере относительно среднего уровня моря, возникает поток, направленный на этот раз из камеры наружу, что приводит к рассеянию энергии в жидкой внешней среде. К турбулентности внутри волны, сопровождающей перемещение массы воды, добавляется внешняя турбулентность истекающей струи.

По теореме Бернулли, силы трения, рассеивающиеся в виде тепла  $W_h$ , могут быть представлены следующим выражением:

$$-W_h = \iint \left( p + \rho g z + \rho \frac{v_{\max}^2}{2} \right) v_{\max} d\sigma \quad (4)$$

(см. условные обозначения в начале статьи).

Выражение в скобках можно обозначить как давление  $p_t$ . Тогда

$$-W_h = \iint p_t v_{\max} d\sigma,$$

где  $d\sigma$  — элемент площади поверхности. Общая энергия равна произведению давления на объемный расход.

Уравнение (4) преобразуем к виду:

$$\Delta h = \frac{W_h}{\rho g Q} = 4f \frac{l_c}{d} \frac{v_{\max}^2}{2g}. \quad (5)$$

По мере того, как струя проникает в канал, потери напора в соответствии с теорией *vena contracta*<sup>1</sup> становятся равными потерям на расширение струи в канале, которое следует за сжатием, и потерям на трение.

Если допустить, что поток равномерный, то потери напора в конце канала, расположенного близко к свободной поверхности, составят

$$\Delta h = h_0 = 0,6 \frac{v_{\max}^2}{2g}. \quad (6)$$

Если  $h_0 = 3,94$  м, то

$$v_{\max}^2 = \frac{2h_0g}{0,6} = 119 \text{ м}^2/\text{сек}^2 \text{ (1280 фт}^2/\text{сек}^2\text{)}.$$

При этой величине максимальной скорости коэффициент трения по Дарси—Вейсбаху для одиночных труб может быть получен по логарифмической зависимости Кармана в качестве функции от относительной шероховатости и скорости сдвига.

При  $f = 0,025$  отношение

$$\frac{l_c}{d} \approx 1. \quad (7)$$

#### Отношение площади перфорации к неперфорированной поверхности

Анализ выражения этого параметра подробно приводится в работе Г. Е. Джарлана. Результаты этого анализа показывают, что реальная величина отношения площадей при коэффициенте отражения 0,2 равна

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_u} = 1/3 \quad (8)$$

для волн с периодом 8 сек ( $\sim 10$  м).

Предварительные расчеты конструктивных размеров плавучей платформы проводились путем моделирования волн, а затем уточнялись для получения оптимальных значений, которые принимались для конструирования.

### ОСНОВНАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ

Теорию минимального отражения звуковой волны, разработанную для звукопоглощающей плиты, при расчетах плавучей платформы следует применять осторожно. Она может быть использована при расчетах геометрических размеров для однозначной длины волны, однако на практике почти всегда существует широкий диапазон длин волн. Для практических целей необходимо учитывать спектр частот волн, соответствующий самым неблагоприятным условиям для того места, в котором будут вестись работы. Поэтому рассчитывать конструкцию следует по длине волны в вершине спектра. Кроме того, необходимо проверять, удовлетворяют ли полученные параметры конструкции самому тяжелому штормовому состоянию моря.

Слово «оптимальный» в названии данной статьи может немного ввести в заблуждение читателя, так как наилучшая конструкция при одном состоянии моря необязательно будет наилучшей при других условиях. Однако перемещения платформы, предусматриваемые расчетом для данного состояния моря, должны оставаться в допустимых пределах и при других условиях в море.

<sup>1</sup> На входе жидкости в отверстие изменяется характер струи внутри канала и при круглом сечении канала ее форма приближается к цилиндрической.

Вначале принципы, рассматриваемые в данной статье, были применены к волнорезу для предохранения порта от штормов. Система была сконструирована и испытана автором в искусственном водоеме в



Рис. 3. Портовый волнорез Бэйя Комо.

Национальном научно-исследовательском комитете Канады в Оттаве. На модели, выполненной в масштабе 1:30, при высоте волн 3—6 м и периоде 5—12 сек (38—228 м) при сдвиге фаз 55—75° отражение составило 10—30%.

Геометрия испытанной конструкции была рассчитана по приведенным уравнениям (3), (7), (8). Основные размеры конструкции: отношение площади перфорированной поверхности к общей площади 0,33; толщина наружной стенки 0,9 м; диаметр отверстий 0,9 м; ширина камеры 9 м; общая высота 16,7 м.

Другие испытания проводились для волн с периодом 12—18 сек (228—505,9 м) при сдвиге фаз до 85°. Зафиксировано отражение 30 и 50%. Основные геометрические размеры конструкции были: отношение площади перфорированной поверхности к общей площади 0,40; толщина наружной стенки 0,9 м; диаметр отверстий 0,9 м; ширина камеры 12 м; общая высота 16,7 м.

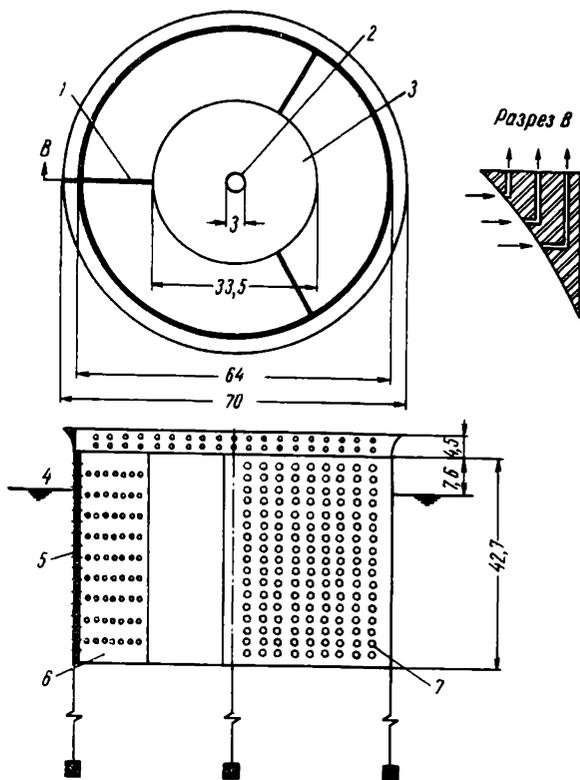


Рис. 4. Плавающая платформа для морского бурения. 1 — перфорированная перегородка; 2 — шахтовое направление; 3 — поплавковая камера; 4 — уровень моря; 5 — перфорированная стенка с трубами; 6 — перегородка; 7 — перфорационные отверстия (коэффициент перфорированной поверхности 40%) (размеры в м).

Ввиду того что при широком изменении характеристик волн не было необходимости в существенном изменении геометрических параметров, в ноябре 1962 г. в Бэйя Комо (порт в проливе Св. Лаврентия) был построен волнорез (рис. 3), рассчитанный на волну с периодом от 5 до 12 сек.

После 3 лет наблюдений за волнорезом при самых различных волнах конструкция была одобрена.

Основная задача при расчете конструкции плавучей платформы — свести к минимуму ее перемещения, чтобы предотвратить возможность повреждения бурового оборудования во время работы.

На рис. 4 показан предварительный эскизный проект буровой платформы, а на рис. 5 — модель морской платформы, выполненная в масштабе 1 : 80, которая испытывалась в искусственном водоеме.

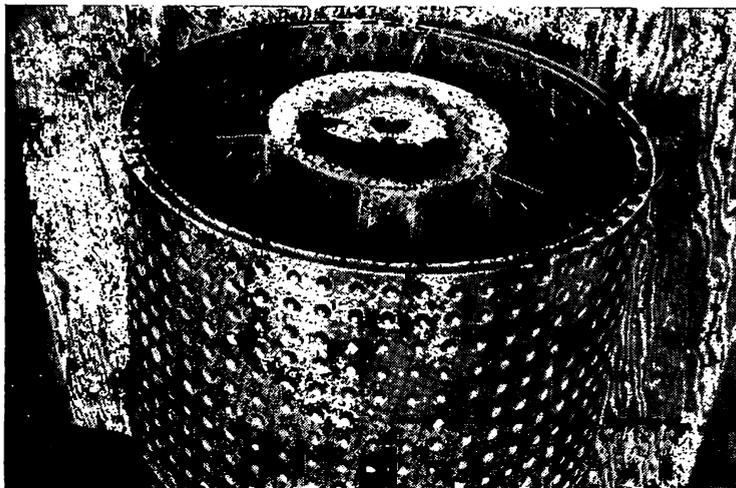


Рис. 5. Модель стабильной морской платформы без рабочей палубы.

Платформа состоит из двух концентрических цилиндров. Наружный цилиндр диаметром 64 м и высотой 42,6 м имеет двойную стенку, расстояние между обеими стенками 1,2 м.

В центре основной конструкции имеется еще два концентрических цилиндра: наружный диаметром 33,5 м и внутренний диаметром 3,3 м (для спуска бурового оборудования). Эта пара цилиндров не перфорируется и образует камеру, заполняемую воздухом под избыточным давлением, которая обеспечивает заданную плавучесть всему сооружению. Поплавковая камера присоединяется к перфорированному наружному цилиндру тремя радиально расположенными перегородками, которые также перфорируются.

При заданных условиях работы вся конструкция находится на плаву с осадкой 7,6 м. Верхняя часть платформы, являющаяся рабочей площадкой, окружена параболической перфорированной стенкой высотой 4,5 м.

Платформа может заякориваться на сравнительно больших глубинах воды. Применяется специальная якорная система с упругими тросами в зависимости от глубины, профиля дна, местных течений и т. д. Там, где нельзя использовать якорную систему, для удержания платформы непосредственно над местом бурения используются гибкие опоры в сочетании с гидролокатором.

Рассматриваемая конструкция платформы исследовалась посредством моделирования, а перемещение ее сравнивалось с перемещением обычного цилиндра. При сравнении с простым цилиндром снижение амплитуды колебаний было очень значительным: до  $\frac{1}{6}$  для высокочастотных волн и до  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$  для низкочастотных. В частности, для высоты волны 4,8 м (размер дается в полном масштабе) смещение по вертикали составляло 0,54 м для волн с частотой 12 сек и 0,42 м для волн

с частотой 8 сек, в то время как максимальное смещение обычного цилиндра составляло около 2,4 м. Соответствующая амплитуда качки была около 0,45 м для перфорированного цилиндра, а угол наклона при этих условиях составлял 3—5°. Независимо от того, что описанная конструкция обладает устойчивостью, распространение перфорации на эту часть платформы значительно уменьшает вертикальные колебания и играет роль своеобразного якоря. Благодаря тому, что колонна буровых труб окружена поплавковой камерой, она относительно защищена от воздействия волн на глубине до 35 м.

### ВЫВОДЫ

Исходя из того положения, что основной задачей при создании устойчивой морской платформы является максимальное увеличение эффективности работы путем сведения к минимуму колебаний от воздействия морских волн, в конструкции платформы был использован принцип звукопоглощающей плиты и связанные с этим теоретические положения, обуславливающие значительное поглощение энергии морских волн в широком диапазоне частот. Эффективность применения этого принципа была успешно продемонстрирована на волнорезе, и в результате испытаний на моделях было установлено, что устойчивость разработанной конструкции платформы превосходит устойчивость подобной конструкции без перфорации.

Для получения окончательной конструкции потребуются дальнейшие технические усовершенствования и испытания. В частности, было бы очень полезно осуществить программу систематических испытаний для определения характеристик перемещений при различном состоянии моря, а также для нахождения гидродинамических коэффициентов, которые являются ключом к изменению параметров конструкции.

---

## ВЫБОР РАСЧЕТНОГО ВОЛНОВОГО РЕЖИМА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ МОРСКИХ ОСНОВАНИЙ

*Ч. Л. Бретшнайдер, М. Ст. Денис<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Морское основание рассчитывают таким образом, чтобы оно могло выдержать наиболее тяжелые гидрометеорологические условия, которые могут возникнуть в период его службы.

Конструктор должен выяснить, как изменяются в течение длительного периода гидрометеорологические условия в море, и иметь данные о предельных значениях волны и ветра, вероятных в данном районе.

Определение расчетного состояния моря может быть длительным процессом, так как сначала необходимо провести целый комплекс исследований для получения необходимых гидрографических, метеорологических и океанографических данных. На эти исследования затрачивается продолжительное время. Поэтому вначале следует пользоваться для расчета приближенными данными. Одновременно необхо-

---

<sup>1</sup> Натбонал инжиниринг сиенз компани, США, № 117.

димо определить окончательный волновой режим моря, для того чтобы экономически и технически обосновать целесообразность проектирования. В связи с этим определяют два расчетных волновых режима: 1) для предварительного расчета и 2) для проверочного расчета.

В первой части настоящей статьи описывается методика предварительного расчета, во второй — проверочного.

Волновое действие может быть разложено на две динамические составляющие: скоростную и инерционную нагрузки. Первая составляющая является функцией относительной скорости, вторая пропорциональна ускорению движения жидкости. Именно эти составляющие и должны быть определены при выявлении расчетного волнового режима (или режимов) моря. Так как обе они непосредственно выводятся из профиля волны, то прежде всего нужно обратить внимание на получение этой характеристики.

На этапе предварительного расчета исходят из того, что состояние моря определяется характеристической волной; на этапе проверочного расчета состояние моря характеризуется спектром средних отклонений, называемым спектром волновой энергии.

### РАСЧЕТНЫЙ ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ОСНОВАНИЙ

В тех местах Мексиканского залива, где расположены стационарные основания, волны всегда возбуждаются ураганами, что в некоторой степени упрощает расчеты. Для того чтобы ориентироваться в методике расчета, следует обратиться к рис. 1.

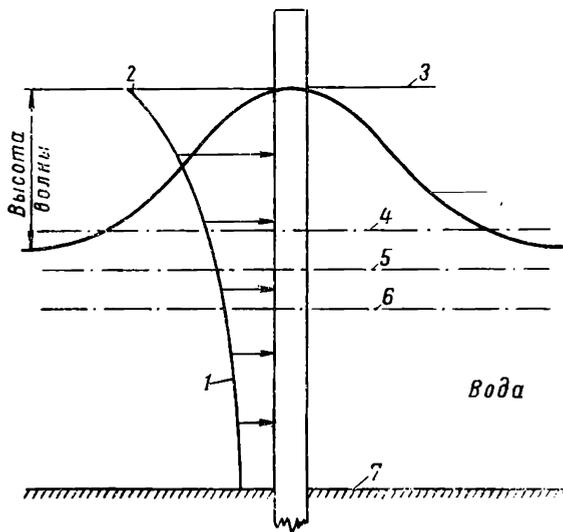


Рис. 1. Схематическое изображение волны и волновой нагрузки, действующей на отдельную вертикальную сваю. 1 — распределение волновой нагрузки; 2 — максимальное значение нагрузки; 3 — высота гребня волны; 4 — высота прилива при шторме; 5 — уровень полной воды; 6 — средний уровень малой воды; 7 — дно моря.

Исходные данные для расчета следующие: 1) средняя глубина моря в точке установки основания; б) обычная амплитуда прилива; 3) величина и частота возникновения штормового волнения; 4) величина и частота возникновения волн.

Методика получения данных о штормовых приливах и прогнозирования волнения не входит в задачу настоящего доклада.

## Высота и период волн в глубокой воде

В 1957 г. Бретшнайдер на основании опытных данных определил соотношение между значением энергии волны и высотой характеристической волны  $H_0$  в глубокой воде. Это соотношение выражается в виде:

$$H_0 = 16,5e^{\frac{R\Delta p}{100}} \left( 1 + \frac{0,08\alpha}{\sqrt{u_R}} v_F \right)$$

при периоде характеристической волны

$$T_s = 2,13 \sqrt{H_0},$$

где  $H_0$  — высота характеристической волны в футах;  $R$  — расстояние по радиусу до зоны максимальной ветровой нагрузки в морских милях;  $\Delta p$  — снижение атмосферного давления (по сравнению с нормальным) в центре урагана в дюймах рт. ст.;  $\alpha$  — безразмерная константа, близкая к единице, характеризующая увеличение скорости ветра вследствие продвижения урагана;  $u_R$  — максимальная постоянная скорость ветра в радиусе действия максимального ветра в узлах;  $v_F$  — скорость продвижения урагана в узлах (1 морской узел = 1852 м);  $T_s$  — период характеристической волны в сек.

Определив высоту характеристической волны из приведенного уравнения, можно вычислить вероятную максимальную высоту волны  $H(n)$  для любого интервала наблюдения  $\tau$  по уравнению

$$H(n) = H_0 ({}^{1/2}knN)^{1/3},$$

где  $k$ ,  $n$  — безразмерные коэффициенты для элементов волн;  $N = \frac{\tau}{T_s}$ .

## ВЫСОТА И ПЕРИОД ВОЛН В МЕЛКОЙ ВОДЕ

Прогнозирование для мелкой воды значительно сложнее, так как при этом необходимо принимать во внимание рельеф дна, трение, интерференцию и преломление. Описание метода прогнозирования можно найти в работе Бретшнайдера (1959).

*Параметры волны.* Для глубокой воды  $\left(\frac{d}{T^2} \geq 2,5\right)$  характеристики волны можно определить по теории Стокса (1847 г.), границы применения которой установлены Митчеллом (1893 г.). Характеристическими параметрами волны в этом случае будут высота, длина и период, определенные применительно к условиям урагана (рис. 2).

С уменьшением глубины характеристики волны изменяются: длина и амплитуда начинают зависеть от параметров  $\frac{H}{T^2}$  и  $\frac{d}{T^2}$  (где  $H$  — высота волны в футах;  $T$  — период волны в сек;  $d$  — средняя глубина моря в футах;  $1 \text{ фут/сек}^2 = 0,305 \text{ м/сек}^2$ ).

Для очень мелкой воды  $\left(\frac{d}{T^2} < 0,08\right)$  усовершенствованная теория одиночной волны не применима из-за разрыва волны. Для средних глубин производится интерполяция с учетом теорий Стокса и Митчелла и усовершенствованной теории одиночной волны. При интерполировании за основу берется теория Стокса, а в уравнения, характеризующие профиль волны, вводятся дополнительные члены более высокого порядка.

Длина волны  $L$  в мелкой воде определяется из следующих уравнений:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \left( \frac{L_A}{L_0} \right) \left( \frac{L}{L_A} \right);$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi};$$

$$L_A = L_0 \operatorname{tg} \frac{2\pi d}{L_A},$$

где  $L_0$ —длина волны в глубокой воде по линейной волновой теории;  $L_A$ —длина волны в мелкой воде по линейной волновой теории;  $\frac{L_A}{L_0}$  — поправка на глубину моря (рис. 3);  $\frac{L}{L_A}$  — поправка на крутизну волны (рис. 4).

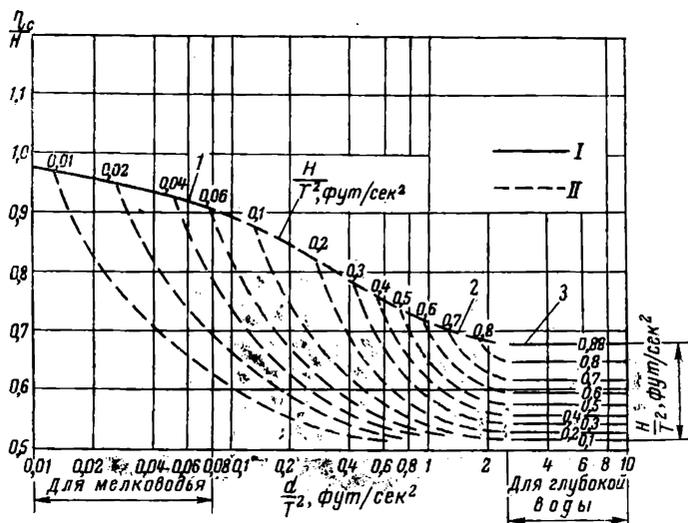


Рис. 2. Отношение высоты гребня волны, отсчитываемой от спокойного уровня моря, к высоте волны  $H$ .

1 — кривая, соответствующая усовершенствованной теории одиночной волны; 2 — предел, при котором наблюдается разрыв волны;

3 — кривая, соответствующая теории Митчелла;

I — теоретическая кривая; II — интерполированная кривая. Отношение

(в %) уровня спокойного моря к гребню волны высотой  $H$ ;

$\eta_c$  — высота гребня волны, отсчитываемая от уровня спокойного

моря, в футах (1 фут=0,305 м);  $H$  — высота волны в футах;  $d$  —

средняя глубина моря в футах;  $T$  — период волны в сек.

*Волновые нагрузки и опрокидывающие моменты.* Полная волновая нагрузка на единицу высоты (элемент) вертикального сооружения составляет

$$f_T = f_D + f_I,$$

где скоростная нагрузка

$$f_D = \frac{1}{2} \rho C_D A |u| u,$$

а инерционная нагрузка

$$f_I = \frac{1}{2} \rho C_M V \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Здесь  $\rho$  — плотность воды;  $C_D$  — коэффициент лобового сопротивления;  $A$  — площадь проекции элемента на фут высоты;  $u$  — местная орбитальная скорость волны;  $V$  — объем элемента на фут высоты;  $\frac{\partial u}{\partial t}$  — местное ускорение;  $C_M$  — коэффициент присоединенной массы.

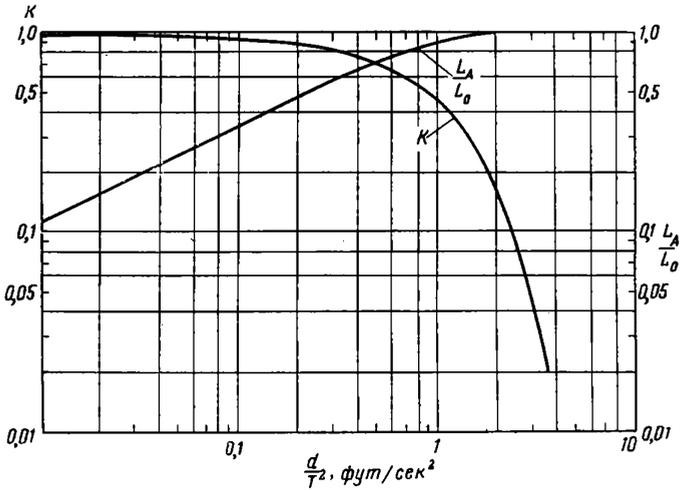


Рис. 3. Поправочный коэффициент для длины волны, учитывающий относительную глубину моря.

Если, как это обычно бывает, вертикальный элемент сооружения (свая) имеет цилиндрическую форму, то площадь проекции на единицу длины становится равной диаметру  $D$  элемента, а объем  $V = \frac{\pi}{4} D^2$ .

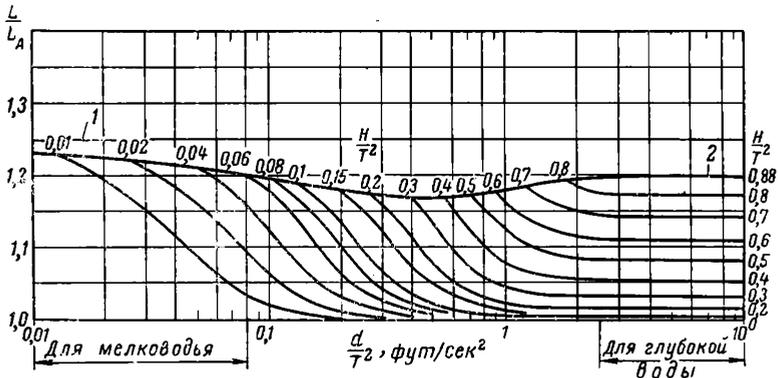


Рис. 4. Поправочный коэффициент для длины волны, учитывающий крутизну волны.  
1 — по теории одиночной волны; 2 — по теории Митчелла.

Общая нагрузка на отдельную сваю может быть определена интегрированием в пределах от дна моря до поверхности волны:

$$F_{Dm} = \frac{1}{2} \rho \int_0^{z_0} C_D A u |u| dz;$$

$$F_{Im} = \rho \int_0^{z'} C_M V \frac{\partial u}{\partial t} dz,$$

где верхний предел первого интеграла есть высота гребня волны от уровня дна, которая определится как

$$z_c = \eta_c + d_t$$

(здесь  $\eta_c$  — высота гребня волны от уровня моря при штиле в футах;  $d_t$  — общая глубина моря в футах).

Верхний предел второго интеграла  $z'$  соответствует ординате волны в той фазе, где интегрируемое ускорение достигает максимума. Общая глубина моря равняется

$$d_T = d_0 + a + S,$$

где  $d_0$  — глубина при малой воде;  $a$  — астрономический или обычный прилив;  $S$  — высота прилива при шторме.

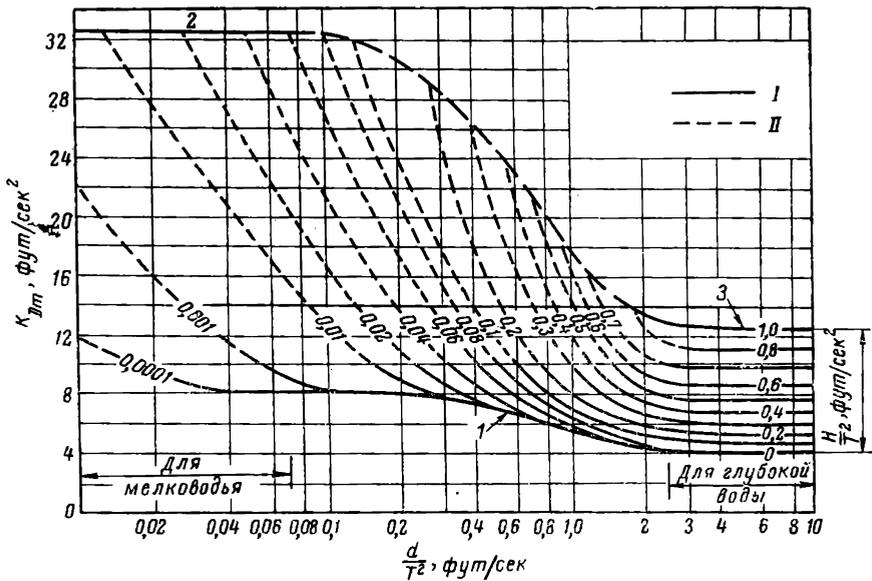


Рис. 5. Коэффициент лобового сопротивления гребня волны.  
1 — по аэродинамической теории; 2 — по теории одиночной волны; 3 — по теории Митчелла — Хавелока. I — теоретическая кривая; II — интерполированная кривая.

Как установлено Рейдом и Бретшнайдером (1953), общая максимальная скоростная нагрузка и максимальная инерционная нагрузка, действующие на цилиндрическую вертикальную сваю, определяются соответственно из следующих уравнений:

$$F_{Dm} = \frac{1}{2} \rho C_D K_{Dm} H D^2 \text{ и } F_{Im} = \frac{1}{2} \rho C_M K_{Im} D^2 H,$$

где  $F_{Dm}$  — общая максимальная скоростная нагрузка;  $F_{Im}$  — общая максимальная инерционная нагрузка;  $K_{Dm}$  определяется из рис. 5;  $K_{Im}$  определяется из рис. 6.

Так как  $F_{Dm}$  и  $F_{Im}$  не совпадают по фазе, максимальное общее результирующее усилие  $F_M$  есть сумма векторов  $F_{Dm}$  и  $F_{Im}$ . На рис. 7 приведен метод подсчета максимального результирующего усилия  $F_M$ .

Соответствующие опрокидывающие моменты у основания вертикальной сваи, проходящей сквозь всю толщу моря, относительно дна определяются из следующих уравнений:

$$M_{Dm} = S_D F_{Dm}; \quad M_{Im} = S_I F_{Im},$$

где  $M_{Dm}$  — момент от максимальной скоростной нагрузки;  $S_D$  — соответствующее плечо момента;  $M_{Im}$  — момент от максимальной инерционной нагрузки;  $S_I$  — соответствующее плечо момента.

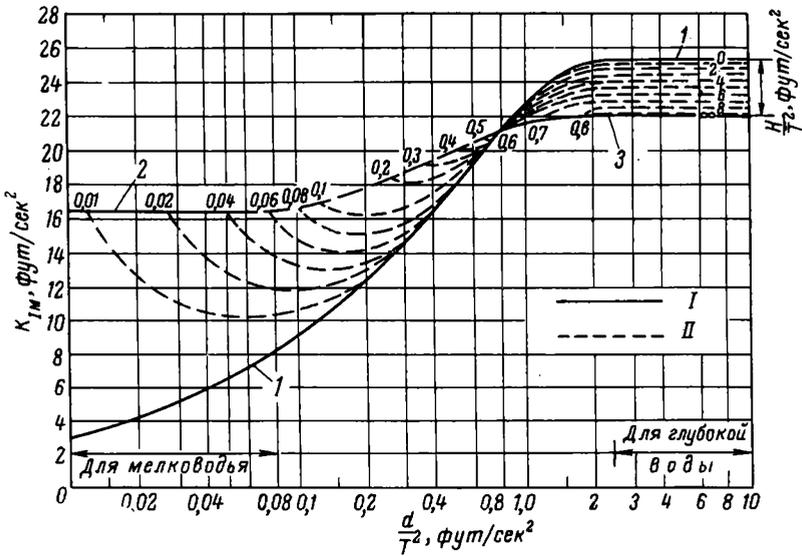


Рис. 6. Коэффициент присоединенной массы.  
 I — по аэродинамической теории; 2 — по теории одиночной волны; 3 — по теории Митчелла—Хавелока (приближенно);  
 I — теоретическая кривая; II — интерполированная кривая.

На рис. 8 и 9 соответственно показаны значения  $\frac{S_D}{d}$  и  $\frac{S_I}{d}$  в функции от  $\frac{d}{T^2}$  и  $\frac{H}{d}$ .

Векторная сумма моментов скоростной и инерционных нагрузок может быть вычислена при помощи рис. 7, в котором нагрузки заменяются моментами.

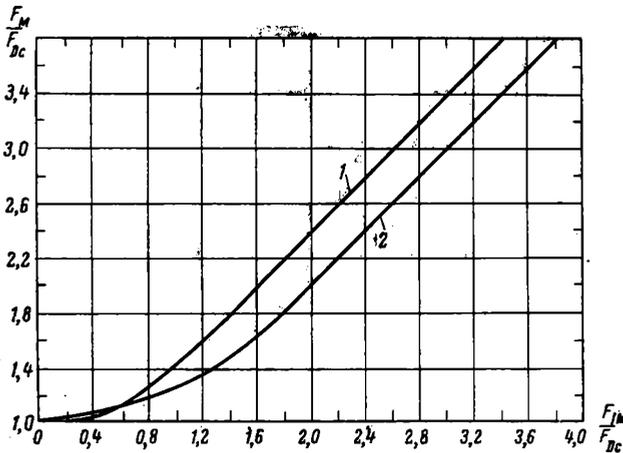


Рис. 7. Зависимость  $\frac{F_M}{F_{Dc}}$  от  $\frac{F_{Im}}{F_{Dc}}$  для определения условий разрыва волны по теории одиночной волны и аэродинамической теории.  
 1 — по теории одиночной волны ( $H/d = 0,78$ ); 2 — по аэродинамической теории ( $H/d$  и  $H/T^2$ ).  
 Примечание. Волны без разрыва располагаются между кривыми.

Уместно отметить, что нижняя палуба основания должна быть по крайней мере на уровне  $z_c$ . Многие основания в Мексиканском заливе, которые были разрушены ураганом «Хильда», вышли из строя потому, что уровень, на котором располагались нижние палубы (и временные устьевые сооружения под ними), были ниже уровня  $z_c$ .

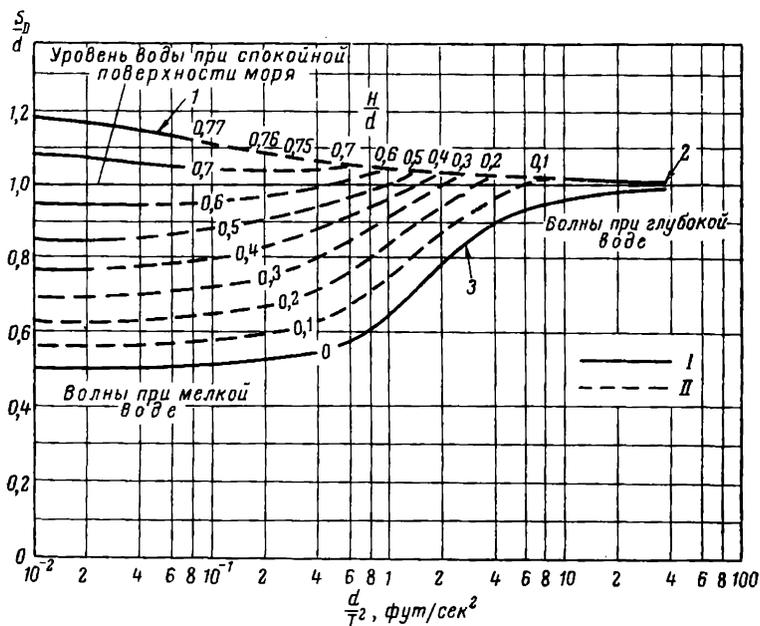


Рис. 8. Зависимость относительного плеча, измеренного от дна моря, от относительной глубины, соответствующая максимальной скоростной нагрузке.

1 — по теории одиночной волны; 2 — по теории Стокса; 3 — по аэродинамической теории.

I — теоретическая кривая; II — интерполированная кривая.

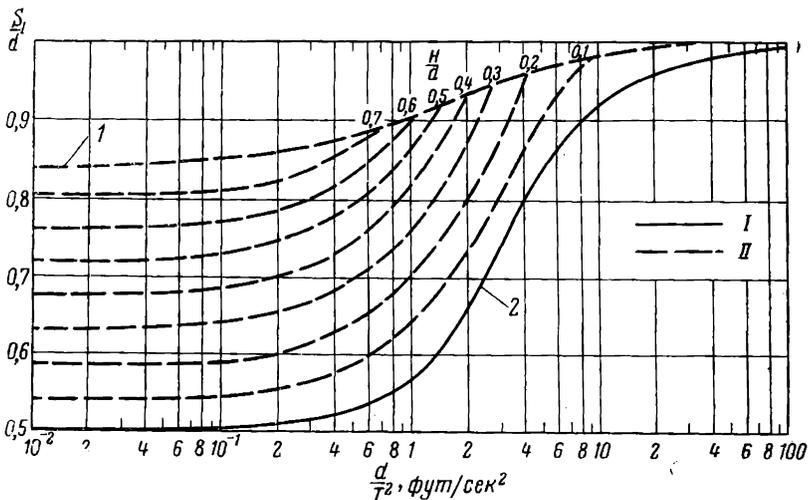


Рис. 9. Зависимость относительного плеча, измеренного от дна моря, от относительной глубины, соответствующая максимальной инерционной нагрузке.

1 — по теории одиночной волны; 2 — по аэродинамической теории (нулевая крутизна).

I — теоретическая кривая; II — интерполированная кривая.

## Коэффициенты лобового сопротивления и присоединенной массы

Уже в течение 15 лет экспериментаторы в лаборатории и в море ведут измерение волновых нагрузок. Цель экспериментов — определить коэффициенты лобового сопротивления и присоединенной массы. В таблице приведены средние величины коэффициентов, определенных различными исследователями.

**Коэффициенты лобового сопротивления и присоединенной массы,  
определенные экспериментальным путем**

Экспериментаторы и год проведения экспериментов	Тип эксперимента	Теория, использованная при анализе	Диаметр цилиндра, дюймы, (мм)	Средние значения		Примечание
				$C_D$	$C_M$	
Моррисон, 1950, 1951	Лабораторный	Линейная	0,5; 1;2 (12,7; 25,4; 50,8)	1,8	—	
Иверсен и Моррисон, 1951	В море	Одиночной волны	3,5 (88,9)	0,5	—	Разрыв волны. г. Монтрей, штат Калифорния (анализ проведен Рейдом и Бретшнайдером)
Крук, 1955	Лабораторный (по данным Моррисона)	Линейная		1,60	2,30	Разрыв волны
Кёлеган и Карпентер, 1955	Лабораторный	Стокса	2; 2,5; 3 (50,8; 63,5; 76,2)	1,34	1,46	Среднее значение из 29
			1,25 и 1,5 (31,75; 38,1)	1,52	1,51	Среднее значение из 57
Клим, 1956	Лабораторный	Ускоренного потока	0,5 и 1 (12,7 и 25,4)	1,00	0,93	Непульсирующий поток
Дин, 1956	Лабораторный	Ускоренного потока	3 (76,2)	1,10	1,46	Непульсирующий поток
Вигель и др., 1956	В море (большие и малые волны)	Линейная	13 и 24 (330,2; 609,6)	1,00	0,95	Западное побережье США (среднее из многих величин)
Рейд и Бретшнайдер, 1953	В море (при малых числах Рейнольдса)	Высших порядков	$5^{5/8}$ (142,9)	1,2	1,21	Среднее значение из 54
Рейд, 1956	В море (малые волны)	Апериодическая	$8^{5/8}$ (219,1)	0,53	1,47	Мексиканский залив
Бретшнайдер, 1956	В море (средние волны)	Стокса	16 и 30 (406,4 и 762)	0,40	1,10	Мексиканский залив

Экспериментаторы и год проведения экспериментов	Тип эксперимента	Теория, использованная при анализе	Диаметр цилиндра, дюймы, (мм)	Средние значения		Примечание
				$C_D$	$C_M$	
Уильсон, 1957	В море (малые волны)	Различные	30 (762)	1,00	1,45	Мексиканский залив
Скиельбрей и др., 1960	Большие волны на малых глубинах	Стокса, пятого порядка	12; 24; 36 и 48 (304,8; 609,6; 914,4; 1219,2)	0,8	1,0	Мексиканский залив (среднее значение из многих)
Бретшнайдер, 1961	Данные Вигеля для волн $H \geq 10$ футов (3,05 м)	Линейная	13 и 24 (330,2 и 609,6)	0,86 и 0,68		Обычное отклонение от средних величин 50%
		Второго порядка	13 и 24 (330,2; 609,6)	0,48 и 0,43		Средние значения из 50 и 31
		Третьего порядка	13 и 24 (330,2 и 609,6)	0,35 и 0,35		

Примечание. Поток пульсирующий за исключением случаев, отмеченных в примечаниях.

### РАСЧЕТНЫЙ ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ ДЛЯ ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ОСНОВАНИЙ

При проверочном расчете недостаточно исходить из волнового режима, которому свойственна одна характеристическая волна. Расчетный волновой режим должен определяться по спектру средних отклонений.

Переход от отдельной характеристической волны к спектру средних отклонений может быть легко осуществлен при помощи уравнения Бретшнайдера (1959 г.), характеризующего этот спектр:

$$S_0(T) = 3,434 (\bar{H})^2 \left( \frac{T}{\bar{T}} \right)^3 \frac{1}{\bar{T}} e^{-0,675 \left( \frac{T}{\bar{T}} \right)^4},$$

$$\text{где } \bar{T} = T_S; \int_0^{\infty} S_0(T) dT = \bar{H}^2 = \frac{4}{\pi} (\bar{H})^2 = \frac{1}{2} = H_S^2 = S_0.$$

Здесь  $S_0(T)$  — спектр средних отклонений для глубокой воды;  $T$  — период;  $\bar{H}$  — средняя высота волн;  $\bar{T}$  — средний период;  $H_S$  — высота характеристической волны;  $T_S$  — период характеристической волны.

Остается дать очень длительный прогноз критических значений параметров, характеризующих волновой режим. Это осуществляется в три этапа:

а) определение изменяемости характеристики волн для неизменно во времени волнового режима;

б) определение частотности возникновения волновых режимов определенной интенсивности;

в) определение закона экстраполяции критических значений параметров наилучшего волнового режима.

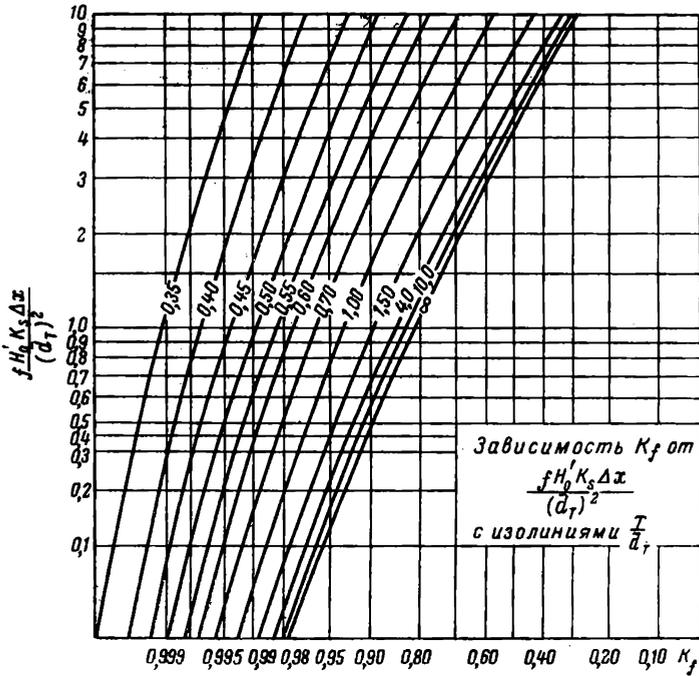


Рис. 10. Зависимость потерь на трение при одинаковой глубине моря

(май 1961 г.)  $K_f$  от  $\frac{H_0 K_S \Delta x}{(\bar{d}_T)^2}$  с изолиниями.

Степень волнения моря выражается величиной  $S_0$ , которая для волн в глубокой воде пропорциональна удельной волновой энергии.

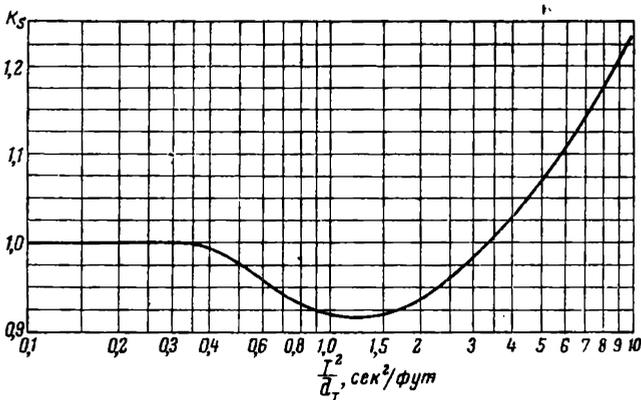


Рис. 11. Зависимость  $K_S$  от  $\frac{T^2}{\bar{d}_T}$  (май 1961 г.).

Когда волны распространяются в мелководные участки, их характеристики изменяются вследствие трения о дно, интерференции, выхода на более мелкое место и преломления. Бретшнайдер (1963 г.) предло-

жил метод определения волновых спектров при мелкой воде, учитывающий все вышеперечисленные факторы. Принимая во внимание только трение о дно и выход на более мелкое место, можно написать следующую формулу для спектра волн на небольших глубинах:

$$S_d(T) = K_f^2 K_S^2 S_0(T),$$

где  $S_d(T)$  — спектр для небольших глубин;  $K_f$  — коэффициент, учитывающий потери энергии вследствие трения о дно;  $K_S$  — коэффициент, учитывающий выход на более мелкое место.

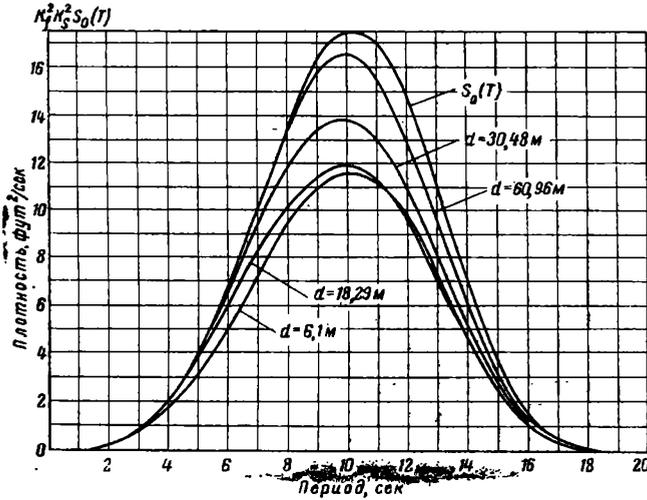


Рис. 12. Распределение волновой энергии в поверхностном слое при выходе волны на мелководье (4,88 м) за 10 сек.  
Примечание. 1 фут<sup>2</sup>/сек = 0,0929 м<sup>2</sup>/сек.

Коэффициент  $K_f$  можно определить интегрированием с подстановкой числовых значений при помощи рис. 10;  $K_S$  определяется из рис. 11.

На рис. 12 приведен пример расчета волновых спектров для мелкой воды.

### КРАТКОСРОЧНАЯ СТАТИСТИКА

При неизменном во времени спокойном состоянии моря волны в мелководье имеют тенденцию к нормальному распределению ординат и распределению высот волны по Релею. Последнее представляет интерес для выбора расчетного состояния и определяется формулой

$$\rho(H) = \frac{2H}{S_0} e^{-\frac{H^2}{S_0}},$$

где  $\rho(H)$  — вероятная плотность при высоте волны  $H$ . Это выражение было проверено многими исследователями, в частности Дарлингтоном (1954 г.), Уоттерсом (1953 г.), Бретшнайдером (1959 г.) и Джеспером (1956 г.).

В принципе распределение высот волны по Релею возможно только при узком спектре отклонений. Даже для довольно спокойных состояний моря такого распределения не наблюдается, а при значительном волнении распределение высот совершенно иное.

При интегрировании вероятная величина  $H$ , превосходящая определенное значение, выразится в виде:

$$q(H_j) = \int_{H_j}^{\infty} \rho(H) dH = e^{-\frac{H_j^2}{S_0}}.$$

При сильном волнении распределение ординат нарушается и становится асимметричным. Изменяется при этом и высота волн, но с точки зрения практики все же можно без значительной ошибки применить распределение по Релею.

При выходе на мелководье наблюдается сдвиг вверх ординат волн из-за повышения среднего уровня волн над спокойным уровнем моря. Среднее увеличение высоты волн с уменьшением глубины может быть определено по рис. 2. Для этого нужно вместо  $H$  и  $T$  подставить среднее значение высоты волн  $\bar{H}$  и период волны-модели  $T_0$ .

Увеличение высоты  $\bar{r}$  одинаково влияет на каждый компонент волны в соответствии с уравнением

$$r(T) = 3\bar{r} \left( \frac{T}{T_m} \right)^2,$$

где  $\bar{r} = \frac{\gamma c}{\bar{H}} - \frac{1}{2}$ ;  $T_m$  — максимальный период спектра.

Ординаты волнового спектра становятся равными

$$H_d(T) \equiv H_0(T) [1 + r(T)],$$

где  $H_d(T)$  — ордината волнового спектра при мелководье;  $H_0(T)$  — ордината волнового спектра в глубокой воде; ординаты нового спектра отклонений  $[H_I(T)]^2$ .

Таким образом, первоначальное отклонение возрастает на величину

$$\frac{\int_0^{\infty} [H_d(T)]^2 dt}{\int_0^{\infty} [H_0(T)]^2 dt} \equiv \gamma^2.$$

По-видимому, степень волнения моря также должна возрасти до величины  $\gamma^2 S_0$  при том же волновом режиме. Соответственно, и первоначальное распределение по Релею, имеющее место при степени волнения  $S_0$ , должно измениться при том же волновом режиме:

$$S_d = \gamma^2 S_0.$$

Частотность степени волнения является функцией  $S_0$ . Закон ее изменения, по-видимому, выражается кривой в обычной системе координат:

$$f(S_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{S_0^2}{\sigma^2}},$$

хотя некоторые авторы считают, что изменения выражаются кривой, одна из координат которой имеет логарифмическую шкалу (система координат Галтона). Здесь  $\sigma$  — отклонения, которые выводятся из зарегистрированных волновых режимов.

Окончательное распределение по Релею будет выражаться формулой

$$f(S_d) q(H_d) = K_d^2 f(S_0) \frac{2H_d}{S_d} e^{-\frac{H_d^2}{S_d}}.$$

Для того чтобы определить вероятность появления волн, высота которых превышает заданную величину  $H_j$ , нужно взять интеграл

$$q(H_d)_j = \int_{H_j}^{\infty} f(S_d) e^{-\frac{H_d^2}{S_d}} dS_d.$$

Число изменений  $N(S)$  состояния моря  $S$  составит приблизительно

$$N(S) = \frac{T_S}{T_S(S)} = \frac{f(S_0) T_l}{T_S(S)},$$

где  $T_S$  — длительность волнового режима;  $T_S(S)$  — период характеристической волны для состояния моря  $S$ ;  $T_l$  — предполагаемый срок службы сооружения.

Общее число изменений  $N$  за срок службы сооружения составит приблизительно

$$N = \int_0^{\infty} N(S) dS = T_l \int_0^{\infty} \frac{f(S_0)}{T_S(S)} dS.$$

Общее число волн, высота которых превосходит данную величину, составит  $q(H_j)N$ .

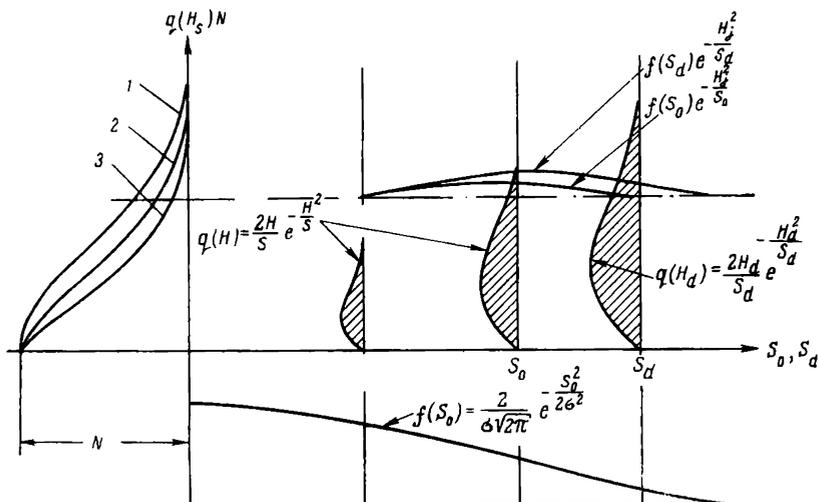


Рис. 13. Ожидаемая вероятность появления максимально высокой волны  $H$ . 1 — начало выхода волны на мелководье; 2 — глубокая вода; 3 — потери на трение.

По последней формуле можно определить частоту появления волн любой высоты  $H_j$ .

На рис. 13 приведена диаграмма, иллюстрирующая вышеописанное.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании морских оснований необходимо установить критерии волнового режима при помощи предварительного расчета, затем сделать проверочный расчет, чтобы выяснить возможность осуществления проекта.

При проверочном расчете нужно использовать детальные расчетные критерии для выявления экономической эффективности конструкции.

Для того чтобы составить представление о напряжениях, под которыми будет находиться конструкция, надо знать высоту волн.

# ДЕТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ШТОРМОВОЙ ВОЛНЫ В СЕВЕРНОМ МОРЕ

*С. Ишигуро*<sup>1</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

Штормовые волны в Северном море изучались с различных точек зрения. Обзор работ по этой области сделан Чарноком и Кризом. Несмотря на значительную успешность проведенных исследований, мы находимся еще у истоков понимания штормовых волн в этом районе и с трудом можем решать практические задачи, связанные с предсказанием волн и количественной оценкой возможных будущих уровней воды. Трудности, по-видимому, заключаются в следующем.

1. Большая часть наблюдений о волнах собрана преимущественно прибрежными станциями. По одним этим данным трудно воспроизвести полную модель волн.

2. Различные факторы, связанные со штормовыми волнами (сила Кориолиса, донное трение, поверхностное трение, обусловленное ветром, и др.), имеют приблизительно одинаковый порядок величин, так что явление не может быть представлено в упрощенном виде.

3. Размеры моря сравнимы с общей площадью действия шторма или иного стихийного явления. Поэтому упрощенное представление, не учитывающее характера изменения шторма по площади, недостаточно для получения точных результатов наблюдений, распространяющихся на всю территорию или на весь период. Таким образом, данные прибрежных станций о погоде должны быть оценены по результатам наблюдений также и за предыдущий период.

Данных, используемых в настоящее время для прогноза погоды, недостаточно для предсказания штормов.

Количественная оценка гидродинамических данных о штормовых волнах будет возможна лишь после устранения трудностей, связанных со сбором необходимых данных о погоде. Для решения этой сложной проблемы могут быть предложены гидравлические, численные и электронные модели.

Океанографические гидравлические модели с вращающимся основанием рассмотрены Фон Арком. Модели этого типа иногда дают более полную картину гидравлической системы по сравнению с двумя другими типами моделей штормовых волн, но если необходимо учесть условия погоды, то возникают значительные технические трудности.

Численные модели, которые связаны с основными гидродинамическими уравнениями, стали практическим методом с тех пор, как Хансен показал, что они могут быть решены при помощи быстродействующих вычислительных машин. Численные модели имеют большие возможности в описании явления, если требуется огромное количество вычислений, а некоторые неточности, зависящие от приближенных значений функций времени и пространства, можно устранить при внимательной обработке данных. Обзор опыта применения этого метода к анализу штормовых волн сделан Веландером, а некоторые основные проблемы, относящиеся к этому методу, рассмотрены Харрисом и Еленснянским.

При использовании электронных моделей, в которых гидродинамическая система заменяется электрической сеткой, можно обойтись без последовательных вычислений и результаты могут быть получены при помощи более простых операций. Обзор электронных моделей, применяемых в океанографии, был опубликован Ишигуро в 1965 г. Двумер-

<sup>1</sup> Национальный институт океанографии, Англия.

ная электронная модель, воспроизводящая орбитальные волновые движения и условия погоды, вызванные вращением Земли, предложена Ишигуро. Электронная модель другого типа, при помощи которой может быть представлено действие вращения Земли на установившееся состояние волнового движения, предложена Вантройсом. Еще один тип электронной модели, в которой при помощи пассивной сетки может быть учтено действие вращения Земли на синусоидальное волновое движение, предложен Макаровым.

Исследования штормовых волн на всей площади Северного моря, выполняемые с применением численных моделей, основаны на гидродинамических уравнениях, которые сведены в помещаемую здесь таблицу. Подобные работы с применением гидравлических и электронных

**Численные гидродинамические анализы штормовых волн по всей площади Северного моря, опубликованные до 1964 г.**

Автор и дата	Глубина	Граница с другими морями			Данные внешние условия	Результаты (только опубликованные)
		северный вход	Дуврский пролив	вход в Балтийское море		
Хансен, 1956	Ограниченная	Открытая	Закрытая	Закрытая	Ветры, вычисленные по трехчасовым картам погоды 31/I—2/II 1953 г.	$\zeta(t)$ для 8 точек на побережьях; $\zeta(x, y)$ для всей площади на определенный момент времени
Фишер, 1959	То же	То же	То же	То же	Два установившихся состояния: постоянные скорости и направление ветров	$\zeta(x, y)$ и $\widehat{w}$ $(x, y)$ для всей площади
Хансен, 1962а	То же	То же	Открытая	То же	Ветры, вычисленные по трехчасовым картам погоды 22—24/XII 1954 г.	$\zeta(t)$ для 9 точек на побережье
Хансен, 1962	То же	То же	То же	То же	Ветры, вычисленные по трехчасовым картам погоды 16—18/I 1954 г. с учетом приливотливных явлений	$\zeta(t)$ для 8 точек на побережье
Шмитц, 1962	То же	То же	Закрытая	То же	Внешняя волна 21—22/XII 1954 г.	$\zeta(x, y)$ для всей площади при двухчасовых интервалах; $\zeta(t)$ для 10 точек на побережье
Ловриер, 1962	Неограниченная и экспоненциальная	То же	То же	То же	Направление ветра — только северное. Скорость: а) любая; б) экспоненциальная; в) ступенчатая; г) ступенчато-синусоидальная	$\zeta(t)$ для определенной точки; $\zeta(x, y)$ для всей площади при различных условиях

Примечание. Все модели двумерные, плоские в плане, с учетом силы Кориолиса и донного трения;  $\zeta(t)$  — изменения уровня моря во времени;  $\zeta(x, y)$  — изменения уровня моря по площади;  $\widehat{w}(x, y)$  — вектор изменения потока по площади.

моделей еще не публиковались, хотя несколько работ по исследованию штормовых волн в отдельных районах Северного моря вышли из печати.

В этой статье описаны некоторые результаты, полученные при помощи электронной модели при исследовании всей площади Северного моря.

### МЕТОД И ТОЧНОСТЬ АНАЛИЗОВ

Модель состоит из ряда ячеек электронной схемы, каждая из которых соответствует отдельному узлу моделируемой гидродинамической системы (через 100 или 50 км). Каждая ячейка состоит из конденсатора, индуктора, сопротивлений и транзисторов и представляет собой основные гидродинамические уравнения для каждого узла, включающие значения таких параметров, как глубина воды, сила Кориолиса, воздействие ветра, донного и атмосферного давления и т. д. Поднятие поверхности воды выражается разностью потенциалов в модели, а компоненты  $x$  и  $y$  водного потока (среднее значение скорости потока, помноженное на площадь вертикального сечения узла) выражаются через компоненты  $x$  и  $y$  электрического тока. Параметры модели, которые не зависят от времени (например, рельеф дна), предварительно задаются на электронной схеме. Параметры, зависящие от времени, например ветровое поле, контролируются специально сконструированным генератором с высокой степенью уменьшения масштаба времени: например, 1 ч действительного явления соответствуют 72 мксек на модели. Большая часть анализов может быть сделана автоматически или полуавтоматически. На модели вычисляются значения уровня воды  $\zeta$  и компоненты  $x$  и  $y$  скорости потока, значения  $u$  и  $v$ . Они могут быть получены в числовой или аналоговой форме. Аналоговая форма включает графики  $\zeta(t)$  для частных значений  $x$ ,  $y$ , контурные карты  $\zeta(x, y)$  для частных значений  $t$ , парные графики  $u(t)$  и  $v(t)$  для частных значений  $x$ ,  $y$  и годограф вектора скорости для частных значений  $x$ ,  $y$ .

Две основные границы Северного моря — северный вход и Дуврский пролив — были представлены на модели открытыми в сторону Атлантического океана и Ла-Манша, а граница в сторону Балтийского моря была полузакрыта. Две операции с моделью были проведены сначала раздельно, а потом вместе: для «внутренней волны», образующейся внутри моря, и «внешней волны», которая образуется вне моря и распространяется в пределы площади моря в виде длинных волн. Установлено, что до 00.00 31 января 1953 г. не было никаких метеорологических и астрономических нарушений в течение всего времени наблюдений. В качестве исходных данных для модели были использованы трехчасовые карты погоды с 00.00 31 января по 24.00 2 февраля. Для внешних волн условия были приняты по исследованиям Коркана.

Силу ветра, которая зависит от скорости, определяли при помощи коэффициента  $2,5 \times 10^{-3}$  (cgs). Чтобы вычислить силу ветра для данного поля атмосферного давления, использовался специальный коэффициент Дитриха для Северного моря. Коэффициент линеаризованного донного давления был взят по Вининку: 0,24 см/сек.

Общая точность этого метода зависит от степени приближенности основных уравнений, числа точек на модели, точности исходных данных измерений. Из перечисленных условий наименьшей точностью отличаются исходные данные, которые являются поэтому источником наибольших ошибок. Это объясняется тем, что исходные данные получаются из анализа поля атмосферного давления, исследование которого основывалось на наблюдениях по побережью и включало ряд интерполяций и аппроксимаций. Средняя точность метода, как показы-

вает сравнение вычисленных результатов с наблюдавшимися в натуре данными прибрежных станций, составляет приблизительно  $\pm 15\%$ , за исключением ошибок, касающихся времени. Если ошибка в предсказании времени подхода волны допустима, например, на  $\pm 2$  ч при общем периоде 3 суток, то величина относительной ошибки будет меньше. Можно считать, что точность вычисленных данных для площади моря имеет тот же порядок, что и для побережья, и анализировать явление в целом можно в пределах этой точности.

Сущность метода и аппаратура, использованная для анализа, описаны Ишигуро.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ

В результате проведения анализов были получены диаграммы  $\zeta(t)$  для 50 точек площади и карта, приведенная на рис. 1. Изображенная здесь штормовая волна представляет, по-видимому, комбинацию внутренних и внешних волн. Типичная внешняя волна значительно отличается от внутренней волны, образовавшейся вблизи южной части Северного моря. В настоящей статье происхождение внешней волны не рассматривается, а сведения о ее форме, размерах и продолжительности основаны на исследованиях Коркана. Справедливость такого подхода была подтверждена сравнением вычисленной результирующей волны с наблюдавшимися данными. Ниже приведены основные результаты анализов.

### Распространение внешней волны

Форма внешней волны в северной части Северного моря имеет вид гауссовой кривой во времени (периодичность 1 день) с максимумом в 12.00 31 января, амплитуда уменьшается экспоненциально от максимума ( $\sim 50$  см) вблизи Оркнейских островов до минимума вблизи Бергена. Сравнение результирующей волны с наблюдавшимися данными показывает, что внешняя волна имеет, вероятно, небольшую отрицательную часть, которая следует за гребнем. Внешняя волна передвигается по часовой стрелке вдоль берегов моря без значительных изменений своей первоначальной формы. Скорость ее распространения достигает величины  $\sqrt{gh}$  лишь вблизи британского побережья, а в остальной части моря значение ее ниже. Высота волны изменяется по мере ее продвижения. Линия, на которой максимальная высота волны равна первоначальной ее высоте вблизи Оркнейских островов, проходит приблизительно в направлении с севера на юг через Северное море. К западу от этой линии высота волны почти в 1,6 раза больше первоначальной ее величины вблизи шотландского побережья. К востоку от этой линии высота волны уменьшается; наименьшая ее высота вблизи норвежского побережья составляет около 0,4 первоначальной высоты. Высота и скорость распространения волны подобны тем же характеристикам приливо-отливных явлений. Если первоначальная высота внешней волны не очень мала и если нет других нарушений в море, то распространение волны может быть отмечено по всей площади. При пересечении волной Ла-Манша ее высота уменьшается, так как значительная часть энергии волны рассеивается в Дуврском проливе. Когда волна входит в Скагеррак, ее высота при продвижении вдоль западного побережья Дании становится незначительной. На рис. 2, а показана форма внешней волны, когда ее максимум находится вблизи Ваши.

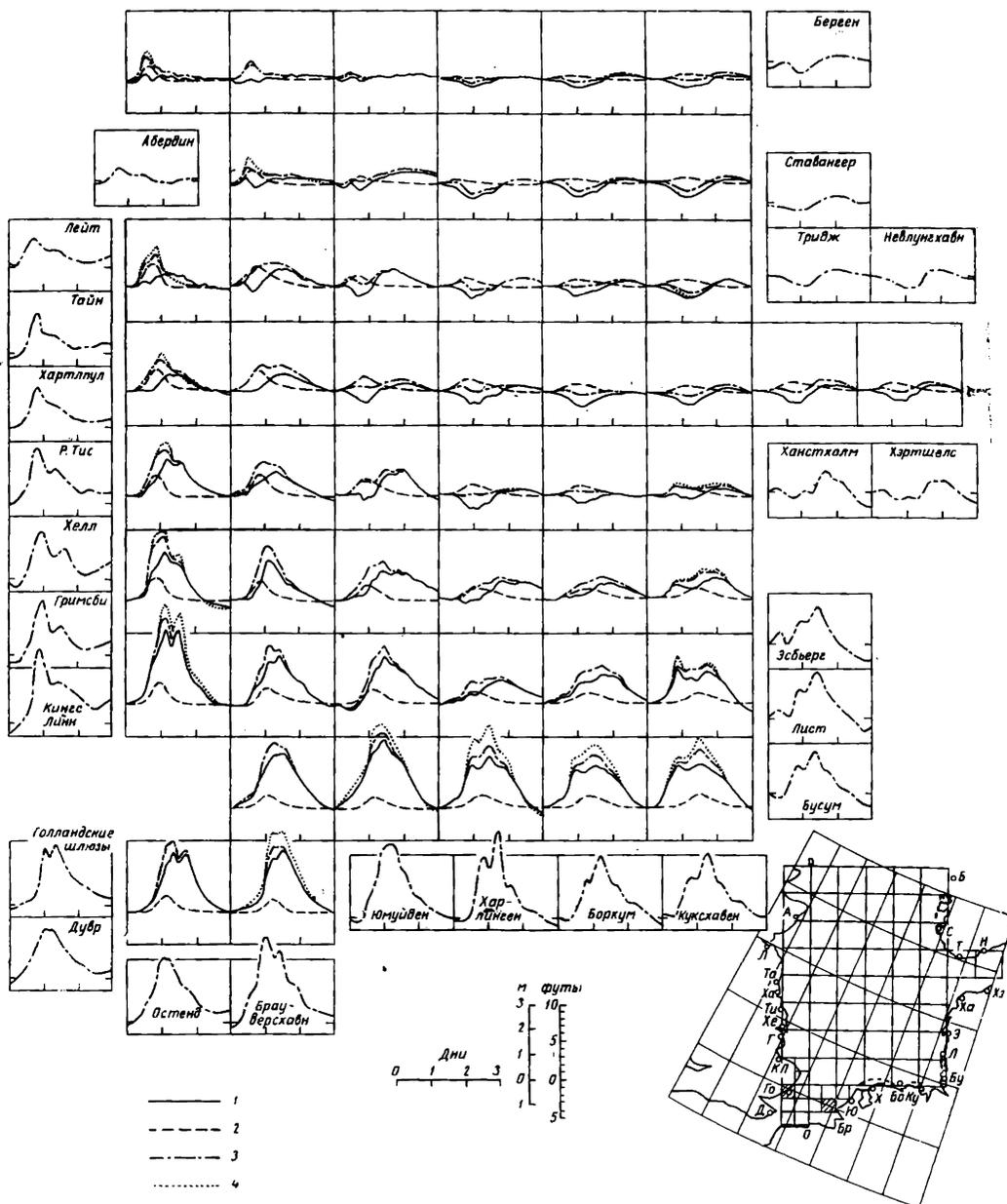


Рис. 1. Штормовая волна с 31 января до 2 февраля 1953 г. в Северном море.

Кривые в квадратах — вычисленные данные: 1 — внутренняя волна; 2 — внешняя волна; 3 — результирующая волна; 4 — экстраполированные графики результирующей волны в каждой ячейке по направлению к береговой линии.

Приведенные здесь кривые отражают уровень воды в центре каждой ячейки, показанной на карте. Кривые для Дуврского пролива представлены по данным, полученным для двух маленьких ячеек, изображенных на карте в виде заштрихованных квадратов.

Кривые в прямоугольных клетках отражают уровни воды, наблюдавшиеся береговыми станциями, указанными на карте первоначальными буквами их названий.

## Стадия возникновения внутренней волны

Период от начала возмущения (00.00 31 января) до момента, когда внутренняя волна становится почти установившейся, может быть назван «стадией возникновения». Появляются два участка высокой воды: один вблизи Ваша, другой около Голландии. Они не могли бы

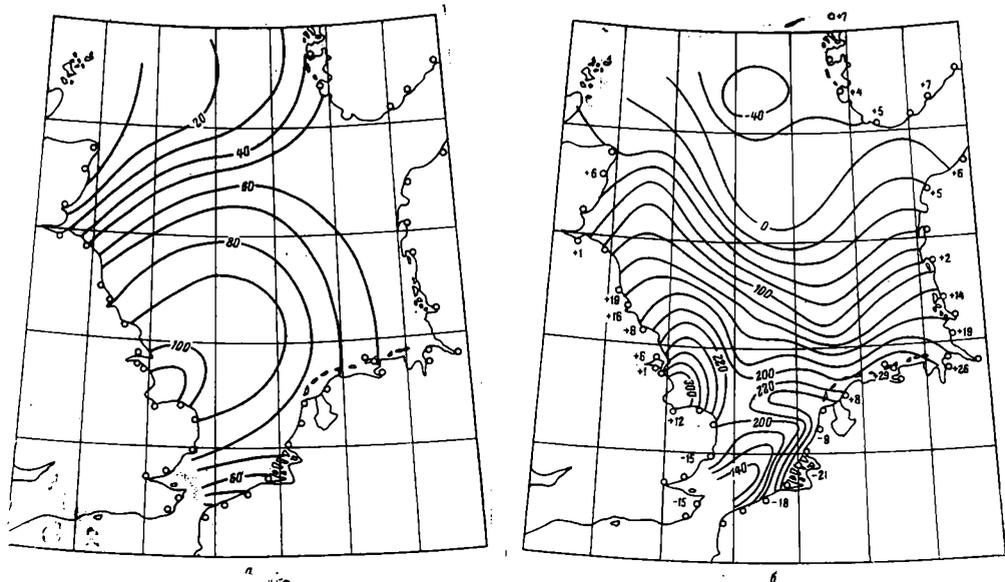


Рис. 2. Штормовая волна в Северном море, вычисленная в 00.00 ч 1 февраля 1953 г.

а — внешняя волна: уровень воды в процентах от максимальной высоты внешней волны (приблизительно +65 см) в северной части моря; б — результирующая волна: линии на карте отражают уровень воды в см; цифры у береговой линии показывают ошибку вычисленных значений высоты волны сравнительно с наблюдавшимися на береговых станциях в процентах от максимальной для Северного моря высоты волны (около 350 см у Харлингена).

объединиться в один район высокой воды, если бы не существовал Дуврский пролив. Однако уровень воды в море изменяется неравномерно, а иногда даже образуется отрицательный уровень, хотя он не имеет существенного значения при анализах. Такая неравномерность частично зависит, по-видимому, от распределения ветрового поля (в этот период главный его фронт протягивался поперек моря), а частично от местных изменений рельефа дна, например, в районе Доггер-банки. Линия наименьших нарушений, разделяющая положительные и отрицательные уровни, протягивается непосредственно от Оркнейских островов до середины моря. В конце стадии возникновения внутренней волны эта линия принимает форму буквы V, образованную линиями, связывающими Шотландские острова и северо-западное побережье Дании до центра Северного моря (55° сев. шир., 4° вост. долг.).

## Стадия полного развития внутренней волны

Северное море можно считать прямоугольным бассейном, закрытым с юга, если не принимать во внимание Дуврского пролива. В закрытой части такого бассейна высота внутренней волны сильно зависит от направления, скорости и продолжительности ветров и глубины воды. Во время описываемого шторма ветровое поле было почти стабильным в течение ~18 ч (с 21.00 31 января до 15.00 1 февраля) в очень на-

пряженных условиях: направление (примерно северо-западное) было почти перпендикулярным берегу, а скорость  $\sim 20$  м/сек и выше. Высота волны была наибольшей в полосе между южным побережьем и контуром изобат глубин 40 м, который в первом приближении можно считать линией, проходящей от Ваши к западному побережью Дании. Наблюдалось также резкое возрастание поверхностного градиента по направлению к побережью с поверхностным контуром, почти параллельным береговой линии. Дуврский пролив немного изменяет эту картину, в связи с чем несколько меньшая высота волны отмечается между Вашем и побережьем Голландии. Вдоль отмеченной выше V-образной границы уровень воды остается почти ненарушенным в течение всего описываемого периода. К северу от V-образной границы уровень воды снижается почти на 50 см от среднего.

### Стадия затухания внутренней волны

Период от конца стадии полного развития волны (15.00 1 февраля) до момента, когда море снова успокоится (24.00 2 февраля), может быть назван стадией затухания. Хотя направление ветров остается почти стабильным, их интенсивность вскоре уменьшается. Внутренняя волна, возникшая вблизи закрытой части моря, постепенно уменьшается без значительных изменений своей формы. После того как силы, которые вызывают движение воды, затухают, поднятая масса воды начинает растекаться подобно движению внешней волны, т. е. направляясь против часовой стрелки вдоль побережья под действием силы Кориолиса. Это явление особенно заметно вблизи побережий Англии и Голландии.

### Результирующая волна

Действительная волна является результирующей по отношению к внешней и внутренней волнам. 1 января 1953 г. внутренняя волна развивалась независимо вблизи закрытой части моря еще до того, как дошла внешняя волна. У побережья Шотландии внешняя волна была основной составляющей волны, особенно в ранней стадии, хотя внутренняя волна тут же последовала за внешней, и результирующая волна проявилась так, как если бы она имела большой период затухания. Вблизи побережья Англии высота внутренней волны увеличивалась в направлении к югу, в то время как внешняя волна уменьшалась. Внешняя волна дошла до южного побережья Англии немного раньше, чем внутренняя волна достигла своей пиковой высоты. Таким образом, внешняя волна не всегда ясно определяется, кроме тех случаев, когда она увеличивает высоту внутренней волны. На побережье Голландии время прибытия внешней волны почти совпадает с моментом максимальной высоты внутренней волны, так что результирующее действие делает волну еще более высокой. Следует отметить, что те два пика, которые наблюдались в результирующей волне вблизи побережий Англии и Дании, недостаточно объясняются действием внешней волны, а вероятно, обусловлены изменением ветров. Сравним, например, наблюдавшиеся результаты действия ветров в Харлингене, опубликованные Комитетом дельт, с данными о волне. Вдоль побережий Дании и Норвегии высота внутренней и внешней волн небольшая, и они опять становятся сравнимыми. Поскольку фазы обеих волн здесь противоположны, результирующая волна меньше, чем каждая составляющая, хотя величина внутренней волны несколько больше, чем внешней. В средней части моря форма результирующей волны является промежуточной между несколькими типами, описанными выше, и зависит от положения в море.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна из наиболее сильных штормовых волн, возникавших в Северном море и наиболее полно изученных другими исследователями, проанализирована в этой статье по данным электрической модели. Анализ основан на гидродинамических уравнениях и решен без применения интегрирования по времени методом конечных разностей. Результаты, которые подтверждены в пределах допустимой точности сравнением с данными наблюдений на побережье, позволили лучше понять некоторые необычные проявления волны, особенно при ее движении вдоль берегов. На этой же модели выявлены некоторые особенности движения волны, которые будут описаны отдельно. Чтобы лучше изучить штормовые волны на площади, необходима более широкая область анализов.

Этот метод при сравнительно ограниченном использовании оборудования позволил достичь значительной точности результатов и скорости проведения работ на всех стадиях. Установлено, что модели можно использовать не только для специальных целей — предсказания волн, но и для получения практической информации в области инженерных проблем и относительно передвижения песка.

Описанная работа является частью проекта изучения штормовых волн в Северном море, проводимого коллективом сотрудников Национального института океанографии под руководством доктора Дикона.

---

## II.

# *Технические средства и методы работы в подводных условиях*

### АППАРАТЫ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Жак Ив Кусто<sup>1</sup>*

Организация использования природных богатств, скрытых на дне морей и океанов, включает три основных этапа: исследование, разведку и эксплуатацию.

Для успешного решения этих трех задач можно использовать три метода, либо каждый в отдельности, либо сочетая их один с другим:

— проведение работ непосредственно с поверхности моря или океана — с судна или плавучей платформы;

— проведение работ с берега с использованием различных средств дистанционного управления;

— проведение работ непосредственно на дне моря или океана силами водолазов, океанавтов или подводников.

Необходимо различать две категории подводных аппаратов (военные и транспортные подводные суда во внимание не принимаются):

1) подводные аппараты, предназначенные для проведения исследовательских работ (например, батискафы или водолазные «блюдца») и оснащенные измерительными или исследовательскими приборами (телевизионная установка, фотокамера, механический лот, спаркер, пробоотборники); аппараты этой категории являются лишь дополнением к исследовательским судам и используются для предварительных исследований и разведки; они не являются предметом настоящей статьи;

2) подводные аппараты или транспортные средства активного действия, оснащенные соответствующими инструментами (а также имеющие на борту, если это возможно, и человека — водолаза или океанавта).

### КЛАССИФИКАЦИЯ

Какие типы подводных аппаратов активного действия могут быть использованы нефтяной промышленностью для морского бурения?

Подводный аппарат активного действия должен пополнить арсенал средств, которыми располагают нефтяники, ни в коей мере не умаляя значения всех прочих методов ведения работ. Новый аппарат должен органически войти в сложные системы уже существующих или находящихся в стадии зарождения средств морского бурения.

Предварительная классификация возможных вариантов аппаратов, разработанная Французским управлением подводных исследований, основана на следующих предположениях:

<sup>1</sup> № 421.

применение технических средств для погружения «до насыщения» с использованием легких газовых смесей позволит океанавтам вести работы на глубине 200, а возможно, и 300 м;

производительность труда океанавта, выполняющего различные операции при помощи инструментов вручную, значительно выше производительности труда оператора, управляющего даже самыми совершенными инструментами с борта подводного аппарата.

На основании этих предпосылок можно сделать следующий вывод: аппараты активного действия, работающие на глубине до 300 м, должны прежде всего иметь на своем борту экипаж, состоящий из океанавтов, а при глубине свыше 300 м (до 4000 м и более) можно использовать на их борту лишь телеуправляемые инструменты.

Изложенные соображения позволяют предполагать возможность создания по крайней мере семи типов аппаратов активного действия, объединяемых в две категории, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Тип аппарата	Модель	Обозначение
<p>А. Подводные аппараты с экипажем океанавтов на борту (глубина погружения до 300 м)</p> <p>В. Подводные аппараты, оснащенные усовершенствованными инструментами (глубина погружения 3000—4000 м)</p>	<p>1. Малолитражный грузовой автомобиль с легким корпусом, заполненным водой, предназначенный для обслуживания промысла.</p>	A11
	<p>2. Несколько более тяжелый герметизированный аппарат с корпусом, не заполненным водой, давление внутри которого поддерживается равным давлению окружающей воды:</p>	A21
	<p>а) плавучая модель;</p>	A22
	<p>б) тяжелая модель, передвигающаяся по дну</p>	
	<p>3. «Аржиронет» — подводный аппарат, несущий «дом», т. е. часть его корпуса может выдерживать давление, равное давлению окружающей среды:</p>	A31
	<p>а) легкая модель, отправной базой которой является сопровождающее судно;</p> <p>б) модель с большим радиусом действия, базирующаяся в порту</p>	A32
<p>1. Модель, отправной базой которой является сопровождающее судно.</p>	B11	
<p>2. Тяжелая модель, базирующаяся в порту</p>	B12	

Примечание. Французское управление подводных исследований рассмотрело конструктивные решения A11, A21 и A22 и приступило к разработке конструкции B12. Подводный аппарат типа A32 находится в стадии строительства.

## ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РАБОТУ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

### Тяга

Среди современных источников мощности электрические свинцовые аккумуляторы, дающие 40 вт·ч на килограмм, не имеют себе равных в отношении безотказности, срока службы и экономичности. Они могут работать в масле под давлением вне корпуса судна, в результате чего их удельный вес уменьшается почти вдвое. Именно ими в большинстве

случаев предпочитают пользоваться, несмотря на недавнее освоение более современных источников мощности.

Термоаккумуляторы, использующие, например, теплоту плавления гидроксида лития или окиси алюминия и цикл Стерлинга, теоретически могут вырабатывать мощность более 200 *вт·ч* на килограмм. Их можно использовать при очень высоких режимах нагрузки. Однако эти аккумуляторы еще находятся в стадии изучения и их применение в настоящее время сопряжено с большим риском вследствие возможности несчастных случаев.

Миниатюрные ядерные реакторы, работающие в сочетании с турбинами ртутного пара, имеют то преимущество, что при использовании их радиус действия подводного аппарата становится практически неограниченным, так как мощность в состоянии обеспечить не только тягу, но и очистку дыхательной газовой смеси и операции по опреснению морской воды. Их стоимость выражается астрономическими цифрами, но в скором времени, она по-видимому, понизится. Однако доступ судов с ядерными двигателями в большинство торговых и пассажирских портов и даже приближение к ним запрещены.

В недалеком будущем представят большой интерес топливные элементы, особенно такие, в которых будет использоваться жидкое топливо. На том же основании, что и аккумуляторные батареи, выбранный источник мощности, а также двигатели, реле и прочее тяжелое оборудование будут размещаться вне корпуса. Подобное решение вполне оправдало себя на батискафах и водолазных «блюдах»: оно увеличивает безопасность и уменьшает объемный вес.

Так же, как и на исследовательских подводных аппаратах, для достижения большого радиуса действия или высокой скорости предпочтительнее использовать гребной винт, имеющий больший к.п.д. по сравнению со струей воды, хотя она и обеспечивает более высокую маневренность и безопасность (риск зацепления значительно меньше).

Так как обзорность (прямая или косвенная), очевидно, не зависит от массы или скорости подводного аппарата, из соображений безопасности необходимо, чтобы аппарат располагал значительной мощностью для мгновенного включения заднего хода.

## Проведение работ. Инструменты

Роль инструмента всегда велика. Когда работы ведутся на такой глубине, которая не позволяет океанавту покинуть аппарат, инструмент приобретает особенно большое значение. При помощи инструментов прилагаются силы или пара сил к находящимся снаружи объектам. Однако по закону противодействия и сам подводный аппарат подвергается действию этих сил. Чтобы оказать им сопротивление, одной только силы двигателя недостаточно. В составе оборудования для выполнения несложных работ, кроме трех «рук», при помощи которых можно работать различными инструментами, должны находиться три устройства, которые обеспечивали бы противодействие подводного аппарата действующим на него в процессе работы силам.

Предстоит еще большая работа по усовершенствованию инструментов для работы под водой и наибольшему упрощению их конструкций.

## Видимость и управление

В погруженном состоянии управление аппаратом осуществляется при помощи приборов. Вблизи дна или на месте выполнения работ рулевой должен иметь прямую видимость; она полностью поглощает его

внимание. Рулевой не может обойтись без помощника, в распоряжении которого находятся различные источники информации (приборы, сонар, телевидение и т. п.). Наиболее важную информацию помощник передает рулевому.

## Средства связи и навигация

Телефонная связь, осуществляемая путем модуляции сонарных частот, возможна лишь вблизи вертикали подводного аппарата (в пределах конуса с углом при вершине 20—30°) или в его горизонтальной плоскости. Связь с поверхностью может быть надежной только при условии, если судно находится в непосредственной близости от вертикали подводного аппарата. Связь по горизонтали с базой, расположенной на дне, будет безотказной на протяжении нескольких морских миль.

Проблемы навигации подводного аппарата активного действия практически и вполне экономично разрешены при помощи акустических ориентиров и акустической системы самонаведения. При необходимости система акустических ориентиров может быть размещена довольно близко от системы радиомаяков на поверхности.

### КРАТКОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

#### Малолитражный грузовой автомобиль А-11 для обслуживания промысла

Представим себе базу с шестью океанавтами, расположенную, например, на глубине 80 м в центре подводного нефтяного промысла, нормальную работу которого и техническое обслуживание она должна обеспечить, а в случае необходимости выполнить также и ремонт. На базе имеются жилое помещение и мастерская, служащая также и гаражом и станцией обслуживания для двух автомобилей А-11.

Малолитражный автомобиль А-11 представляет собой самоходный «ящик с инструментами», как и специальные грузовики, обслуживающие скважины на суше. На нем под негерметизированным, заполненным водой укрытием обтекаемой формы могут находиться два или три океанавта, одетые в водолазные костюмы.

Крейсерская скорость А-11 не менее 10 км/ч. Радиус действия — 60 км.

Навигация осуществляется посредством акустического самонаведения от одного ориентира к другому.

С базой поддерживается постоянная телефонная связь. Благодаря особым условиям безопасности, которые созданы для океанавтов, они не должны подниматься на поверхность даже в случае бедствия. Поэтому аппарат А-11 должен иметь независимый резервный двигатель, который обеспечивал бы возвращение на базу в любом случае. Аппарат А-11 имеет установку, поставляющую океанавтам кислород, даже если работы ведутся на незначительном расстоянии от подводного аппарата. Автономные кислородные приборы с замкнутым циклом применяются в случае неисправности установок.

Водоизмещение — около 8 т плюс 2—3 т инструментов.

**А-21.** Многоместный герметизированный, не заполненный водой подводный аппарат, давление в котором равно давлению окружающей воды, позволяет экипажу, после того как он покинет его, выполнять различные работы, пользуясь кислородными приборами. Подобный аппарат не предназначен для проведения работ с поверхности: поэтому он должен иметь на своем борту обладающие значительным весом и объемом резервуары с запасом сжатых газов, смешанных в различных пропорциях в зависимости от глубины погружения. Всякое изменение глубины погружения связано со значительным поступлением воды или значительной потерей газа либо со сложными маневрами; кроме того, управление аппаратом в условиях высокого и переменного давления представляет немалые трудности и чревато еще мало изученными опасностями.

Герметизированный, не заполненный водой подводный аппарат скорее следует рассматривать как «сухой» вариант описанного выше малолитражного грузового автомобиля А-11.

Однако достоинства аппарата А-21 весьма относительны. Его экипаж, находясь в помещении, не заполненном водой, затрачивает много времени на вход, выход и экипировку. При равных технических характеристиках с А-11 его стоимость намного выше. Степень безопасности одинакова. Двигатели, оборудование, технические данные аппарата примерно те же, что и у заполненного водой «грузовика» А-11.

**А-22.** В некоторых случаях, требующих проведения длительных работ (например, при бурении большого числа геологических скважин в очень пологой зоне средней протяженности), особенно в суровых условиях ветра, течений и волнения, целесообразно пользоваться не подводным аппаратом, отрывающимся от дна и плывущим к следующему пункту, а самоходной неплавучей мастерской, представляющей собой нечто вроде тяжелого танка, передвигающегося по дну. Вместо того чтобы периодически возвращаться подобно подводному аппарату на свою базу, танк выполняет свою работу (например, в течение целого года), не поднимаясь на поверхность. Источником энергии для него служит непотопляемый генераторный поплавок, с которым он связан электрокабелем, обладающим высокой прочностью при растяжении.

При помощи балласта вес танка перед тем, как он отправится в путь, может быть уменьшен — в часы, когда течение ослабевает, или значительно увеличен для лучшего его закоривания на стоянке.

Заправку поплавка и танка периодически выполняют с вспомогательного судна. Для смены бригад используются подъемники, в которых люди находятся под давлением. Снимается давление на суше или на борту судна в большом кессоне, куда бригада попадает из подъемника.

Танк А-22 должен иметь два отсека: жилой и служебный. Отсеки соединены шлюзовыми камерами для безопасности при загрязнении атмосферы мастерской.

Технические данные: внутренний объем — 120 м<sup>3</sup>, максимальный вес — 160 т, объемный вес может меняться в пределах 5—40 т, максимальная скорость — 2 км/ч.

**«Аржиронет» А-32.** «Аржиронет» — аппарат для выполнения подводных работ с большим радиусом действия — будет иметь несколько назначений. Он может покрывать расстояние в 1000 км на поверхности моря и 250 км в погруженном состоянии. Его экипаж будет состоять

из 8 человек, включая двоих океанавтов. Прочный корпус позволит ему погружаться на глубину 1000 м при запасе прочности, равном 2. До этой глубины можно использовать инструменты для отбора проб.

Часть корпуса может быть изолирована от остальной части подводного аппарата и находится под давлением. Таким образом, «Аржиронет» будет нести в себе настоящий «подводный дом»; запасы кислорода и гелия позволят двоим океанавтам работать на глубине до 200 м в течение 8 дней.

Для выполнения работ, не требующих применения труда океанавтов, можно будет прибегнуть к услугам водолаза, выход и возвращение которого обеспечиваются при помощи небольших шлюзовых камер. Водолаз работает под визуальным контролем своих товарищей, находящихся в условиях атмосферного давления.

Мы рассматриваем «Аржиронет» как своего рода «абсолютное орудие», позволяющее выполнять самые различные работы на большом расстоянии от портов и не нуждающиеся в сопровождающем судне. Продолжительность автономной работы подводного аппарата (обычно 8—10 дней) может быть в случае необходимости увеличена (длительные работы вдали от базы в районе, застигнутом непогодой) путем организации периодических встреч с заправочным судном без подъема «Аржиронета» на поверхность.

С технической точки зрения предложенные решения являются классическими и экономичными.

Аппарат, имеющий компактную форму, сохранит превосходную маневренность без особого ущерба для скорости (6 узлов). Водоизмещение не будет превышать 150 т. Однако вес установленных на «Аржиронете» аккумуляторов все же составит 32 т. Электродвигатели будут отличаться широкими возможностями изменения режима (от 6 до 240 л. с.) и значительными сверхмощностями при временном обратном ходе.

Дизель-генераторный агрегат с дистанционным управлением на 220 ква будет помещен в отдельном корпусе. При осмотре или ремонте корпус и агрегат можно заменить в течение 24 ч.

Второй генераторный агрегат на 75 ква с турбиной может быть отделен от подводного аппарата и использован в случае очень длительного погружения как поверхностный генераторный поплавок.

Удаление углекислого газа и кондиционирование воздуха будут обеспечены, как и при проведении опыта «Прекоинтернет 3», при помощи небольшого криогенератора. Эта установка будет частично восстанавливать гелий по окончании работы океанавтов.

Комфортабельность помещений и эстетичность отделки составляют предмет особых забот, так как опыты «Прекоинтернет» показали важность влияния этих факторов на психику океанавтов, а следовательно, и подводников, которые фактически находятся в еще более суровых условиях «одиночного заключения», чем океанавты.

*Аппараты В-11 и В-12 для глубинного погружения, оснащенные инструментами.* Потребуется несколько лет исканий, прежде чем станет возможной разработка удовлетворительного проекта таких аппаратов активного действия. Подобно тому, как в основу конструкции «Аржиронет» была положена идея создания определенных условий для океанавтов, так и аппараты В-11 и В-12 будут сконструированы на основе использования эффективных инструментов, которые еще не существуют и возможности и условия применения которых нам не известны.

Возможности использования подводных аппаратов активного действия при разработке морских нефтяных месторождений с учетом современного технического прогресса приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Процессы	Континентальный шельф (и материковый склон)	Абиссальные равнины
Разведка	$S - (P) - (V)$	$S - (J)$
Бурение	$S - (P) - (J)$	$S - (J)$
Заканчивание	$S - T - (P) - (J)$	$S - T - (J)$
Эксплуатация	$T - O - J$	$T - J$
Техническое содержание и ремонт	$(T) - J - P$	$(T) - J$
Снабжение промыслов	$S$ или $J$	
Хранение (склады)	Строительство силами $O$	
Транспортирование	Осуществляется при помощи $S$ или силами $O$	$S - J$

Условные обозначения:  $S$  — технические средства, управление которыми осуществляется непосредственно с судна или платформы, находящейся на поверхности;  
 $T$  — различные телеуправляемые устройства или инструменты;  
 $P$  — водолазы, погружающиеся с поверхности;  
 $O$  — океанавты, работающие на подводных базах;  
 $V$  — исследовательские суда;  
 $J$  — подводные аппараты активного действия.

Скобки означают, что соответствующие технические средства не играют ведущей роли, т. е. используются в целях контроля, обслуживания и т. п.

## ПОПЛАВКИ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

*Жак Пикар*<sup>1</sup>

Плавающие платформы в виде больших поплавков, предназначенные как для океанографических исследований, так и для военных целей, вызывают в последние годы все возрастающий интерес.

Два проекта уже осуществлены. Это американский поплавок «Флип» и лаборатория-поплавков, построенная Французским управлением подводных исследований по инициативе Всеобщего представительства научных и технических исследований. Эти конструкции, основанные на одном и том же принципе, имеют совершенно различное назначение. После краткого описания каждой из них мы попытаемся определить, что вообще представляет собой подобный поплавок и каковы возможности его использования для разведки нефтяных месторождений.

«Флип» (Flip — переворот) (рис. 1). Особенность этой конструкции заключается в том, что под действием балласта она может перейти из горизонтального положения в вертикальное (рис. 2). Ее корпус имеет цилиндрическую форму и используется под балласт. Головная часть корпуса в форме носа судна позволяет функционировать конструкции в горизонтальном положении подобно кораблю.

Снаряд не имеет собственного хода и дрейфует, увлекаемый морскими течениями, в вертикальном положении; однако система гребных винтов обеспечивает ему направление в соответствии с программой. Водоизмещение его в вертикальном положении около 1800 т, в горизонтальном 600 т. Собственный период вертикальных колебаний 27 сек.

<sup>1</sup> Французское управление подводных исследований, Монако. № 414.

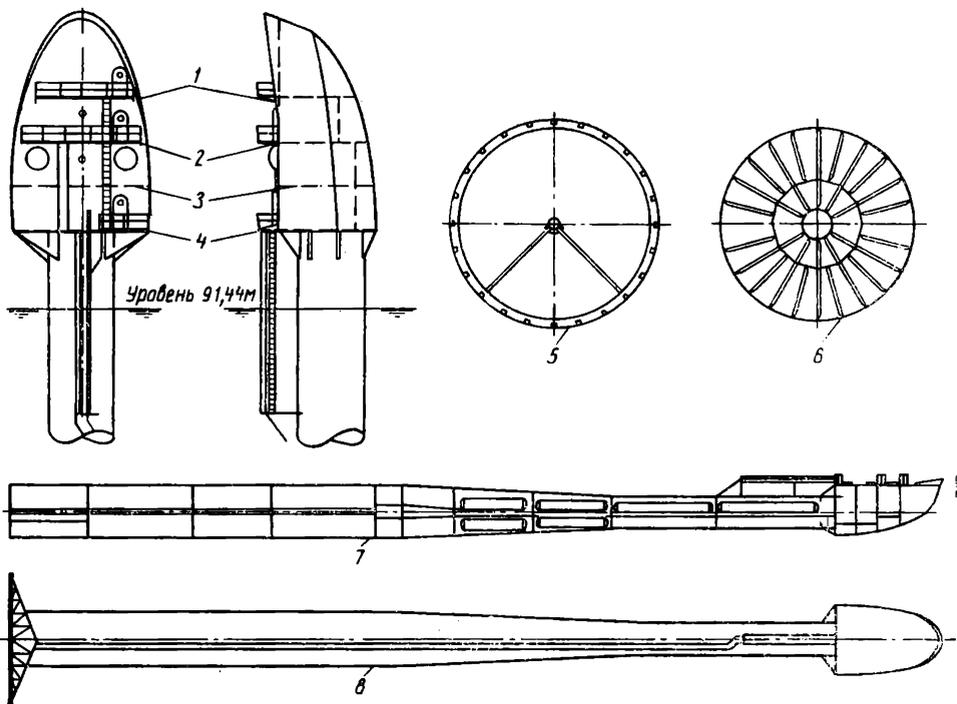


Рис. 1. «Флип».

1 — лаборатория; 2 — помещение для электронных приборов; 3 — жилые помещения; 4 — машинное отделение; 5 — типовой каркас; 6 — типовая переборка; 7 — вид сбоку (продольный разрез); 8 — вид сверху.

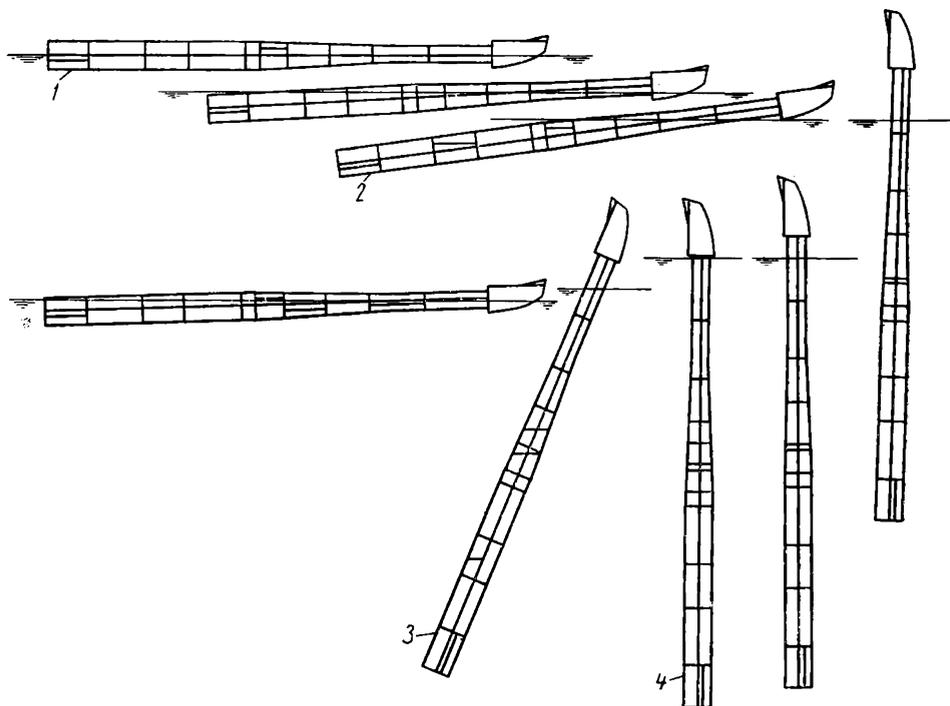


Рис. 2. Переход «Флипа» из горизонтального положения в вертикальное.

1 — горизонтальное положение; 2, 3 — неустойчивое положение; 4 — вертикальное положение.

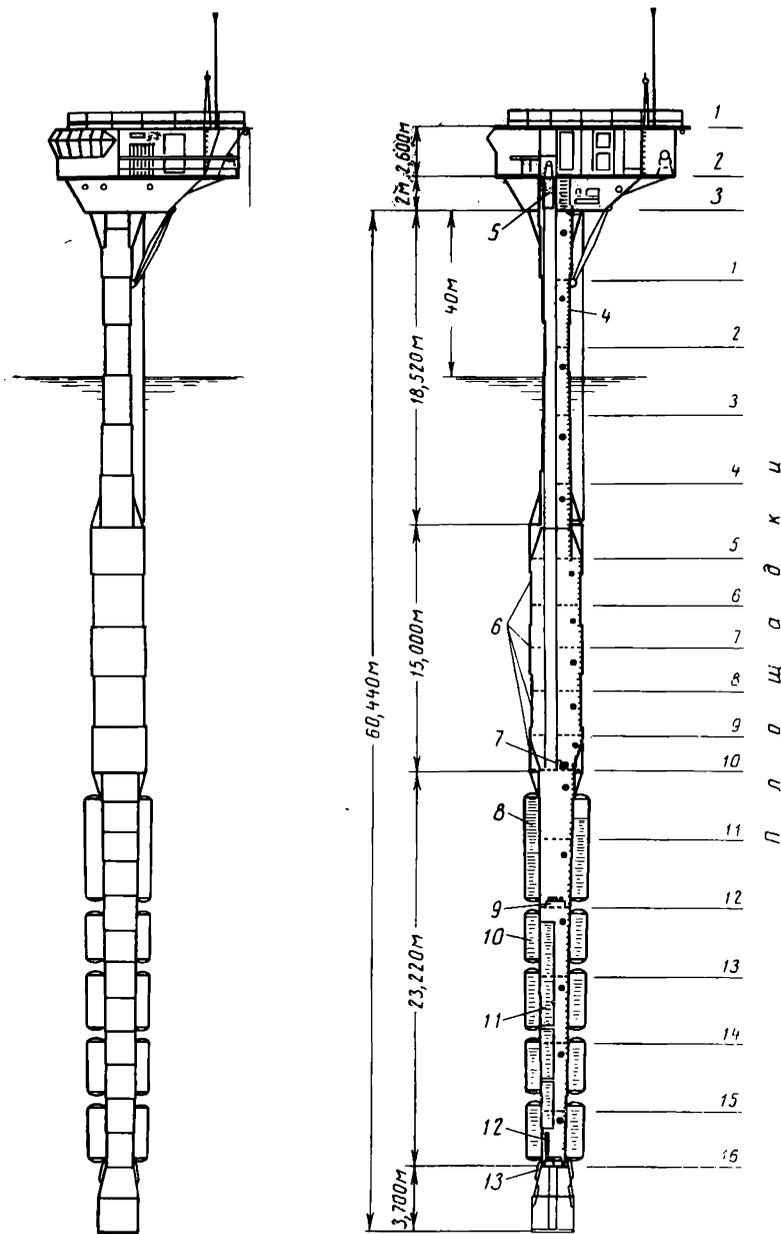


Рис. 3. Ползавок-лаборатория.

1 — навигационный мостик; 2 — палуба А; 3 — палуба В; 4 — лестница и трассы кабеля; 5 — лифт; 6 — подводные лаборатории; 7 — компрессоры; 8 — газойль; 9 — насос для газойля; 10 — балласт; 11 — пресная вода; 12 — погружной насос; 13 — насос для морской воды.

**Поплавок-лаборатория** (рис. 3) устанавливается на якорь в определенном районе на продолжительное время. На место работ ее доставляют в вертикальном положении буксиром. Она имеет твердый балласт.

Корпус лаборатории-поплавка состоит из трех цилиндров, в одном из которых находятся жилые помещения, а в остальных — лаборатории. Они связаны между собой лифтом.

В верхней части сооружения расположены две «палубы» площадью  $60 \text{ м}^2$  и подсобная площадка размером  $20 \text{ м}^2$ .

Водоизмещение поплавка-лаборатории  $250 \text{ т}$ ; величина  $(\rho - a)^1$  около  $7 \text{ м}$ ; собственный период вертикальных колебаний  $22 \text{ сек}$ .

Мы привели краткое описание двух конструкций, относящихся к типу больших поплавков. Теперь остановимся на критериях, уравнениях и ограничениях, которым подчиняются подобные конструкции.

### МОРСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛЬШИХ ПОПЛАВКОВ. ПРИЧИНЫ ОСТОЙЧИВОСТИ ТРУБКИ ФРУДА В УСЛОВИЯХ ВОЛНЕНИЯ

Распределение гидростатических сил, действующих на трубку, вертикально погруженную в воду, показано на рис. 4, а. Гидростатическое давление синусоидальной волны изменяется в зависимости от глубины теоретически значительно меньше, чем на поверхности (экспоненциаль-

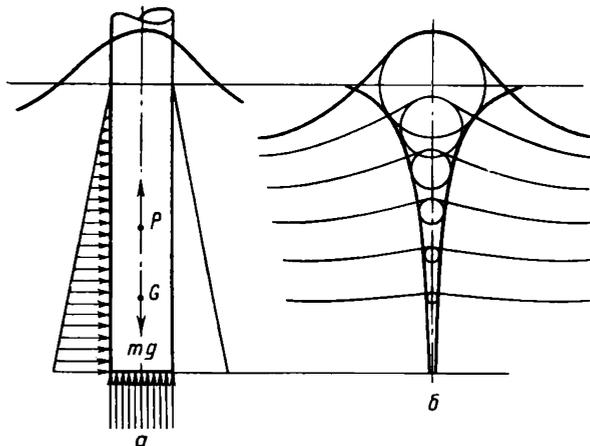


Рис. 4. Распределение гидростатических сил.  
а — силы, действующие на погруженную трубку; б — «цилиндрическое» изображение волны и ее изменение в зависимости от глубины (изменение давления и амплитуды).

ное затухание) (рис. 4, б). Изменение давления на поверхности соответствует изменению архимедова давления на объем, попеременно погружающийся в волну; архимедово давление невелико в сравнении с общим погруженным объемом. Оба эти положения в основном и обуславливают остойчивость. Кроме того, довольно легко достигнуть значительной величины  $(\rho - a)$ , если расположить центр тяжести и балласт в нижней части трубки. Влияние высокого значения  $(\rho - a)$  выражается в размахе бортовой качки, период и амплитуда которой тем меньше, чем выше значение  $(\rho - a)$ . Лаборатория-поплавок имеет величину  $(\rho - a)$  около  $7 \text{ м}$ , однако она легко может быть доведена до  $15\text{--}20 \text{ м}$ . Для сравнения следует напомнить, что значение  $(\rho - a)$  классических судов составляет около  $0,5 \text{ м}$ .

<sup>1</sup> Величина  $(\rho - a)$  представляет собой расстояние между центром тяжести и центром приложения архимедова давления, который перемещается в зависимости от угла бортовой качки по кривой метацентров.

Табл. 1 показывает поведение лаборатории-поплавка при различной волне.

Таблица 1

Период волнения, сек	Высота волны, м	Амплитуда колебаний лаборатории-поплавка, м	Ускорение, g
4	1	0,04	0,01
	2	0,08	0,02
	3	0,11	0,03
6	1,5	0,14	0,015
	3	0,27	0,03
	5	0,46	0,05
8	2	0,35	0,02
	4	0,7	0,04
	6	1,05	0,06

В табл. 2 приведены показатели функционирования поплавка водоизмещением 700 т с жидким балластом при различной волне.

Таблица 2

Период волнения, сек	Высота волны, м	Амплитуда колебаний поплавка, м
4	1	0,02
	2	0,05
	3	0,075
6	1,5	0,085
	3	0,17
	5	0,28
8	2	0,21
	4	0,42
	6	0,63

### ОПАСНОСТЬ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Поперечные колебания при бортовой качке

Мы только что установили значение высокого  $(\rho - a)$ . Для конкретизации нашего вывода можно допустить в первом приближении, что трубка ведет себя подобно сложному маятнику, качающемуся около центра вращения, который сам перемещается, но который можно считать совпадающим с центром тяжести. Тогда период

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mg(\rho - a)}}, \quad (1)$$

где  $J$  — момент инерции;  $m$  — масса.

Амплитуда

$$\alpha = \frac{F_0}{K - J\omega^2}, \quad (2)$$

где  $F_0$  — максимальный восстанавливающий момент;  $K$  — единичный восстанавливающий момент;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

При указанных значениях ( $\rho - a$ ) период боковой качки составляет 12—18 сек, а угол 1—2°, и совершенно очевидно, что если ( $\rho - a$ ) стремится к нулю, то  $T$  стремится к бесконечности вследствие увеличения угла качки до тех пор, пока снаряд не опрокинется. Это явление может произойти в условиях, когда верхняя часть слишком нагружена.

В своем упрощенном расчете мы пренебрегли демпфированием, которое вызывается перемещением трубки в воде, а также массой воды, вовлекаемой в движение трубкой и увеличивающей массу снаряда в формуле периода. Оба этих фактора теоретически улучшают поведение трубки.

### Вертикальные колебания

В результате волнения трубка испытывает действие чередующихся вертикальных сил различной частоты, в упрощенном виде имеющих синусоидальную форму. Вместе с тем трубка ведет себя подобно массе, подвешенной на пружине, и период ее собственных вертикальных колебаний равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (3)$$

где  $k$  — коэффициент единичного восстанавливающего движения, равного вертикальной силе, действующей на поплавок при максимальной амплитуде волнения 1 м.

Таким образом, становится очевидным, что в случае принудительных колебаний может возникнуть явление резонанса, когда их период близок или равен периоду собственных колебаний, и это явление тем заметнее, чем больше амплитуда принудительных колебаний. Волны, амплитуда которых достигает нескольких метров, имеют частоту от 5 до 9 сек в зависимости от характера волнения; следовательно, поплавок должен иметь высокий собственный период колебаний (поплавок-лаборатория имеет период 22 сек, «Флип» — 27 сек). Тогда под действием принудительных толчков он будет иметь теоретически ту же частоту колебаний, что и толчки, но при амплитуде

$$x = \frac{F}{k - M\omega^2}, \quad (4)$$

где  $F$  — высота волны  $\times k$ ;  $k$  — коэффициент единичного восстанавливающего движения;  $M$  — масса поплавка и увлекаемой им воды;  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ;  $T'$  — период принудительных колебаний.

Данные поплавок-лаборатории в достаточной степени подтверждают теоретические расчеты (см. табл. 1): волнение при периоде 6 сек практически вызывает вертикальное колебание, амплитуда которого составляет 0,1 амплитуды волнения.

### Чувствительность к вертикальным изменениям нагрузки

Причиной ее, очевидно, является небольшое сечение трубки на уровне поверхности. Так, поплавок-лаборатория погружается на 1 м под действием нагрузки 2,5 т, в то время как для такого же погружения «Флипа» нужна нагрузка 11 т. Конечно, размеры аппарата могут быть увеличены, но, как бы там ни было, трудно представить себе сечение, диаметр которого превышал бы 6—7 м, и, следовательно, такой аппарат, который при увеличении нагрузки примерно на 40 т не погру-

жался бы на 1 м. В самом деле, если сечение на уровне ватерлинии превышает  $40 \text{ м}^2$ , то для сохранения достаточно большого собственного периода колебаний аппарат должен иметь значительное водоизмещение: около 4000 т [см. формулу (3)]. Нетрудно понять, что при таком размере аппарата он может оказаться нерентабельным и неудобным в эксплуатации.

Следует отметить, что при погружении неизбежно смещается центр тяжести, к тому же в нежелательном направлении, если нагрузка приложена к верхней части аппарата.

Чувствительность к вертикальным нагрузкам является, как мы увидим в дальнейшем, основным препятствием для использования подобных платформ при бурении скважин и эксплуатации нефтяных месторождений.

### Допустимый вес верхней части

Чтобы поплавок обладал боковой устойчивостью, необходимо, как мы уже видели, высокое значение  $(\rho - a)$ , а для этого нужно, чтобы вес был сконцентрирован в нижней части, а объем — в верхней, при этом, однако, объем первых десяти метров конструкции, находящихся под водой, не должен быть значительным. Естественно, в этих условиях следует избегать концентрации веса в верхней части и в любом случае учитывать его максимальный предел.

Хотя каждая конструкция представляет собой частный случай и имеет свою собственную разрешающую способность, можно установить для полного веса верхней части предел около 10% водоизмещения конструкции, т. е. если мы хотим, чтобы вес верхней части был 300—500 т, мы должны построить поплавок водоизмещением от 3000 до 5000 т. Возникающую при этом проблему себестоимости можно разрешить частично путем использования экономичного балласта, например морской воды. Следует учесть также и то, что поплавок водоизмещением 5000 т представляет определенные трудности в отношении управления и технического содержания.

### Распределение веса

Каждая конструкция имеет свое особое назначение, поэтому трудно говорить о каких-либо тенденциях или делать выводы на основании существующих единичных примеров. Ограничимся поэтому указанием распределения веса в трех следующих случаях.

1. «Флип» (водоизмещение 1800 т): сталь 530 т, твердый балласт (бетон) 70 т, жидкий балласт 1200 т.

2. Поплавок-лаборатория (водоизмещение 250 т): корпус и оборудование 110 т, твердый балласт 100 т, жидкий балласт 40 т.

3. Проектируемый метеорологический поплавок (водоизмещение 700 т): корпус и оборудование 220 т, твердый балласт 200 т, жидкий балласт 280 т.

### Установка на якорь

В отличие от неподвижной платформы, установленной на дне на специальных опорах, поплавок должен быть поставлен на якорь подобно классическому судну; воздействие ветра на поплавок оказывается слабее, чем на судно, при одинаковом их водоизмещении, однако это преимущество с избытком нивелируется влиянием морских

течений. Следовательно, для достижения относительно точного географического положения поплавок необходимо поставить его на якорь при помощи трех или даже четырех якорных цепей. Но даже в этих условиях при традиционном способе установки на якорь трудно определить положение поплавка с большей точностью, чем  $\pm 5$  м на 100 м глубины. Большую точность можно получить при использовании системы динамической стабилизации, хотя при этом требуемая мощность значительно повышается с увеличением размеров снаряда.

Необходимо также отметить одну особенность поплавков, которая затрудняет проведение некоторых работ и которую следует принимать во внимание при выборе места якорной стоянки: труба имеет очень малую инерцию при вращении вокруг своей вертикальной оси и не встречает эффективного сопротивления своему вращению; кроме того, довольно трудно создать поплавок и его головную часть с наружными поверхностями вращения, которые в значительной степени снижали бы влияние сил, возбуждаемых ветром и течением; поэтому такие поплавки ведут себя подобно флюгеру. В этом случае можно также рассмотреть возможности использования динамической системы установки в заданное положение, которая не потребовала бы, вероятно, больших расходов.

### Доставка к месту работ

Доставка к месту работ осуществляется буксиром, при этом поплавок может занимать или вертикальное, или горизонтальное положение; в последнем случае при желании можно построить автономный снаряд.

Буксирование в вертикальном положении применяют в некоторых особых случаях: когда расстояние невелико, когда по каким-либо причинам используется только твердый балласт или, наконец, когда горизонтальное положение связано с конструктивными или архитектурными проблемами. При таком буксировании скорость едва ли будет превышать 2 узла. Однако если придать подводной части цилиндра обтекаемую форму, можно достичь скорости 3 и даже 4 узла.

Для буксирования в горизонтальном положении конструкцию, очевидно, надо предварительно опрокинуть, для этого центр тяжести и центр приложения архимедова давления должны совпасть. Среди средств, основанных на различных комбинациях относительных значений и размещения веса и объема, существует один экономический и удобный способ, заключающийся в использовании морской воды в качестве балласта: достаточно закачать или спустить воду, чтобы вызвать опрокидывание конструкции. Главное неудобство подобного решения состоит в том, что этот жидкий балласт занимает большой внутренний объем. В целях сохранения достаточного свободного объема, с одной стороны, и увеличения значения  $(\rho - a)$ , с другой, можно предложить «смешанное» решение, используя также и твердый балласт. Выбрав значение  $(\rho - a)$  и соблюдая условие опрокидывания, определяют соотношение жидкого и твердого балласта и, наконец, исходя из минимального необходимого свободного объема, устанавливают размеры снаряда.

Горизонтальное положение поплавок обычно является детерминантом его конструктивного размера. Уклоны форштевня и ахтерштевня относительно киля  $\frac{L}{D}$  достигают 25—30 против 14 — значения, которое принято считать предельным в кораблестроении. При горизонтальном положении поплавок, кроме специальных проблем, приходится разрешать проблемы классического судна, к которым относятся бортовая и килевая качка, «поперечная» кривая метацентров и др.

## ПРИМЕНЕНИЕ СУДОВ ТИПА ПОПЛАВКОВ ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ОТКРЫТОМ МОРЕ

Совершенно очевидно, что «морские» качества поплавков создают возможность их использования главным образом для океанографических исследований, а также для метеорологических наблюдений в качестве маяков и радиомаяков, релейных радиостанций, телевизионных ретрансляционных станций, радаров и т. п.

Почему бы подобными сооружениями не заинтересоваться нефтяникам, ведущим бурение в море?

Требования и технические условия разведки нефтяных месторождений в открытом море применительно к возможностям и ограничениям поплавков

*а. Буровой поплавок.* Буровики обратили, конечно, внимание на отмеченную в предыдущем описании высокую чувствительность поплавков к изменению нагрузки, тогда как буровая установка, наоборот, отличается способностью выдерживать самые различные нагрузки. Эти две тенденции находятся в значительном противоречии. При средней нагрузке на крюке мы должны учитывать влияние трех сил:

— веса колонны бурильных труб, изменяющегося в зависимости от глубины скважины и достигающего 150—200 т; иногда эти трубы удерживаются только на крюке, а в некоторых случаях они частично опираются на дно и их нагрузка на крюк уменьшается;

— трения бурильных труб о стенки скважины, величина которого меняется в пределах 20—30 т;

— наконец, самых различных непредвиденных нагрузок, которые могут возникнуть, например, при заклинивании бурового инструмента и достигают 200 т, помимо веса бурильной колонны.

Именно этот последний вид нагрузок мешает в основном использованию поплавка как платформы для бурения. Действительно, очень трудно себе представить даже при достаточном объеме балластных отсеков возможность почти мгновенного их заполнения или освобождения от воды для компенсации этих переменных нагрузок. Возникла мысль устранить это препятствие, установив поплавок на дне или в положение, когда он касается дна; при этом изменение нагрузки компенсировалось бы противодействием грунта. Однако в этом случае речь идет по существу уже не о поплавке в собственном смысле слова, и при помощи новых уравнений равновесия нетрудно установить, что «поплавок» будет иметь значительный угол крена — от 10 до 20° в зависимости от обстоятельств, прежде чем займет положение равновесия, а это недопустимо.

*б. Эксплуатационный поплавок.* Подвижность поплавка относительно его географического местоположения создает некоторые трудности при его использовании для эксплуатации нефтяных месторождений. Как бы ни сложна была эта проблема, она, однако, не ставит под сомнение само определение «поплавков», как в предыдущем случае. Можно создать такую систему заякоривания с установкой поплавка очень близко от дна, при которой угол отклонения не превышал бы 2°; наклон его оси оставался бы в пределах телесного угла, и его можно было бы уменьшить до нескольких градусов. Конечно, эксплуатационное оборудование необходимо приспособить к этому новому виду опоры.

*в. Вспомогательный поплавок.* Хотя в двух предыдущих случаях выявлена нецелесообразность применения больших поплавков или они не представляют особого интереса, практический опыт показывает их удобство и экономичность при использовании для приема обслужива-

ющего персонала и технического или научного оборудования по сравнению с судами, ограниченные возможности которых хорошо известны. На отдаленном нефтяном промысле они могут быть оборудованы под контору, клуб, столовую, спальни, мастерскую, склад или любое другое подсобное помещение.

В заключение можно сказать, что если большие поплавки мало способствуют разрешению проблем бурения на море классическими методами, то в некоторых случаях или при использовании определенных методов они представляют бесспорный интерес.

---

## ПОДВОДНЫЕ АВТОНОМНЫЕ АППАРАТЫ С ЭКИПАЖЕМ

*П. Вильм<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего сообщения — попытаться определить возможности современной техники для создания подводного аппарата с водонепроницаемым и способным выдержать высокое давление помещением для человека.

В первой части мы рассмотрим общие положения, касающиеся конструкции подводного аппарата.

Не вдаваясь в детали теории расчета подводных судов, хорошо известных кораблестроителям, считаем целесообразным познакомить инженеров, работающих над проблемами освоения морских залежей полезных ископаемых и в первую очередь нефтяников, с некоторыми основными принципами сооружения и эксплуатации этих судов.

Во второй части мы опишем известные нам подводные аппараты, разделив их на три совершенно различные группы: аппараты для малых глубин (300—400 м), для средних глубин, характерных для большей части общей поверхности морей и открывающих доступ к континентальному шельфу и к обширным абиссальным равнинам, и, наконец, аппараты для погружения в глубокие океанические впадины, достигающие глубины более 10 000 м.

## 1. ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПОДВОДНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

### 1. Гидростатическое давление

Перед инженером-конструктором подводных аппаратов прежде всего встает проблема сопротивления внешнему давлению. Напомним, что оно пропорционально глубине погружения и возрастает почти на  $1 \text{ кг/см}^2$  через каждые 10 м (в действительности морская вода не является абсолютно несжимаемой и ее плотность увеличивается примерно на  $4 \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^3$  на 1 м глубины).

Выбор материалов, используемых в конструкциях прочных корпусов, является предметом другой статьи<sup>2</sup>. Отметим лишь, что сталь и поныне остается наиболее широко распространенным материалом. Есть основания думать, что в будущем на смену ей придут алюминий, титан или сверхпрочные пластмассы.

<sup>1</sup> Главный инженер по судостроению, Французский институт нефти. № 420.

<sup>2</sup> К. Эльнъози. Материалы для строительства сверхпрочных корпусов подводных аппаратов.

Как и резервуары, предназначенные для хранения жидкостей под давлением, корпус подводного аппарата будет состоять или из частей цилиндров или конусов, либо из сферических сегментов или сфер. Такая геометрическая форма необходима для снятия изгибающих моментов в несущих частях металла.

Представим цилиндр, имеющий длину  $L$ , радиус  $R$  и толщину стенок  $e$ , сделанный из упругого материала с модулем упругости  $E$ . Гидростатическое давление оказывает на подобное тело тройное действие.

1. Прежде всего давление сжимает корпус в трех направлениях, как и любое сплошное тело. Например, относительное продольное сжатие, вызываемое лишь давлением, действующим на оба торца (без учета давления на боковую поверхность), выражается формулой

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{p\pi R^2}{E2\pi Re} = \frac{pR}{2Ee},$$

где  $p$  — гидростатическое давление на данной глубине погружения (если бы цилиндр был сплошным, оно было бы равно  $\frac{P}{E}$ ).

2. Давление создает в любой точке корпуса изгибающий момент, который вызывает деформацию при изгибе и изгибающие напряжения, геометрически накладывающиеся на напряжения сжатия. Для вышеописанного цилиндра степень нагрузки на обшивку при равномерно распределенном давлении приближенно определяется по формуле

$$\sigma = \frac{pR}{e}.$$

(формула имеет силу при достаточно малом значении отношения  $\frac{e}{R}$ ).

3. Если давление достигает некоторой критической величины  $pf$ , называемой критическим давлением потери устойчивости, то равновесная форма, являющаяся результатом сжатия и изгиба, может стать нестабильной. Происходит резкое изменение формы, обычно приводящее к разрушению. Если представить, что цилиндр состоит из ряда поставленных одно к другому колец, и пренебречь влиянием торцов, можно выразить критическое давление следующей формулой:

$$pf = \frac{E}{4} \left( \frac{e}{R} \right)^3.$$

Для расчета оптимального корпуса было бы желательно, чтобы потеря устойчивости происходила лишь в тот момент, когда степень нагрузки обшивки достигает предела упругости  $Re$  использованного материала. Тогда бы мы имели:

$$pe = Re \frac{e}{R} = pf = \frac{E}{4} \left( \frac{e}{R} \right)^3,$$

т. е.

$$\frac{e}{R} = 2 \sqrt{\frac{Re}{E}}.$$

Предположим, что  $Re = 35 \text{ кг/мм}^2$ ;

$$E = 20\,000 \text{ кг/мм}^2.$$

Тогда

$$\frac{e}{R} = \frac{6}{100}$$

и

$$pe = pf = 2,10 \text{ кг/мм}^2.$$

Корпус, построенный на основании этих расчетов, мог бы погружаться на глубину свыше 2000 м, но при радиусе  $R=1$  м толщина стенок составила бы 60 мм и корпус потерял бы плавучесть. Эта проблема и должна быть разрешена при создании подводного аппарата для средних глубин (в том определении, которое мы ему дали выше).

Для подводных аппаратов первой категории, открывающих доступ к континентальному шельфу, единственный способ совместить степень нагрузки обшивки с сопротивлением корпуса потере устойчивости состоит в том чтобы придать обшивке жесткость при помощи поперечных кольцевых поясов, называемых шпангоутами. Шпангоуты противодействуют потере устойчивости.

Для конструкции этого типа характерны три различных вида потери устойчивости: 1) деформация обшивки между шпангоутами; 2) образование складки в какой-либо части или по всей поверхности цилиндра и 3) расплющивание конструкции, когда теряется устойчивость шпангоутов и обшивки одновременно. Следовательно, критические давления во всех трех случаях, казалось бы, должны иметь близкие значения. В действительности же при выборе корпуса с минимальным весом необходимо принимать во внимание различные коэффициенты безопасности с учетом этих трех факторов, что даст возможность сделать окончательный выбор коэффициента безопасности.

Коэффициент безопасности, определяемый как отношение глубины, на которой произошло бы разрушение подводного аппарата (выводится путем расчетов и подтверждается опытами с моделью), к предельной глубине, на которой он может работать, равен обычно 2. Этот коэффициент учитывает несовершенство теории, дефекты материалов, возникающие в процессе их изготовления и использования, и различные неожиданности, которые могут произойти при эксплуатации. В настоящее время должна, очевидно, существовать тенденция, по крайней мере для военных подводных судов, к его уменьшению примерно до 1,5, но само собой разумеется, что эта мера должна сопровождаться чрезвычайно высокой точностью расчетов и изготовления, которая обходится очень дорого. К счастью, с увеличением глубины погружений стали увеличивать толщину стенок корпуса, и дефекты конструкций с круговым сечением проявляются менее резко.

Отметим в заключение, что для достижения очень больших глубин цилиндрический корпус с круговым сечением пришлось заменить сферическим корпусом. Не вдаваясь в детали расчета сферы, подвергающейся действию равномерно распределенного внешнего давления, укажем, что при равном объеме сфера имеет меньший по сравнению с цилиндром вес; критическое давление потери устойчивости сферы намного превышает критическое давление потери устойчивости эквивалентного цилиндра.

## 2. Статическое равновесие подводного аппарата в погруженном состоянии

В связи с тем, что подводный аппарат может передвигаться в трех направлениях, вторая важнейшая проблема, встающая перед инженером, заключается в обеспечении статического равновесия подводного аппарата в погруженном состоянии, т.е. равенства полного веса  $P$  архимедову давлению  $P'$ , равному весу вытесненной аппаратом морской воды:

$$P = P' = dmV,$$

где  $dm$  — плотность морской воды.

Прочность корпуса определяется в соответствии с вышеприведенными положениями, а полный вес  $P$  подводного аппарата и вытесняемый им объем  $V$  обуславливаются проектным заданием.

Существуют два случая:  $P < V$  — подводный аппарат плавает (в пресной воде),  $P > V$  — аппарат тонет. В большинстве осуществляемых проектов полный вес конструкции оказывается меньше полного водоизмещения и статическое равновесие достигается при помощи балласта.

С увеличением глубины погружения корпус становится более тяжелым, и приходится изыскивать возможности увеличения плавучести. Например, на батискафах для компенсации объемного веса корпуса применяются емкости, заполненные бензином и уравновешенные с давлением окружающей среды. В одном из помещаемых в этом сборнике докладов<sup>1</sup> указаны различные материалы, которые создают дополнительную плавучесть: пластмассы, стеклянные пустотелые шарики, жидкости легче воды, например, бензин, аммиак и пр.

Обладание этой дополнительной плавучестью уже само по себе могло бы внести различие между подводными аппаратами и батискафами, но подобное различие не будет достаточно четким, потому что подводный аппарат всегда является в некотором роде батискафом. Этот принцип уже использовался при конструировании первых подводных судов, часть горючего которых хранилась в наружных отсеках.

Чтобы аппарат мог перейти из положения надводного плавания в положение плавания в погруженном состоянии, обычно заполняют морской водой специально предусмотренные для этого камеры, называемые балластными отсеками. Эти камеры могут быть выполнены из сравнительно тонкого листового материала при условии заполнения их надлежащим образом и уравновешивания с давлением окружающей среды через отверстие, которое во время погружения будет оставаться постоянно открытым.

Когда аппарат находится в погруженном состоянии, равенство  $P = dmV$  можно поддерживать лишь регулированием веса  $P$  в соответствии с изменениями плотности  $dm$  и объема  $V$ .

Плотность морской воды меняется в довольно значительных пределах в зависимости от температуры, солености и давления.

Объем корпуса уменьшается с увеличением давления.

Полный вес можно изменять, заменяя некоторые запасы (например, горючее подводных военных судов, содержащееся в наружных отсеках, или выпускаемый бензин батискафов) морской водой после их потребления или выпуска наружу.

Статическое равновесие можно поддерживать при помощи жидкого балласта, изменяя количество морской воды в прочных резервуарах, называемых регулировочными. Как мы увидим, и в этом случае регулировать статический вес с увеличением глубины погружения можно лишь при помощи новых систем уравновешивания, о которых речь пойдет в разделе «Навигация в погруженном состоянии».

В конструкциях военных подводных судов большая часть балласта предусматривается в килевой части и его относительный вес, который может достигать 5—6% водоизмещения при надводном плавании, достаточно велик, чтобы обеспечить судну необходимую остойчивость в погруженном состоянии. Непременным условием равновесия подводного аппарата является расположение центра приложения архимедова давления над центром тяжести. Величина выравнивающего момента для угла крена  $\theta$  выражается равенством

$$M = PC\bar{G} \sin \theta,$$

<sup>1</sup> Ж. Молляр. Исследование свойств материалов для строительства поплавков.

где  $\overline{CG}$  — расстояние между центром тяжести и центром приложения архимедова давления (метацентрический радиус).

Для судов надводного плавания этот момент определяется равенством

$$M = P(\rho - a) \sin \theta \rho,$$

поскольку метацентрический радиус соответствует углу крена, рассматриваемому в зависимости от инерции площади ватерлинии. Совершенно очевидно, что при погружении подводного аппарата ватерлиния исчезает.

Для подводного аппарата выравнивающий момент всегда будет иметь незначительную величину; в частности, для одного и того же угла крена момент будет одинаков как для продольного, так и для поперечного крена. Малый момент остойчивости подводного аппарата в погруженном состоянии придает ему высокую маневренность и облегчает изменение глубины погружения, так как аппарат получает продольный крен.

### 3. Навигация в погруженном состоянии

Состояние погружения недостаточно стабильно, поэтому нужно располагать соответствующими средствами, чтобы сохранять требуемую глубину погружения и угол продольного крена. Эти же самые средства позволяют осуществлять перемещение подводного аппарата в вертикальной плоскости, т. е. менять глубину погружения.

Существует несколько способов обеспечения остойчивости подводного аппарата: изменение объема, изменение веса, применение гребных винтов с вертикальной осью и горизонтальными рулями.

Некоторые изобретатели предлагали также использовать ориентированные гребные винты для одновременного управления направлением и глубиной погружения, но этот проект еще никогда не осуществлялся. Выдвигался и проект использования четырех винтов с горизонтальной осью для получения, путем дифференциации, моментов для маневрирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Для этого не нашедшего применения способа характерна необходимость значительных и частых изменений мощности на винтах.

### 4. Источники энергии, применяемые в погруженном состоянии

Допустим, что все три упомянутые выше проблемы разрешены: корпус, способный выдержать данное гидростатическое давление, рассчитан; вес подводного аппарата суммарно уравновешен запасом плавучести или без него; способы навигации, удовлетворяющие определенным условиям, выбраны. Теперь остается выбрать источник энергии, который может быть использован в погруженном состоянии аппарата.

Предлагались различные решения, но единственным практически осуществимым средством накопления довольно большого количества энергии на подводном аппарате является в настоящее время электроаккумуляторная батарея. К сожалению, ее вес и объем очень велики. Удельная емкость, определяемая отношением накопленной энергии (в втч) к весу (в кг), не превышает для свинцовых аккумуляторов 30—35 втч/кг. Объемная емкость составляет около 100 втч/л. Кроме того, эти батареи после погружения необходимо перезаряжать, для чего требуется время и необходимы специальные устройства.

Применение атомной тяги на подводных аппаратах, связанное с использованием пара, представляет идеальное решение проблемы энергии. Огромное преимущество атомной тяги заключается в полном

отсутствию потребности в окислителе и минимальной потребности в топливе. Следовательно, вес на 1 л. с. ч. значительно ниже, чем в наиболее удачных решениях с использованием классической энергии, хотя удельный вес двигателя составляет около 80 кг/л. с. (включая защиту) для мощностей в 15 000 л. с. (в то время как при дизель-электрической тяге эта величина равняется приблизительно 40 кг/л. с. для аккумуляторной батареи с мощным режимом, 20 кг/л. с. для электродвигателя и 20 кг/л. с. для дизелей). Преимущество этого решения заключается, очевидно, и в том, что радиус действия подводного аппарата с атомным двигателем в погруженном состоянии практически неограничен, тогда как для подводного аппарата с дизель-электрической тягой он ограничивается емкостью батареи.

Однако для подводных аппаратов с малым водоизмещением, для которых не требуется очень высокая установленная мощность, вес на 1 л. с. атомной тяги значительно увеличивается, так как относительный вес защиты тем больше, чем мощность реактора меньше. Использовать атомные двигатели на подводных аппаратах водоизмещением менее 2000 т, не прибегая к совершенно новым решениям, пока оказывается невозможным.

Для небольших подводных аппаратов многообещающей является перспектива использования жидкого топлива, но для применения жидкого топлива, непосредственно превращающего химическую энергию в энергию электрическую, требуются запасы топлива и окислителя. Предпочтительным будет решение, создающее наилучшие условия для организации этих запасов с точки зрения веса, объема легкости обращения и пополнения.

Более детальное обсуждение этого вопроса не входит в рамки настоящей статьи. Достаточно только сказать, что водородно-кислородное топливо обладает многочисленными преимуществами, так как водород может быть получен путем превращения или может храниться в жидком виде. Растворенное топливо, например метанол или гидразин, также, вероятно, будет использовано в недалеком будущем.

Удельные и объемные емкости, на получение которых в связи с этим можно надеяться, представляют больший интерес, чем емкости батарей свинцовых аккумуляторов, если учесть, что продолжительность автономной работы аппарата при использовании водородно-кислородного или метанолового топлива составляет более десяти часов, а при гидразинном топливе превышает лишь несколько часов.

## 5. Определение форм подводных аппаратов и тяговой мощности

Выше мы не касались внешних форм подводных аппаратов и гидродинамического аспекта проблемы. Однако не следует забывать, что условия, в которых придется находиться подводному аппарату, будут непосредственно влиять на все параметры, в том числе и на выбор установленной мощности, веса, определяющего запас энергии, и создание достаточно прочного корпуса, а также на выбор способа навигации. Этот факт необходимо учитывать в самом начале разработки проекта.

Проблема установленной мощности для достижения определенной скорости передвижения в погруженном состоянии разрешается на подводном аппарате значительно проще, чем на надводном судне. Действительно, полное лобовое сопротивление создается сопротивлением трения, непосредственно зависящим от смоченной поверхности, и сопротивлением турбулентных потоков, практически зависящим только от обтекаемости формы и в незначительной степени от числа Рейнольдса ( $Re = \frac{vl}{\nu}$ ).

Волновое сопротивление как результат скорости надводных судов, зависящее от числа Ритца  $\left(r = \frac{v}{\sqrt{gL}}\right)$ , полностью исчезает при подводном плавании. Формы подводных аппаратов, предназначенных для погружения на несколько сотен метров, следует профилировать таким образом, чтобы лобовое сопротивление в горизонтальном плане было минимальным, так как вертикальные расстояния достаточно малы и их можно преодолеть путем простого изменения посадки. Эти суда в основном будут иметь цилиндрическую форму с соответствующими закруглениями в носовой и кормовой частях. Было доказано, что удлинение этих форм, представляющее отношение длины к диаметру, может изменяться в пределах 6—10 без заметного увеличения лобового сопротивления (при равном водоизмещении).

Наоборот, подводным аппаратам, которые должны будут погружаться на большие глубины, следует придавать обтекаемость в вертикальном направлении. В самом деле, перемещение цилиндрического тела перпендикулярно его оси вызывает образование чередующихся турбулентных потоков — турбулентных потоков Кармана, которые при определенной скорости могут стать причиной опасных колебаний. В некоторых случаях, как показали опыты с моделью, для устранения этого явления необходимо применять довольно большие боковые кили.

Лучшим видом тяги пока следует считать гребной винт. При удобообтекаемой форме подводного аппарата, обеспечивающей достаточную подачу воды на винт или на гребные винты, можно получить общий движущий к. п. д.  $\approx 0,65$  (общий движущий к. п. д. определяется выражением

$$\eta g = \frac{Rv}{F},$$

где  $R$  — сопротивление движению;  $v$  — скорость;  $F$  — потребляемая мощность на валу).

При расчете вертикальных винтов руководствуются иными соображениями, о которых мы здесь не имеем возможности говорить. Отметим, однако, возможные варианты применения винтов.

Предлагалось установить гидропреобразователи, рассчитанные на получение максимальной тяги при данной мощности на валу. Когда этот вид тяги будет лучше изучен на практике, он найдет широкое применение на подводных аппаратах, в частности, в том случае, если при расчете окажется, что диаметр или число оборотов винтов слишком велики.

Возможно применение реактивной тяги, обеспечиваемой выбрасыванием воды из сопел, но она имеет очень низкий к. п. д.

## 6. Второстепенные проблемы

Необходимость обеспечения пассажиров подводного аппарата кислородом выдвигает проблему создания запасов кислорода на подводных аппаратах с большим радиусом действия. До последнего времени запасов сжатого кислорода, хранящегося в баллонах под давлением 150 или 200 кг/см<sup>2</sup>, хватало для довольно продолжительных путешествий и для экипажа, насчитывающего 50—100 человек. Но на атомных подводных аппаратах потребность в кислороде значительно возросла, и пришлось прибегнуть к различным способам пополнения его запасов. Одни из них, химические, позволяют получать кислород, например, из бертолетовой соли (хлората калия), другие, у которых большое будущее, — из морской воды путем электролиза.

Необходимо также удалять углекислый газ, являющийся продуктом разложения карбогемоглобина в легочных альвеолах. 7% содер-

жания углекислого газа во вдыхаемом воздухе является смертельной дозой. Различные химические продукты, например сода или натриевая известь, поглощают  $\text{CO}_2$ . Необходимо, следовательно, иметь достаточные запасы этих продуктов, заботясь также о своевременном обновлении находящегося в обращении продукта, так как насыщение происходит сравнительно быстро. Моноэтаноламиновые молекулярные сита могут быть восстановлены посредством простого нагревания. Таким образом, при наличии мощности в несколько киловатт и необходимой емкости для размещения довольно громоздких установок поглощение углекислого газа осуществляется непрерывно.

Попутно упомянем о проводимых исследованиях, касающихся создания условий дыхания космонавтов. Изучаются возможности использования водорослей для осуществления искусственного фотосинтеза, включающего газообмен в том виде, в каком он происходит на Земле, и др.

Теперь перейдем к тем инженерным проблемам, которые касаются будущих пассажиров проектируемых подводных аппаратов. Если оставить в стороне военные подводные суда, то все прочие аппараты с экипажем должны располагать максимальными возможностями для наблюдения за окружающим пространством и дном. Прямая видимость является наилучшим средством, особенно если размеры иллюминатора позволяют наблюдателю смотреть обоими глазами одновременно, т. е. воспринимать наблюдаемые объекты объемно. Современная техника предоставила в наше распоряжение превосходные пластмассы — плексиглас или некоторые полиэферы, которые позволили разрешить эту проблему даже на аппаратах наиболее глубокого погружения. Применялись и иллюминаторы из стекла и кварца, но недостаток этих материалов состоит в том, что при повреждении они дают трещины. Собственным опытом автора настоящей статьи установлено, что иллюминатор в виде усеченного конуса из плексигласа, разрушаясь под давлением, не вызывает утечек, если он имеет достаточную толщину, так как пластмасса сама обеспечивает уплотнение тонких трещин.

Для увеличения поля зрения может быть использовано телевидение; для фиксирования наиболее интересных явлений снаружи устанавливаются фото- и киноаппараты с дистанционным пуском.

Освещение должно быть достаточно интенсивным: эту проблему в настоящее время разрешают ламповые прожекторы и электронные лампы-вспышки.

Дистанционные манипуляторы необходимы на большей части подводных аппаратов. Они будут выполнять заданные им действия: захватывать предметы, находящиеся на дне или в воде, осуществлять различные производственные операции: подвешивание кабеля, сварку, резку горелкой и т. п. Все эти функции выполняются роботами, последние усовершенствования которых изучаются инженерами-атомщиками, ставящими перед собой также и проблему защиты от атомного излучения, представляющего гораздо большую опасность, чем вода.

Следует отметить, что давление не создает особых трудностей для аппаратов этого типа, если их различные части находятся в состоянии равновесия.

Наконец, связь за пределами прямой видимости может быть обеспечена под водой техническими средствами подводной звуковой или ультразвуковой акустики. Эти средства служат для связи с поверхностью, определения местонахождения ориентира, установленного на дне и имеющего свой собственный передатчик или просто отражающий экран, для обнаружения препятствий на большом расстоянии или для картографии морского дна.

## II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ

### 1. Классификация в зависимости от глубины погружения

Типы применяемых аппаратов, их формы и характеристики очень различны, так же как различны цели, которые ставили их создатели. Поэтому за основной критерий классификации следует принять тот, который учитывает главный параметр их расчета — максимальное рабочее давление.

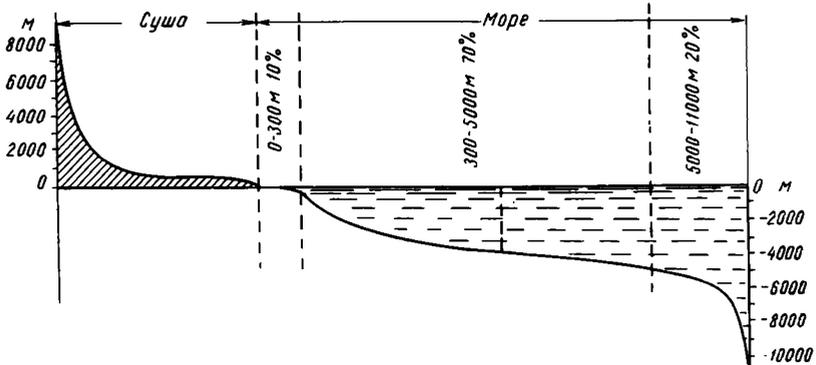


Рис. 1. Диаграмма Зупана.

Таким образом, мы различаем следующие три типа подводных аппаратов:

а) для малых глубин с максимальной рабочей глубиной погружения не более 300 м; эти аппараты дают возможность исследовать всю поверхность континентального шельфа и, следовательно, прокладывают путь научно-исследовательским и промышленным аппаратам, которые в недалеком будущем позволят человеку освоить эту огромную область, занимающую почти 10% общей поверхности морей;

б) для средних глубин с максимальной рабочей глубиной погружения 300—5000 м; нижний предел соответствует примерно половине максимальной глубины (около 11000 м). Поверхность, покрытая морями глубиной от 300 до 5000 м, составляет более 70% всей водной поверхности;

в) для больших глубин с максимальной рабочей глубиной погружения более 5000 м. Как видно из дальнейшего изложения, существует всего два аппарата этого типа и только один из них можно считать действующим.

На рис. 1 представлена диаграмма океанографа Зупана с обозначением соответствующих зон.

### 2. Подводные аппараты для малых глубин (0—300 м)

Последние годы характеризуются большим прогрессом в области проектирования и создания подводных аппаратов для научно-исследовательских целей. Некоторые конструкции, являющиеся ведущими в серии аппаратов, предназначенных для освоения континентального шельфа,<sup>1</sup> описываются ниже.

1. Наибольшую известность среди аппаратов этого типа получило «водолазное блюдо» SP 300, названное «Дениза», конструкции Ж.-И. Кусто (рис. 2). Это миниатюрный подводный аппарат для погружения

<sup>1</sup> Undersea Technology, август 1964.

на глубину 300 м. Прочный сварной корпус аппарата в форме эллипсоида вращения изготовлен из специальной стали толщиной 19 мм. Большой наружный диаметр эллипсоида равен 2 м, высота 1,43 м. Два наблюдателя удобно располагаются в лежачем положении на матрацах из пористой резины. Наблюдение ведется через два иллюминатора из плексигласа, имеющих форму усеченных конусов с углом при вершине 90°.

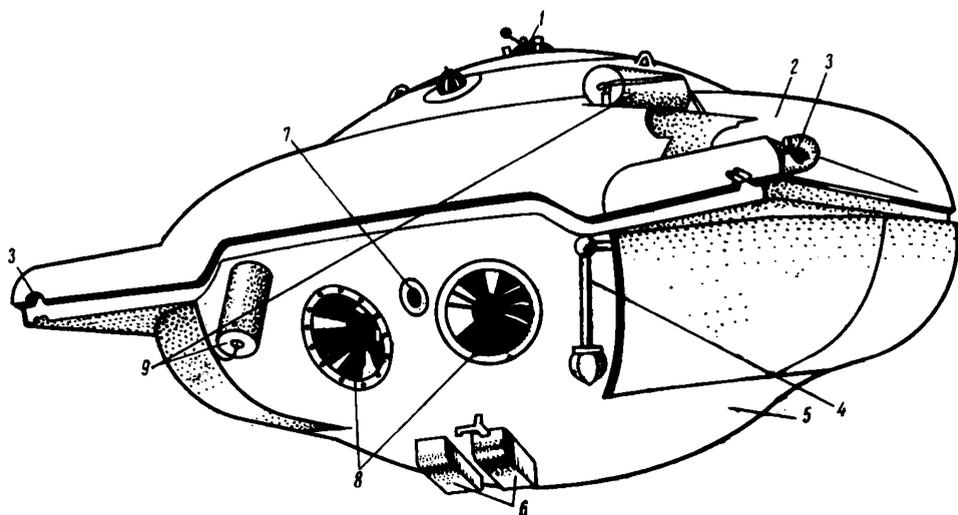


Рис. 2. Подводный аппарат для максимального погружения на 300 м (водолазное «блюдец» SP 300). 1 — дверца люка; 2 — покрытие обтекаемой формы; 3 — реактивные ориентируемые сопла; 4 — рукоятка манипулятора; 5 — корпус; 6 — сбрасываемый балласт; 7 — иллюминатор для киносъёмки; 8 — иллюминаторы для наблюдения; 9 — прожекторы.

Электроаккумуляторные батареи, помещенные вне подводного аппарата в изоляционном масле с уравновешенным давлением, служат источником энергии для освещения и тяги, обеспечиваемой реактивными ориентируемыми соплами.

На поверхности «блюдец» неавтономно: его спускают на воду специальным подъемом краном, установленным на борту сопровождающего судна (вес в рабочем состоянии 3500 кг).

2. Подводные аппараты «Пери каб марин» (РС 3 — для погружения на 50 м и РС 3В — для погружения на 200 м) используются в настоящее время компанией Вестон ошеноуграфик системз для выполнения различных промышленных работ.

3. Отделение Илектрик боут компании Дженерал дайнемикс недавно спустило на воду экспериментальный подводный аппарат «Звезда I» (максимальная глубина погружения 70 м) для изучения возможностей использования топливных элементов в качестве источника энергии. Установка работает на гидрате гидразина и кислороде и обеспечивает мощность в 750 вт при напряжении 36 в.

4. Аппарат «Звезда II» той же компании (максимальная глубина погружения 200 м) предназначен для археологических исследований, ведущихся Пенсильванским университетом (этот подводный аппарат носит название «Эшера»).

5. Подводные аппараты «Спортсмен» (типа 300 для погружения на 100 м и типа 600 для погружения на 200 м) компания Америкен сабмерин вначале предложила использовать для туристических целей, однако аппараты этого типа при соответствующем оснащении могли бы, очевидно, служить и промышленным целям.

Водоизмещение всех этих небольших подводных аппаратов неве-

лико — менее 5 т, и, следовательно, они могут быть спущены на воду с соответствующим образом оснащенного надводного судна.

6. Наконец, «Мезоскаф» — первый подводный аппарат исключительно туристического назначения. Он может иметь на борту 40 пассажиров. По проекту он должен был погружаться на максимальную глубину до 1000 м, но затем глубина погружения для безопасности была ограничена ста метрами. При желании этот аппарат может быть использован для океанографических исследований.

Этот краткий перечень далеко не исчерпывает всего списка изобретенных подводных аппаратов, не говоря уже о возможностях превращения военного подводного судна в океанографическое.

### 3. Подводные аппараты для средних глубин (300—5000 м)

Три первых аппарата, описанных ниже, являются военными судами, предназначенными для опытного исследования новых технических средств глубинного погружения. Исчерпывающих сведений относительно их программ не имеется. Пять следующих конструкций хорошо известны, и краткое описание их здесь приводится.

1. «Дельфин» (AGSS 555) — экспериментальное подводное судно водоизмещением около 1000 т в погруженном состоянии, прикомандированное Военно-морским флотом США к военно-морской базе в Портсмуте. Максимальная глубина погружения 1200 м.

Корпус образован цилиндром длиной 50 м и диаметром 5,4 м, заканчивающимся двумя шаровыми сегментами. Материал — сталь HY80. Приводимое в движение электродвигателем, судно будет иметь максимальную продолжительность пребывания в погруженном состоянии 16 ч при скорости 5 узлов. Максимальная скорость — 15 узлов. Экипаж — 22 человека.

Благодаря оснащению специальными автоматическими устройствами уменьшается возможность несчастных случаев.

2. Аппарат «Мари» (TV 1A) в настоящее время проходит испытания. Максимальная глубина погружения, вероятно, около 600 м. Это небольшая двухместная подводная лодка водоизмещением 14 т, обладающая положительной плавучестью и управляемая подобно дирижаблю (балласт сбрасывается в случае крайней необходимости). Приводимая в движение электродвигателем типа торпедного, она имеет максимальную скорость 15 узлов. Корпус образован двумя сферами диаметром 1,6 м. Наружная оболочка выполнена из стекловолна. Судно оснащено сонаром, механическим лотом и телевизионной камерой. Остальные детали проекта — классического типа.

3. «Дип Джи» построен тем же предприятием, что и «Мари», и также проходит испытания. Сведения о нем еще более скудные. Максимальная глубина погружения составляет, очевидно, 600 м, скорость — 2 узла, наибольшая продолжительность пребывания под водой 4—6 ч.

4. Батискаф FNRS III. Его можно считать настоящим предшественником автономных подводных аппаратов для средних глубин. Испытания FNRS III завершились 15 февраля 1954 г., когда при погружении на глубину 4050 м, являющуюся максимальной для этого аппарата, он достиг дна Атлантического океана. Автор настоящей статьи находился на его борту, после того как руководил его строительством. С этого времени по 1960 г. FNRS III совершил до ста погружений. Он имел на своем борту поочередно биологов, геологов, физиков, которые, наконец, получили возможность вести свои океанографические исследования на месте. Позднее ему на смену пришел батискаф «Архимед», но, вероятно, можно было бы возобновить его

использование. Аппарат передан на хранение Французскому морскому флоту.

5. Батискаф «Триест», построенный проф. Пиккарот в 1953 г. в Италии, в 1958 г. был приобретен Американским морским флотом. 23 января 1960 г. он совершил погружение в Марианской впадине на глубину 10 900 м. Сфера «Крап» (внутренний диаметр 1,70 м, толщина стенок 12 см), специально созданная для этого погружения, была повреждена, и батискаф снабдили первоначальной сферой «Терни», с которой погружение возможно лишь в пределах 4000 м.

Летом 1963 г. «Триест» принимал участие в поисках подводной лодки «Трешер», фотографировал ее обломки и поднял на поверхность части труб. Затем его пустили в переплавку, так как из-за плохого состояния поплавка он стал непригоден для дальнейшего использования.

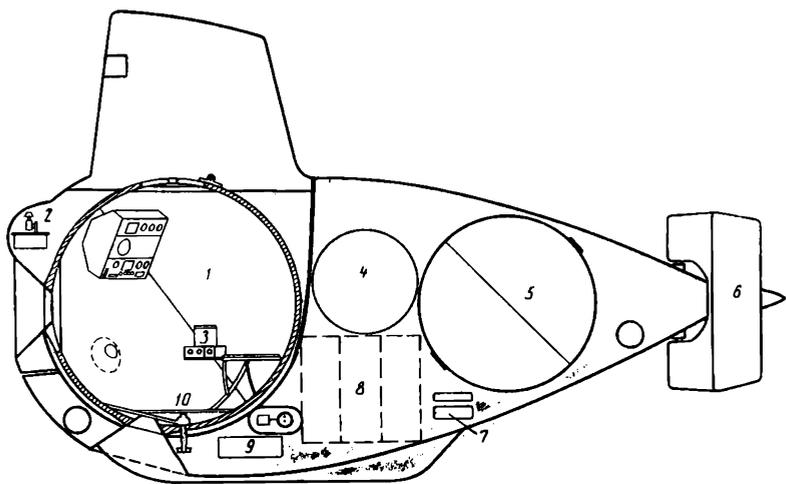


Рис. 3. Подводный аппарат «Олвин» для максимального погружения на 2000 м.

1 — помещение (сфера) для пассажиров; 2 — сонар; 3 — гирокомпас; 4 — регулирующий резервуар; 5 — сфера, обеспечивающая плавучесть; 6 — гребной ориентируемый винт; 7 — насос для регулирования посадки; 8 — батареи; 9 — гидроэлектростанция; 10 — механизм для отделения сферы.

«Триест II», спущенный на воду в мае 1964 г., является почти новым батискафом: созданный на базе сферы «Терни» (внутренний диаметр 2 м, толщина стенок 9 см) и предназначенный, следовательно, для погружения до 4000 м, он отличается от предыдущей конструкции высокими навигационными качествами при надводном плавании и мягкостью управления в погруженном состоянии. Его водоизмещение 220 т. Он несет 174 000 л бензина и 23 т сбрасываемого балласта, состоящего из удерживаемой электромагнитами стальной дроби.

Его средства наблюдения и оборудование включают передний иллюминатор, телевизионную систему, фото- и кинокамеры, прожекторы, сонар (для исследования дна, созданный на основе системы, использованной при поисках «Трешера»), дистанционный манипулятор, механический лот и подводный телефон.

6. «Олвин» (рис. 3). Этот подводный аппарат, получивший путевку в жизнь 5 июня 1964 г., в настоящее время проходит испытания, а затем будет использован для океанографических исследований.

Проектная максимальная глубина его погружения составляет 2000 м. Корпус образован двумя сварными полусферами диаметром 2 м из стали НУ 100 толщиной 3,4 см. Наружная оболочка, изготовленная из стекловолокна, содержит, кроме того, балласт, сбрасываемый

под действием высокого давления, сферические регуляторы, пластмассу для создания положительной плавучести, батареи, силовую установку и т. п. При водоизмещении на поверхности в 13 т он имеет на борту двух пассажиров и оборудование весом 545 кг.

Регулирование веса осуществляется изменением объема способной деформироваться емкости при циркуляции нефти между этой емкостью и регулирующей сферой.

Тяга и управление обеспечиваются задним винтом, ориентируемым в пределах  $50^\circ$  относительно каждого борта, и двумя небольшими боковыми винтами, ориентируемыми в пределах  $360^\circ$  вокруг оси, перпендикулярной плоскости симметрии аппарата. Винты приводятся в действие гидравлическими двигателями, питаемыми электронасосами. Максимальная скорость 5,8 узла, продолжительность автономной работы 10 ч при скорости 2,5 узла, наибольшая продолжительность пребывания в погруженном состоянии 24 ч.

В случае необходимости дистанционный манипулятор, батареи и ртуть линии посадки могут быть сброшены, а также сфера, обеспечивающая положительную плавучесть.

Обычно оборудование «Олвина» дополнено четырьмя иллюминаторами, телевизионным устройством, камерами для фото- и киносъемки, прожекторами, сонаром, дистанционным манипулятором, механическим лотом, подводным телефоном, гирокомпасом и т. п.

7. «Эльминиот» (рис. 4). Этот аппарат, спущенный на воду 2 сентября 1964 г., должен, в частности, доказать преимущества использования алюминия при создании прочных корпусов. Он должен был вступить в эксплуатацию весной 1965 г. Область его применения еще не определена.

Проектная максимальная глубина погружения до 4000 м. Корпус, изготовленный из сплава алюминия толщиной 16,5 см, образован цилиндром длиной 10,2 м и внутренним диаметром 2,13 м, завершающимся двумя шаровыми сегментами. Водоизмещение «Эльминиота» около 68 т. Он имеет на борту трех пассажиров и научное оборудование весом 1,5 т.

Положение устойчивого равновесия при погружении в соответствии с начальным весом конструкция будет достигать благодаря балласту из стальной дробы. Как только часть этого балласта будет сброшена, дальнейшее погружение станет возможным лишь при использовании рулей глубины или вертикального винта.

Тяга создается двумя гребными винтами, приводимыми в действие двумя электродвигателями мощностью 5 л. с., питаемыми батареями. Продолжительность автономной работы — 40 ч при скорости 2 узла (максимальная скорость 3,8 узла). Третий винт будет использован для маневрирования в вертикальной плоскости (регулирование глубины погружения). Наибольшая продолжительность пребывания в погруженном состоянии — 72 ч.

Средства наблюдения и оборудование включают четыре иллюминатора, телевизионное устройство, прожекторы, сонар, дистанционный манипулятор, подводный телефон и др.

8. SP 4000 или «Дип Стар». Малогабаритный автономный подводный аппарат, предназначенный для исследований и деятельности человека на глубине до 4000 м.

Аппарат SP 4000, проект которого разработан Ж.-И. Кусто, строится Французским управлением подводных исследований в сотрудничестве с Вестинхаус электрик корпорейшн.

Первый вариант этого аппарата, имеющий сферу из стали НУ80 (внутренний диаметр 1,94 м, толщина стенок 3 см), будет погружаться по крайней мере на 1200 м. Водоизмещение составит 7 т. Основные системы и узлы (батареи, преобразователи, двигатели, гидроэлектро-

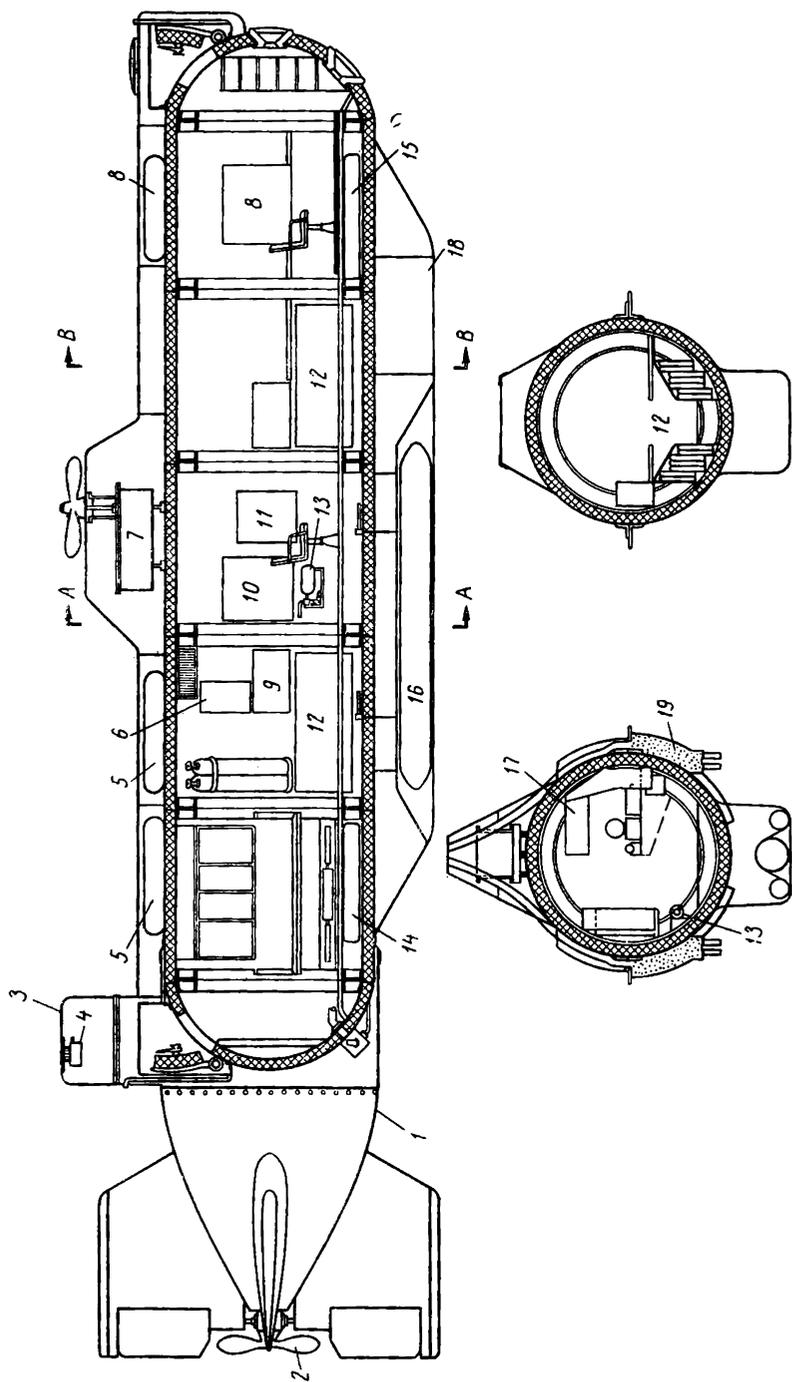


Рис. 4. Подводный аппарат «Эльминот» для погружения на 4 000 м. 1 — отсек с двигателем и системой управления (заполнен жидким маслом); 2 — ориентируемый гребной винт; 3 — съемный колок из латуны; 4 — телевизионное устройство; 5 — сжатый воздух; 6 — установка для поглощения CO<sub>2</sub>; 7 — двигатель вертикального винта; 8 — научное оборудование (100 кг); 9 — баллоны с кислородом; 10 — электрическое табло; 11 — сонар; 12 — батарея; 13 — насос для регулирования посадки; 14 — резервуар для регулирования посадки кормовой части; 15 — резервуар для регулирования посадки носовой части; 16 — сбрасываемый балласт (3500 кг); 17 — навигационные и контрольно-измерительные приборы; 18 — научное оборудование; 19 — дробь (2000 кг).

станция и т. п.) будут размещены вне сферы под пластмассовым покрытием обтекаемой формы.

Вертикальное движение при спуске и подъеме будет создаваться исключительно изменением веса. Отклонение траекторий от горизонтали вследствие действия балласта составляет 50—60°. Регулирование посадки может осуществляться, как и на SP 300, перемещением руты из носовой части в кормовую.

Два гребных винта, установленных в каналах по обе стороны обтекаемого покрытия, обеспечивают ему скорость ~3 узла при технической дальности рейса 20 миль на экономичном режиме.

Необходимый запас плавучести создается смесью стеклянных пустотелых микрошариков с эпоксидной смолой.

#### 4. Подводные аппараты для больших глубин (5000—11 000 м)

Выше мы уже говорили о том, что батискаф «Триест» был первым подводным аппаратом с экипажем на борту, достигшим дна Марианской впадины — самой глубокой впадины, известной до настоящего времени (10 900 м).

При современном уровне техники нет иного средства для исследования больших глубин, кроме батискафа с балластом из бензина.

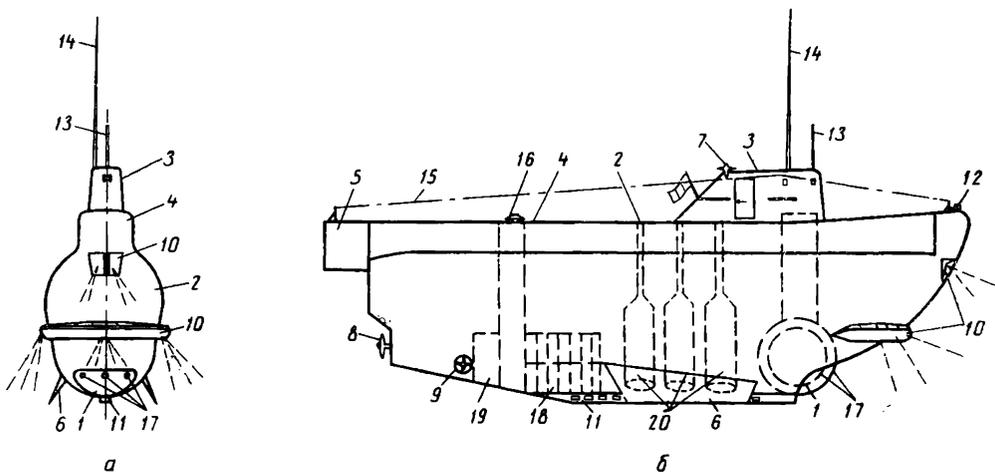


Рис. 5. Батискаф «Архимед» с максимальным погружением на 11 000 м.

*a* — вид спереди; *б* — внешний вид сбоку.

1 — сфера; 2 — поплавок; 3 — рубка; 4 — навигационный мостик; 5 — лаборатория; 6 — плавники; 7 — винт вертикальной тяги; 8 — гребной винт; 9 — винт для изменения курса; 10 — прожекторы; 11 — киль; 12 — крюк для буксирования; 13 — мачта; 14 — антенна; 15 — снасть; 16 — входной люк кормовой шлюзовой камеры; 17 — иллюминаторы; 18 — батарея; 19 — двигатели; 20 — бункеры для дробн.

Мы знаем также, что форма переплавленного и реконструированного «Триеста» лучше приспособлена к условиям выполнения подводных работ, но ограничивает глубину исследования 300—5000 м. Таким образом, единственным в мире аппаратом, способным погружаться на самые большие глубины, является батискаф «Архимед» Французского национального морского флота.

Сфера «Архимеда» (рис. 5), выполненная из специальной молибденохромоникелевой стали (предел текучести более 100 кг/см<sup>2</sup>), имеет толщину 150 мм и внутренний диаметр 2,10 м; при запасе прочности не менее 2 выдерживает давление 1150 кг/см<sup>2</sup>, распространенное на глубине 11 000 м. Три иллюминатора из плексигласа в форме усеченных конусов позволяют трем пассажирам наблюдать значительное

пространство, освещаемое двенадцатью ламповыми прожекторами мощностью 1000 *вт* каждый. Дверца входного люка, также имеющая форму усеченного конуса, расположена в верхней части сферы в целях облегчения планировки.

Поплавок из сравнительно тонкой (4—5 *мм*) листовой стали, содержащий 160 000 *л* бензина, обеспечивающего подъемную силу аппарата, имеет более обтекаемую форму, чем поплавок других батискафов. Для уменьшения лобового сопротивления сфера снабжена жестким креплением в нижней части форштевня.

Аппарат длиной 21 *м*, высотой 5 *м* и шириной 4 *м* имеет три гребных винта, приводимых в действие электродвигателями, работающими в жидком масле, уравновешенном с внешним давлением. Распределение мощности: 30 *л. с.* для обеспечения тяги, 5 *л. с.* для управления и 5 *л. с.* для вертикального направления тяги.

Двигатели и прожекторы питаются от помещенных вне корпуса кадмиевоникелевых батарей, также работающих в масле под давлением.

Балласт состоит из стальной дроби, удерживаемой электромагнитами. Дробь находится в шести цилиндрических вертикальных бункерах в поплавке. Количество дроби, необходимое для осуществления погружения, составляет около 20 *т*. На глубине 11 000 *м*, где температура падает примерно до 0° *С*, оставляют для безопасности лишь 5 *т* балласта.

Прочее оборудование включает в свой состав приборы для физических и химических измерений, средства связи с внешним миром, навигационные приборы и др.

Испытания «Архимеда», начавшиеся в сентябре 1961 г., закончились 25 июля 1962 г. погружением в Курильскую впадину на глубину 9500 *м*, что позволило признать «Архимед» «годным к службе». В настоящее время аппарат используется для океанографических исследований, проводимых под руководством смешанного комитета Морского флота и Национального центра научных исследований.

---

## ЭКСПЕДИЦИИ «ПРЕКОНТИНЕНТ» и ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ

*Ж. Алина*<sup>1</sup>

Около трех четвертей поверхности земного шара покрыто водой — средой, почти не проницаемой для взора, плотность которой в 800 раз превышает плотность воздуха, непригодной для дыхания и обычно холодной и враждебной, по крайней мере на определенной глубине. В среднем эта глубина составляет 4000 *м*.

Новые технические средства, использующие в той или иной степени все возможности освоения океана, развиваются медленно. Они дают лишь косвенное представление о водной среде и позволяют делать лишь обобщения при огромной затрате сил и энергии на проведение исследований. Отсутствие непрерывности измерений во времени и в трехмерном пространстве еще более усложняет дело. Поэтому проникновение самого человека в водную среду приобретает все большее значение.

---

<sup>1</sup> Французское управление подводных исследований. Монако. № 415.

Рассмотрим те трудности, которые связаны с проникновением человека в глубины морей, их последствия и паллиативы.

Мы не будем касаться решения, предусматривающего создание замкнутого пространства с «нормальной» для человека средой, которое полностью изолирует его от океана и которое тем не менее в настоящее время остается единственно возможным средством погружения до определенных глубин.

Первая проблема связана с дыханием в неадекватной среде. Жабры — орган дыхания рыб — являются, очевидно, «абсолютным оружием». Его изучение заманчиво, но рассчитывать на практические результаты, которые мог бы использовать человек, в ближайшем будущем не приходится. Следовательно, единственным средством является автономный или неавтономный дыхательный аппарат.

Вторая проблема касается быстро возрастающего с глубиной давления в водной среде. Это явление связано с очень серьезными последствиями для человека — появлением различных физиологических расстройств в виде:

- шпероксии; ее можно избежать регулированием процентного содержания кислорода в зависимости от глубины погружения для сохранения допустимого парциального давления;

- потери сознания, которая имеет различный характер в зависимости от содержания нейтрального газа, применяемого для разжижения кислорода (глубина погружения, на которой в дыхательной среде появляются легкие газы — водород и гелий, соответствует 200 м);

- асфиксии, которая может иметь различный характер и вызывается отравляющими газами, органическими или другими отходами —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , минеральными парами и т. п., действие которых всегда связано с парциальным давлением и, следовательно, увеличивается на больших глубинах, хотя их процентное содержание очень незначительно;

- нарушений, вызываемых декомпрессией; они происходят в результате закупорки сосудов газами (газовая эмболия), когда давление уменьшалось слишком быстро по сравнению со скоростью удаления газов; необходимая для предотвращения этих нарушений длительная декомпрессия при увеличении глубины и продолжительности погружения становится практически невозможной.

Действие холода, являющееся одновременно следствием низкой температуры и высокой проводимости воды, создает очень серьезное препятствие для длительного пребывания человека в водной среде. Одежда, применяемая для защиты от холода в условиях давления, очень неудобна и стесняет движения.

Более или менее высокая мутность воды, причиной которой является главным образом высокая диффузия (как при тумане), очень затрудняет сбор информации, определение местонахождения, связь, передвижение и т. д., иногда даже применение осветительных средств оказывается бесполезным, и приходится работать вслепую.

Некоторые из этих трудностей (потеря сознания) временно ограничивают даже возможность погружения на доступную глубину, хотя вообще в настоящее время доступной, несомненно, является глубина более 300 м. Другие трудности ограничивают продолжительность пребывания в воде: холод, срок автономной работы дыхательных аппаратов и пр. Третьи вызывают необходимость применения таких мер предосторожности, как высокая точность состава дыхательных смесей, относительно длительное снижение давления и пр. Однако ни одна из этих трудностей не препятствовала до сих пор длительному пребыванию аппарата под давлением.

Океанавт, находящийся в уравновешенном с давлением окружающей среды «помещении» с легко контролируемой и точно восстанавли-

ваемой атмосферой, защищен от холода и вместе с тем сохраняет непосредственный контакт со средой, в которой он может действовать по своему усмотрению, свободно, не опасаясь длительной декомпрессии. Он может пользоваться значительным количеством инструментов и приборов, согреваться, когда почувствует в этом необходимость, имеет возможность ориентироваться в новых положениях и немедленно действовать сообразно предвиденным или непредвиденным обстоятельствам.

Человек приспособлен к средним жизненным условиям, но человеческий организм может приспосабливаться даже на длительное время к совершенно иным условиям.

Имеется довольно определенный показатель, позволяющий, в частности, разрешить проблему декомпрессии при погружении и проведении работ под давлением. Еще Холдейн установил предельное отношение, близкое к 2:1, при превышении которого человеческий организм не может в удовлетворительной степени компенсировать изменение давления.

Проведенная серия экспериментов «Прекоинтерит» основывалась в значительной степени на данных, полученных в результате опытов, поставленных на животных и на человеке. Любопытные данные приводили в своих работах еще П. Берт (1874—1878 гг.) и Дж. С. Холдейн (1908—1909 гг.). Но на первых порах особенно помогли в предпринятых экспериментах опыты на животных, сравнительно недавно поставленные Уоркменом, Бондом и Маццоне (1962 г.) и ранее полученные данные подводных исследований (G. E. R. S., 1949 г.), а также последние, еще не опубликованные работы.

Первый опыт «Прекоинтерит I» был проведен с 14 по 21 сентября 1962 г. вблизи Марселя.

Подводная база «Диоген» представляла собой цилиндрическую камеру объемом 25 м<sup>3</sup> с горизонтальной осью, плавающую неглубоко под водой и закоренную чугунными чушками весом более 30 т. В нижней части она имела отверстие диаметром 1 м для уравнивания давлений на глубине 10,5 м. В одной части камеры находилось помещение для двух человек с иллюминатором для наблюдения, другая часть служила одновременно «гардеробной» для переодевания в водолазные костюмы и хранилищем оборудования, предназначенного для погружения и обеспечения безопасности.

Сетью проводов и шлангов камера была связана с центральной станцией, расположенной в 200 м на о. де Помег, снабжавшей камеру сжатым воздухом (400—500 л/мин), пресной холодной или горячей водой и электроэнергией.

Средства связи включали переговорное устройство, телефон, микрофон и телевизионную камеру, позволявшую вести непрерывное наблюдение за испытуемыми. На подводной базе, кроме того, был установлен телевизионный приемник, принимавший передачи французского радио и телевидения.

Доставка продовольствия и оборудования в герметизированных контейнерах осуществлялась водолазами.

Испытуемые А. Фалько и К. Весли, оба профессиональные тренированные водолазы, в процессе проведения опыта подвергались постоянному и строгому медицинскому наблюдению, включавшему многочисленные измерения и анализы.

Температура воды, равная в начале опыта 21°С, под действием мистраля с третьего по шестой день понизилась до 16°С. Океанавты работали в среднем 4—5 ч в день на глубине от 5 до 25 м. Они пользовались автономными дыхательными аппаратами большой емкости со сжатым воздухом и водолазными костюмами из толстого неопрена.

Полный медицинский отчет об этом опыте был опубликован

К. Фруктусом и Ж. Шуто в первом номере журнала «Медицина, физическое воспитание и спорт» за 1963 г.

Приводим краткие выводы из их статьи.

Особую ценность опыту придает замечательный параллелизм поведения обоих испытуемых, особенно в отношении биологических реакций, более быстрых у Весли и более замедленных у Фалько и тем не менее сопоставимых.

Различаются три стадии, следующие в хронологическом порядке.

Первая стадия, очень ранняя, — кризисное состояние приспособления, характеризующееся:

— чувством тревоги, в значительной степени контролируемым у Фалько (исключая часы сна) и сверхкомпенсированным у Весли;

— астенией, в основном умеренной;

— совокупностью метаболических (обменных) и гормональных реакций, которые в значительной мере могут быть связаны с чувством тревоги и сопровождаться понижением содержания сахара в крови; незначительным понижением  $17CS$ ; более значительным понижением  $17ОНСS$ ; потерей глобулярного калия; чрезмерным выделением натрия (так же, как и калия, — явление, которому трудно найти объяснение).

Это переходное состояние слишком рано проявилось и слишком быстро прошло, для того чтобы его можно было считать следствием химического действия на организм кислорода или азота при содержании вдвое выше обычного. Трудно объяснить этот кризис иначе, чем состоянием психо-нейрогенного напряжения.

Вторая стадия (со второго по четвертый день) — обнаруживаются первые признаки приспособления организма, жизнь в новых условиях кажется вполне возможной, почти полностью восстанавливается активность. Однако развивается кризисное состояние желудочно-кишечного тракта наряду с сильной уропепсинурией, что свидетельствует о наступлении второго, более специфического кризиса приспособления к новому способу существования — кризиса питания. Этот кризис может быть также вызван расстройством вегетативной нервной системы в результате предшествующего ему нервного напряжения организма. Трудно сказать на этот счет что-либо определенное.

Третья стадия (три последних дня) характеризуется состоянием, которое испытывали бы оторванные от поверхности океанавты, находясь в условиях морского путешествия. Очевидно, они благосклонно отнеслись бы к более длительному пребыванию на «Диогене». Их ничто больше не волновало, кроме предстоящего подъема.

Каковы были бы последствия азотемии, если бы опыт продолжался? Не могла ли относительная компенсирующая анемия при содержании кислорода, вдвое превышающем норму, привести в конце концов к резкому упадку сил?

Не могли ли кожное раздражение и образование небольших нагноений развиться вследствие недостатка сухого воздуха и солнца в более серьезную стафилококковую инфекцию?

Как понимать очень незначительные признаки угнетенного состояния корковых центров, отмеченные электроэнцефалографом?

Однако эти не разрешенные пока вопросы не могут лишить нас оптимизма.

Опыт таким образом показал, как и предполагалось, что человек может приспособиться к жизни под давлением воздуха, вдвое превышающим норму, и сохранять в этих условиях способность вести подводные работы, продуктивность которых и глубина погружения были значительно увеличены при эталонном давлении для декомпрессии, равном давлению среды, в которой проводились работы.

Однако опыт имел два слабых места:

1) опыту были подвергнуты только двое испытуемых, оба тренированные водолазы и оба исключительного сложения;

2) опыт, продолжавшийся неделю, позволил установить, что ответные и компенсирующие реакции подвергнутого агрессивным влияниям организма испытуемых, по-видимому, стали удовлетворительными после 6—7 дней, но стабильность этой компенсации еще нужно было доказать.

Опыт экспедиции «Преко́нтинент II»<sup>1</sup> восполнил эти пробелы; одновременно была увеличена глубина погружения.

Цели экспедиции излагаются ниже.

1. Подтверждение и экстраполяция результатов опыта с «Диогеном»:

а) путем поселения группы водолазов на глубине 10 м на 4 недели и их использования для различных работ, связанных с очень длительным погружением до 25 м и заплывами на глубину до 50 м;

б) путем поселения двух водолазов на глубине 25 м на одну неделю в искусственной атмосфере в тех же условиях парциального кислородного давления и плотности, что и в предыдущем случае; водолазы должны были вести продолжительные работы на глубине до 50 м и совершать погружения до 70 м и более; одновременное проведение обоих опытов увеличивало их безопасность.

2. Выяснение в реальных условиях возможностей материально-технического обеспечения подобных операций:

а) путем их проведения с плавучей автономной базы в районе, не располагающем большими ресурсами;

б) путем использования максимального количества средств для активной подводной деятельности — водолазного «блюдца», скутеров, телевидения и радиотелефона (ультразвукового), фото- и киносъемки, пневматического инструмента и т. д.

Красное море было выбрано для опытов по тем соображениям, что при своей близости к французским базам оно прекрасно воссоздавало совершенно новую, непривычную обстановку. Кроме того, контраст его теплых вод с довольно холодными водами, в которых был поставлен опыт с «Диогеном», мог дать ценные сведения, устранив серьезную причину усталости водолазов.

Опыты проводились в районе рифов Шаб-Рюми, в 20 милях к северо-востоку от Порт-Судана. Был выбран подводный риф, окружающий озеро, вполне подходящее для намеченного опыта.

Кроме судна «Калипсо», которое на подготовительном этапе было использовано для разведки, а затем в качестве снабжающего судна, экспедиция включала:

— небольшое грузовое зафрахтованное судно «Розальдо», установленное на якорь на озере и связанное мостиком из труб с «подводным городком», расположившимся на внешних уступах рифа;

— большой «дом» для восьми океанавтов, установленный на одном из уступов на глубине 11 м;

— стоянку-мастерскую, служащую временной базой для водолазного «блюдца» и «сухим» складом, расположенную на том же уступе;

— ангар, служащий «влажным» хранилищем для скутеров: односторонних кессонов, рыболовной снасти и т. п.;

— малый «дом» для двух океанавтов, установленный на прибрежной скале на глубине 27 м;

— шесть камер-убежищ для защиты от нападения акул с запасом воздуха и автономными спасательными дыхательными аппаратами; эти

---

<sup>1</sup> В сентябре 1965 г. была успешно осуществлена экспедиция «Преко́нтинент III» вблизи Монако. — *Прим. ред.*

убежища размещались вдоль маршрутов, между различными пунктами и вокруг них и имели связь с системой общей тревоги.

Задачей опыта было практическое проведение подводных работ и использование подводной техники в условиях, исключающих возможность экспериментального исследования в области физиологии. Многочисленные и сложные анализы, которые были возможны во время первого опыта благодаря непосредственной близости к Марселю с его лабораториями и медицинским факультетом университета, стали невозможными в районе Шаб-Рюми, отделенном от Порт-Судана несколькими часами путешествия по морю.

Нужно было провести два важных, но совершенно различных эксперимента:

а) длительное пребывание группы экспериментаторов в тех же атмосферных условиях, что и на «Диогене», — пятеро испытуемых в течение 4 недель при давлении воздуха около  $2 \text{ кг/см}^2$ ;

б) равное по продолжительности пребывание такого же числа экспериментаторов, что и на «Диогене», в иных, но эквивалентных атмосферных условиях — двое испытуемых в течение одной недели при давлении около  $3,5 \text{ кг/см}$  в искусственной атмосфере воздух-гелий при тех же плотности и парциальном кислородном давлении.

Равенство плотности и парциального кислородного давления было единственным общим условием обоих экспериментов.

В том и в другом случае важную роль играли психологические факторы.

С 1 мая по 11 июня проводилась подготовка «домов» в Порт-Судане, их транспортировка и установка на заданной глубине и создавалась сложная система, связывающая их между собой и с базой.

14 июня пятеро океанавтов обосновались в большом «доме» на глубине 9,5 м.

Возраст океанавтов от 31 года до 43 лет.

Месяц они жили в своей скорлупе, завершали установку малого «дома» на глубине 27 м, проводили биологические исследования, погружаясь до 50 м и не поднимаясь выше «крыши» своего дома.

По возвращении на поверхность после предварительной кислородной промывки в «доме» в течение нескольких часов и 15-минутного пребывания на глубине 3 м они отличались от своих товарищей, оставшихся на поверхности, лишь отсутствием загара и очень незначительной анемией, которая вскоре исчезала (подобно тому, как у жителей равнинных городов, поднявшихся в горы).

Во время последней недели их пребывания под водой, с 5 по 13 июля, два других водолаза, Кьентци и Портелатин, заняли установленный на глубине 26,5 м малый «дом», атмосфера которого состояла из смеси равных частей воздуха и гелия. Отсюда они совершали длительные погружения до 50 м, ограниченные лишь продолжительностью автономной работы дыхательных аппаратов. Во время менее продолжительных заплывов они обычно достигали глубины 70 м, а иногда и 110 м, т. е. уступа, нависающего над вертикальной скалой, которая на глубине до 300 м окружает рифы Красного моря.

Так как кондиционирование воздуха в их «доме» было обеспечено плохо, они очень страдали от жары и высокой влажности. Несмотря на это, их усталость по окончании опыта была почти незаметна и носила мимолетный характер.

Снабжение малого «дома» обеспечивалось обитателями большого «дома», которые могли подолгу оставаться на глубине 25 м, в то время как продолжительность пребывания в нем водолазов, опускавшихся с поверхности, была строго ограничена.

Все необходимое доставлялось в оба «дома» водолазами, опускавшимися с поверхности, в герметизированных сосудах различной емкости

(от 5 до 500 л), нагруженных балластом и обладающих безразличным равновесием; наибольшее распространение получили слегка видоизмененные «кастрюли-скороварки».

Многие предметы, например бутылки с вином, баллоны со сжатым газом или лед, которым пытались компенсировать недостатки системы кондиционирования воздуха в малом «доме», доставлялись без герметизированной упаковки.

В общем подводная деятельность, которой благоприятствовала температура воды, была очень интенсивной.

Лучшему использованию услуг нескольких базировавшихся на поверхности водолазов, выполнявших огромную работу, в значительной степени способствовало наличие «подводных домов». Они служили надежным убежищем в случае какого-либо происшествия и в значительной степени способствовали декомпрессии водолазов во время их приятного пребывания среди товарищей в большом «доме». Для самих океанавтов создавались большие возможности: они могли работать спокойно, не торопясь, так как продолжительность их погружений ограничивалась лишь сроком автономной работы аппаратов, которые имели большую емкость и могли быть заменены по мере надобности. Глубина погружения составляла 25 м для обитателей большого «дома» и 50 м для обитателей малого «дома», которые при этом испытывали временное ослабление наркоза, вызываемого, вероятно, 50-процентным содержанием гелия в атмосфере их жилища.

Во время проведения этих опытов Управлением морских научных исследований Морского флота США и Эд. Линком параллельно были проведены еще две серии экспериментов.

Под руководством Эд. Линка бельгийский водолаз Стеню предпринял две смелые попытки. Первая, в сентябре 1962 г., за несколько дней до опыта с «Диогеном», была прервана из-за плохой погоды. Стеню провел 24 ч в тесной декомпрессионной камере на глубине 60 м. При подъеме, длившемся 67 ч, в результате декомпрессии с ним произошел несчастный случай, последствия которого были успешно ликвидированы.

Вторая попытка была предпринята в июне 1964 г., за несколько дней до начала опыта «Силаб I», вблизи Багамских островов. На этот раз Стеню был не один: его сопровождал Джон Линдберг. Их «пристанище», расположенное на глубине 130 м, представляло собой надувную «палатку». Их пребывание под водой, включавшее несколько выходов в океан, длилось 48 ч. Во время декомпрессии (92 ч) со Стеню вновь произошел несчастный случай, но без серьезных последствий.

Серия опытов «Человек в море» Морского флота США под руководством д-ра Джорджа Бонда, о которой нам известно несколько больше, свидетельствовала об очень осторожном подходе к разрешению проблемы. С 1959 по 1964 г. последовал ряд лабораторных экспериментов на животных, а затем уже на человеке.

В сентябре 1963 г. три человека провели 12 дней в камере, давление в которой соответствовало давлению на глубине 60 м. Атмосфера состояла из смеси воздуха и гелия.

Первый практический опыт «Силаб I» был проведен в районе Бермудских островов вблизи о. Аргус с 20 по 30 июля 1964 г. на глубине 56 м. Четверо океанавтов, которыми руководил д-р Томсон, находились в доме, получившем название «Силаб I» (морская лаборатория I). Опыт прошел вполне удачно, несмотря на некоторые технические трудности, и океанавты были подвергнуты 55-часовой декомпрессии, перенесенной ими без всяких осложнений.

Многочисленные выходы в океан осуществлялись поблизости от «Силаб I» и обычно вместе с группами водолазов, спускавшихся

с поверхности, продолжительность работы которых на этой глубине была строго ограничена.

Итак, результаты проведения шести практических опытов следующие: длительное пребывание под водой (от 2 до 30 дней), увеличение численности групп (всего под водой побывало 16 человек — единичные выходы и группами до пяти человек), достижение глубин от 10 до 140 м.

На основании результатов лабораторных экспериментов можно сделать вывод о том, что физиологические проблемы не мешают достижению глубины погружения 200 м, а психологические проблемы не являются неразрешимыми, так как практически океанавтам не придется находиться под водой несколько недель, а их замена не представляет никаких трудностей.

Технические проблемы, особенно связанные с погружением поблизости от домов и с обеспечением безопасности океанавтов при несчастных случаях, разрешены в настоящее время хуже. Но и они, несомненно, будут разрешены, так как опыт будущих экспедиций поможет более тщательно оценить различные решения и выбрать лучшие из них.

Программа исследований Морского флота США в связи с успешным завершением эксперимента «Силаб I» предусматривает умеренное увеличение глубины, но более длительное пребывание под водой и увеличение числа участников с целью дальнейшего освоения техники.

---

## ЧЕЛОВЕК В МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ<sup>1</sup>

*Роберт П. Стенут*

Использование человека в морских исследованиях при помощи капсулы изобретателя Э. А. Линка дало возможность проделать полезную работу и открыло перспективы длительного безопасного пребывания человека в морских толщах на больших глубинах.

Капсула Линка является высокоманевренным подводным судном. Оно может служить наблюдательной камерой, водолазным колоколом, подводной декомпрессионной камерой, из которой водолаз, снабженный устройством для дыхания, рекомпрессионной или экспериментальной гипербарической камерой, может выходить под водой и работать вблизи дна.

Капсула Линка — это легированный сварной алюминиевый цилиндр высотой 3,35 м и 940 мм в диаметре. Цилиндр укрепляется при помощи якоря на дне. Он разделен воздухонепроницаемой перегородкой на две части. В нем имеются установка для выработки дыхательного газа, аварийная силовая установка и другое оборудование; может снабжаться газом и электроэнергией с поверхностного судна по шлангу и кабелю.

### ПЕРВОЕ ПОГРУЖЕНИЕ В МОРЕ

Многолетние приготовления при сотрудничестве Морской медицинской исследовательской лаборатории в Нью Лондоне и Компании экспериментального водолазного оборудования в Вашингтоне, включавшие экспериментирование с животными, завершились первой фазой ис-

<sup>1</sup> № 423.

пользования человека в морских исследованиях в начале сентября 1962 г. Со своего исследовательского морского водолазного судна Э. А. Линк спускал человека на глубину 61 м в Средиземном море, и человек оставался и работал на этой глубине более 24 ч. Автор этой статьи и был этим человеком. Он мог работать по желанию вне цилиндра, в который должен был заходить отдыхать, есть и спать. Дышал смесью кислорода (3—4%) и гелия. После 26 ч пребывания на глубине 61 м он был поднят на палубу судна в загерметизированном цилиндре и прошел декомпрессию в том же цилиндре, расположенном горизонтально, в течение около 67 ч, т. е. с очень медленным профилем декомпрессии.

На основании этого первого длительного пребывания на морском дне были получены следующие новые сведения: 1) гелий, широко использовавшийся американским флотом только для кратковременных глубинных работ, не обладает наркотическим действием даже после полного насыщения на глубине 61 м; 2) легочная вентиляция удовлетворительна, легочного утомления или задержания  $\text{CO}_2$  не наблюдалось; даже после полного насыщения на глубине 61 м освобождение было проведено без осложнений; 3) физиологически возможно, психологически допустимо жить человеку одному в течение суток под водой в доме или каком-либо укрытии; 4) то же самое судно можно использовать в качестве подводного подъемника, укрытия для водолазов на дне, подводной декомпрессионной камеры и декомпрессионной камеры на палубе.

### САМОЕ ГЛУБОКОЕ И САМОЕ ДЛИТЕЛЬНОЕ ПОГРУЖЕНИЕ

В процессе подготовки второй фазы значительную поддержку оказали Национальное географическое общество и Смитсоновский институт, Пенсильванский университет, а также Морские силы США и Компания экспериментального водолазного оборудования в Вашингтоне, которые провели обширные исследования по сухому насыщению при давлениях, соответствовавших погружению на глубины, постепенно увеличивавшиеся до 122 м.

Одновременно разрабатывались необычайно сложные вопросы обогрева и борьбы с увлажнением. Необходимо было также решить проблемы водолазных костюмов, коммуникаций между дном и поверхностью, подводной аппаратуры для дыхания и анализов газа под давлением. Многочисленные предварительные испытания были проведены на борту судна в Вашингтоне, в Кей Вест и Майами, а также вблизи Багамских островов.

В июле 1964 г. два водолаза в цилиндре Линка были спущены на глубину 132 м. Достигнув дна, они подняли давление в цилиндре, открыли заслонки и поплыли к подводному разборному наполненному воздухом жилищу — резиновому сооружению, поставленному при помощи якоря на дно на глубине 132 м. Сооружение имело длину около 2,5 м и диаметр 1,2 м и было почти полностью автономным. Два человека, в том числе и автор настоящей статьи, оставались в этом доме двое суток, работая снаружи вокруг сооружения помногу часов в день и заходя внутрь для отдыха, приема пищи и сна. Они дышали смесью кислорода и гелия (5—6%  $\text{O}_2$ ). После успешного пребывания на этой глубине оба человека снова подплыли к цилиндру Линка, перекрыли люки и были подняты на борт, где цилиндр был соединен с более просторной и комфортабельной палубной декомпрессионной камерой, в которой они оставались в течение 96-часового периода декомпрессии.

Это погружение было и еще остается, насколько известно, самым длительным и самым глубоким, когда-либо совершенным человеком.

Оно подтвердило приемлемость на практике режима декомпрессии для нольного насыщения при погружениях, который был сначала получен экспериментальным путем в сухих камерах, так же как и допустимость установленных заранее окружающих условий.

С точки зрения специальных интересов нефтяной промышленности этот эксперимент продемонстрировал возможность безопасной работы и эффективность использования подводных жилищ для небольших команд подводных рабочих, погружаемых с маленьких судов, при небольших затратах.

Применение резиновых жилищ показало их большую экономичность в отношении веса, строительства, транспортировки, хранения, установки и т. д.

В начале 1965 г. проблема использования человека в морских исследованиях была официально поставлена перед фирмами Оушен системз инкорпорейшн и Дженерал пресижиж экипмент. Цели этой новой компании были следующие.

1. Развить и сделать обычными для нефтяной промышленности, спасательных объединений и т. д. безопасные и экономичные погружения людей по всему континентальному шельфу. Для осуществления этих процессов необходимо использовать новые газовые смеси, новое оборудование и новые водолазные камеры. Фирма Оушен системз надеется обеспечить работу всех водолазов в глубоких водах подводной базой, подводной декомпрессионной камерой для кратковременных выходов (может быть, на несколько часов) и полностью оборудованным жилищем для многодневного пребывания и работы. Такие базы резко увеличат безопасность и эффективность работ водолазов.

2. Разработать и снабдить рабочих новыми инструментами, которые расширят возможности их работы.

3. Усовершенствовать эти технические средства до такой степени, чтобы успешно использовать для любых специальных работ и в особенности в нефтяной промышленности.

4. В перспективе развить и сделать обычным длительное пребывание на дне моря высококвалифицированных подводных специалистов, живущих в подводных домах и работающих по соседству с подводными надувными камерами.

5. Фирма Оушен системз проводит также исследования в области декомпрессии, действия инертных газов при высоком давлении, физиологического воздействия кислорода и т. д. Программа экспериментирования с гипербарическими давлениями на животных также будет значительно расширена.

---

## НОВЕЙШИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ

*Х. Дак Вилсон<sup>1</sup>*

По мере того как нефтяная промышленность в поисках нефтеносных территорий уходила все дальше от берега в море, различия в условиях разведки по сравнению с прибрежными становились все бо-

<sup>1</sup> Управляющий водолазами морского бурения в г. Санта Барбара. Калифорния, США. № 423а.

лее резко выраженными. Традиционная техника бурения была постепенно приспособлена к условиям работы в более глубоких водах. В состав рабочей бригады включился водолаз. Однако с увеличением глубины погружения возникли сомнения в возможности для человека работать под большими давлениями. Водолазы, дышащие воздухом, стали испытывать воздействие азотного наркоза, и производительность их труда сильно упала. Поэтому в нефтяной промышленности начались поиски дистанционных или автоматических систем, которые позволили бы избежать использования водолазов.

Разработка этих систем связана с большими затратами на исследования, а также на производство, приобретение и эксплуатацию разработанных устройств. Надежность таких автоматических систем пока не гарантирована. Часто в затруднительных обстоятельствах для успеха операции очень желательно или даже необходимо присутствие человека.

В настоящее время подводное плавание вступило в новую эру. Оно уже не является рискованным развлечением или побочной профессией немногих храбрецов. Люди, которые эксплуатируют новые средства для подводных работ, — это «подводные инженеры», специалисты новой профессии, которая требует высокой степени технического мастерства и тренированности.

Обширный опыт подводной работы был накоплен уже при выполнении периодических заданий нефтяной промышленности. С 1962 г. работники Оффшор Дайперс (филиал компании Оушен системз) сделали свыше 600 погружений на глубину от 75 до 125 м для нефтяных компаний Западного побережья, используя при этом специальную дыхательную смесь. Подводные инженеры подробно ознакомлены с различными системами, используемыми нефтяной промышленностью, и часто дают рекомендации по более эффективному их применению.

В результате совершенствования технологии и техники подводных операций повысились их эффективность и безопасность, уменьшились, иногда в 3—4 раза, также расходы нефтяных предприятий на подводные погружения. Описываемые ниже новые системы представляют дальнейшие попытки в этом направлении. Хотя производство этих систем и управление ими стоят дороже, но эффективность их выше и общая стоимость работ будет уменьшена.

В связи со все большим развитием морских разведочных работ на нефть в районах с глубиной свыше 120 м, где обычная водолазная техника становится менее эффективной, возникают две основные проблемы. Одна из них — чрезмерное сопротивление движению, которое оказывают даже незначительные течения, воздействуя на длинный воздушный шланг водолаза. Другая проблема — длительный период декомпрессии, необходимый после погружения, заключающийся в выдерживании водолаза на различных глубинах. Очень длинные периоды декомпрессии в холодной воде опасны для здоровья водолаза, физически изнурительны и дорого обходятся в смысле затрат времени на бурение.

Наилучшим решением проблемы больших глубин, по-видимому, будет перенесение непосредственной базы операций водолаза с поверхности ближе к месту его работы. Чтобы осуществить эту идею, компания Оушен системз разработала новейшие средства для подводных работ, обозначаемые ADS. При использовании ADS подводнику, чтобы попасть к месту работы, нужно преодолеть всего лишь несколько метров. Система ADS сконструирована таким образом, что позволяет подводникам проходить декомпрессию в теплой и сухой среде в условиях тщательного контроля за их состоянием.

## ОПИСАНИЕ СРЕДСТВ

Система новейших средств ADS для подводных работ должна быть гибкой, с тем чтобы ее можно было приспособить к индивидуальным требованиям отдельного заказчика. Основные компоненты устроены так, что они могут быть переконструированы или модифицированы применительно к различным особенностям рабочих условий. В этом разделе описываются три системы, которые были специально сконструированы для нужд нефтедобывающей промышленности. Вот эти системы:

ADS II — подводная декомпрессионная камера SDC с двумя отделениями;

ADS III — SDC с двумя отделениями и сопряженным палубным декомпрессионным отделением (DDC);

ADS IV — SDC с одним отделением и с сопряженным DDC.

Основным компонентом каждой разновидности ADS является подводная декомпрессионная камера SDC. Она спускается и поднимается на тросах и транспортирует подводников с поверхности к месту работы и обратно. Во время транспортировки в SDC подводник находится в теплой и сухой среде, благодаря чему его физическое напряжение уменьшается. Расположенная на дне, SDC является для подводника близким убежищем и средством, в котором он может проходить длительную декомпрессию в спокойных условиях. Вариант SDC из двух отделений позволяет инженеру наблюдать за работой подводников из верхнего отделения, находясь под атмосферным давлением.

Все эти средства для подводных работ сконструированы таким образом, чтобы обеспечить подводнику максимум безопасности и увеличить производительность его труда при минимуме усложнения конструкции.

В системе ADS каждая подводная декомпрессионная камера имеет:

а) грузовые пластинки, обеспечивающие SDC собственную положительную плавучесть и позволяющие ей всплывать на поверхность в случае необходимости;

б) балласт, который придает SDC первоначальную отрицательную плавучесть и может быть сброшен находящимися в SDC людьми для сообщения ей положительной плавучести;

в) отопление, свет, санитарные удобства, воду и продукты питания;

г) внутренний источник кислорода, аккумуляторный ток и систему поглощения углекислоты, дающие возможность жить 96 ч без помощи извне;

д) иллюминаторы из плексигласа в виде усеченного конуса, обеспечивающие максимальную видимость, и наружные прожекторы для освещения района действий;

е) дополнительное, хотя и ограниченное пространство, позволяющее разместить лишних 300 фунтов груза и предусмотренное для специального оборудования.

Подача электрического тока, снабжение дыхательными газовыми смесями и сообщение по проводам (голос и изображение) могут осуществляться при помощи силового, электрического и коммуникационного кабеля SPCC, который представляет собой единое целое и соединяет SDC с кораблем или платформой на поверхности. Кабель имеет достаточную прочность для того, чтобы держать в воде нагруженную балластом SDC и поднимать ее на поверхность. Соединение кабеля со шлангом намотано на лебедку, приводимую в действие пневматическим двигателем.

Каждая из этих систем для подводной работы отличается новыми

принципами конструирования одежды водолаза, устройства шлема и дыхательных механизмов. Эти нововведения способствуют лучшей свободе движений водолаза и повышению производительности его труда.

При необходимости документации можно использовать подводное телевидение, включающее видеозапись, и кино- или фотографию.

Все системы ADS должны поддерживаться с поверхности. Размещенные на ADS специальные устройства будут получать электрический ток и воздух с борта корабля или платформы, расположенных на поверхности.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ADS

Все системы ADS хранятся на судне в готовом виде. Периодические осмотры всех компонентов ADS техническими представителями компании «Оушен системз» гарантируют ее готовность к погружению. Предусмотрены графики профилактического ремонта и бланки проверки готовности.

Когда возникает необходимость использовать ADS, оперативная команда поднимается на борт корабля. Пока инженерный персонал инструктирует техников-водолазов, специалист по техническому обслуживанию проверяет готовность всех компонентов ADS к погружению. Когда подготовительная работа закончена, рабочие-водолазы, операторы SDC и наблюдатели занимают свои места в обоих отделениях SDC. Затем экипаж сигнализирует о своей готовности к погружению, и SDC с борта корабля спускается на воду. SDC может погружаться по направляющему устройству или под действием собственной отрицательной плавучести. Во время погружения и обследования места работы весь экипаж находится под атмосферным давлением. После того как точно определен род работы, начинается нагнетание дыхательной газовой смеси для выравнивания давления с внешним в отделении рабочего-водолаза. Этот процесс может контролироваться из SDC или с корабля на поверхности.

Когда водолаз привел давление в своем отделении к давлению на рабочей глубине, он может открыть нижний люк, надеть дыхательное снаряжение и направиться к месту работы. Газ для дыхания подается водолазу по шлангу с SDC. Шланг и телефонный провод водолаз вытягивает сам из SDC. Инженерный персонал может наблюдать за работой водолаза и руководить ею из обоих отделений SDC, причем в верхнем отделении он остается под нормальным атмосферным давлением. Между водолазом, экипажем SDC и кораблем на поверхности имеется постоянная связь. Сейчас активно изыскиваются способы преодоления неразборчивости голоса в атмосфере с повышенным давлением гелия.

Для целей документации можно применять телевизионную кино- или фотокамеру.

Предусмотренные в системе ADS усовершенствования одежды водолаза и защита его от подводных опасностей благодаря близости SDS позволяют водолазу находиться на рабочем месте в течение длительного времени. Инженерный персонал верхнего отделения двухкамерного варианта SDC наблюдает и активно руководит водолазом в течение всей его работы.

После выполнения работы водолаз возвращается в SDC. В двухкамерной SDC первый экипаж подводников может обменяться местами с резервным экипажем из верхнего отделения. При этом второй экипаж может выйти наружу и продолжить работу, в то время как первый подвергается декомпрессии в верхнем отделении. По окончании работы подводники герметизируют все люки SDC и поднимаются на палубу корабля.

Вплоть до этого момента рабочие операции каждой ADS идентичны (за исключением однокамерного варианта). Специфические возможности каждой системы описываются в следующем разделе.

Продолжающиеся исследования по усовершенствованию конструкции и эксплуатационных свойств системы позволяют улучшить ее работу в целом и отдельных частей.

Когда будет подробно изучена физиология газонасыщения крови водолаза, появятся другие методы работы под водой. Согласно одной из существующих точек зрения команда водолазов может спуститься на дно к месту своей работы, выполнить дневную работу и возвратиться на поверхность. На остальное время водолазы переводятся в палубную камеру, а затем снова входят в SDC и повторяют рабочий цикл.

### ОСНАЩЕНИЕ ПРИБОРАМИ

Камеры ADS оснащены приборами, которые дают водолазам возможность работать в темноте и в условиях плохой видимости в мутной воде. В большинстве континентальных мелких мест рассеянный солнечный свет не проникает на дно. Кроме того, мутность может уменьшать видимость вплоть до 30 см.

ADS и SDC оснащены необходимыми инструментами для определения внутреннего давления, внешнего давления и температуры воды. В определенных случаях, когда необходима ориентация, система снабжается компасом. Для измерения расстояния до дна может быть придан усовершенствованный эхолот со шкалами в верхнем и нижнем отделениях. В приборе имеются две шкалы: одна используется во время погружения и подъема, другая предназначена для отсчета расстояния от дна или какого-либо подводного объекта при неподвижном положении ADS. Для определения глубины точно над камерой датчик испускает узкий луч (7—9°).

Помимо оборудования, смонтированного в корпусе и используемого для контроля, имеется портативное внешнее оборудование для водолаза, находящегося вне камеры. Оборудование представляет собой «ручной водолазный сонар» — ручной следящий гидрофон и запас акустических сигналов для отметки подводного объекта. Сонар сконструирован на транзисторах, удобен в пользовании и может работать тремя способами: активным поиском эха, пассивным слежением и измерениями в движении с использованием эффекта Допплера. Сонар имеет три диапазона: 20, 60 и 120 ярдов (18, 55 и 110 м).

Испуская пучок лучей в 9°, этот прибор может направить водолаза с расстояния в 9 м на объект величиной всего с двадцатилитровую коробку краски. Следящий гидрофон может быть использован также для определения местоположения SDC над предварительно отмеченным объектом. Портативным гидрофоном может пользоваться находящийся вне камеры водолаз для отыскания акустически меченого объекта. Это оборудование является тем же самым, что и применяемое военным флотом США для нахождения затопленных и потерянных торпед. Применяются два типа акустических сигналов: сигналы долгого действия (до одного года), дальностью действия до 1,8 км, и сигналы короткого действия для местного использования водолазами, когда необходимы повторные операции.

Можно применять также подводное телевидение. Камера с 12-метровым кабелем укрепляется на ADS снаружи. Водолаз может снять ее и отнести на объект, который необходимо осмотреть. На SDC имеется маленький контрольный прибор для страховки водолаза. Видео-сигнал передается по кабелю также и на поверхность для видеомагнитофонной записи.

## ADS II

ADS II состоит из двухкамерной SDC, силового электрического коммуникационного кабеля, палубной лебедки, системы подачи газа и другого снаряжения, необходимого для работы системы: водолазной одежды, инструментов и др. Приводим некоторые технические данные ADS II.

Высота (общая без балластного веса), м . . . . .	3,66
Высота (общая с балластным весом), м . . . . .	5,50
Внутренний диаметр сферы, м . . . . .	1,52
Внутренний диаметр цилиндра, м . . . . .	1,68
Максимальный наружный диаметр, м . . . . .	1,68
Вес в воздухе без балласта, кг . . . . .	3300
Вес в воздухе с балластом, кг . . . . .	4230
Водоизмещение на поверхности без балласта, кг . . . . .	3555
Водоизмещение при погружении с балластом, кг . . . . .	3780

Имеются два двойных люка и люк внутри камеры. Пара люков *D* и *E* находится вверху верхнего отделения, одиночный люк *C* — между двумя отделениями и вторая пара *A* и *B* — на дне нижнего отделения. Такое расположение люков позволяет герметически закрывать отделения либо по отдельности, либо одновременно, чем сильно расширяются возможности использования камеры.

При нормальном погружении к месту работы верхнее отделение занято наблюдателем или резервной командой, а нижнее — рабочей командой. Обе камеры во время погружения и предварительной визуальной оценки работы находятся под атмосферным давлением. Приготовившись начать работу, рабочая команда доводит давление в нижнем отделении до величины внешнего давления и открывает люк *A*. Водолаз надевает свою дыхательную аппаратуру, выходит через открытый люк и направляется к месту работы, неся с собой шланг и коммуникационный кабель. Второй член команды помогает протаскивать их через открытый люк. Он одет и может в случае необходимости выйти на помощь первому члену команды. Необходимо отметить, что сопротивление горизонтальных шлангов ничтожно по сравнению с сопротивлением ранее применявшихся длинных шлангов с поверхности. Это помогает водолазу применять меньшие физические усилия при маневрировании на дне. А тем временем наблюдатель или резервная команда в верхнем отделении, оставаясь при атмосферном давлении, контролируют безопасность водолаза и выполнение им работы при помощи различных способов сообщения и наблюдения.

По выполнении задания рабочей-водолаз возвращается в нижнее отделение и закрывает люки *A* и *B*. Тут же вступает в действие график его декомпрессии, контролируемый или с поверхности, или в самой камере. Попутно контроль осуществляется и в верхнем отделении. Как только нижние люки закрыты, SDC может быть вынута из воды и за несколько минут уложена на палубу.

Когда SDC окажется на палубе, резервная команда или наблюдатель выходят наружу через люки *D* и *E*, в то время как рабочая команда в нижнем отделении продолжает подвергаться декомпрессии по графику.

График декомпрессии, осуществляемой в камере, может контролироваться с большей точностью, чем в воде. Это позволяет разработать и использовать безопасные, эффективные процедуры, которые ранее были невозможны.

Если задание рассчитано более чем на один выход одной рабочей команды, SDC может работать «сериями». Первая команда выполняет большую часть всей необходимой работы, возвращается в нижнее отделение, закрывает люк *A* и уменьшает давление до первой

ступени декомпрессии. Вторая команда нагнетает газ в верхнем отделении и открывает люк С. Команды обмениваются местами и закрывают люк С. Вторая команда уравнивает давление в нижнем отделении с давлением под водой и заканчивает работу, в то время как первая команда продолжает проходить декомпрессию в верхнем отделении. По окончании работы на дне последний водолаз возвращается в SDC и закрывает люки А и В. SDC поднимают на палубу и каждая команда проходит декомпрессию независимо друг от друга, каждая в своем отделении.

Еще один полезный способ работы ADS II с SDC позволяет персоналу из верхнего отделения наблюдать за работой под водой одного или двух водолазов, находясь под атмосферным давлением: люки С и D остаются закрытыми на протяжении всей операции. При этом способе водолазы работают поочередно: когда один погружается на дно, второй остается в нижнем отделении сухим в качестве запасного.

### ADS III

ADS III еще больше расширяет возможности ADS II тем, что в ее систему включена палубная декомпрессионная камера DDC, соединяющаяся с SDC через соответствующее устройство. SDC системы ADS III показана на рис. 1. На дне имеется уплотнительный фланец, при помощи которого камера может быть присоединена к палубной декомпрессионной камере DDC.

Способы работы ADS III с SDC в воде идентичны описанным выше способам работы ADS II. Принципиальное отличие ADS III заключается в том, что большая часть графика декомпрессии водолазов может быть осуществлена в палубной камере. После выполнения задания SDC поднимают на палубу и герметически присоединяют к DDC. Давление в DDC приводят к давлению нижнего отделения SDC, после чего открывают соединительные люки, позволяя водолазам перейти в DDC. Люк DDC закрывается, и после спуска давления SDC может быть отсоединена и немедленно использована для следующего погружения. Вторая команда

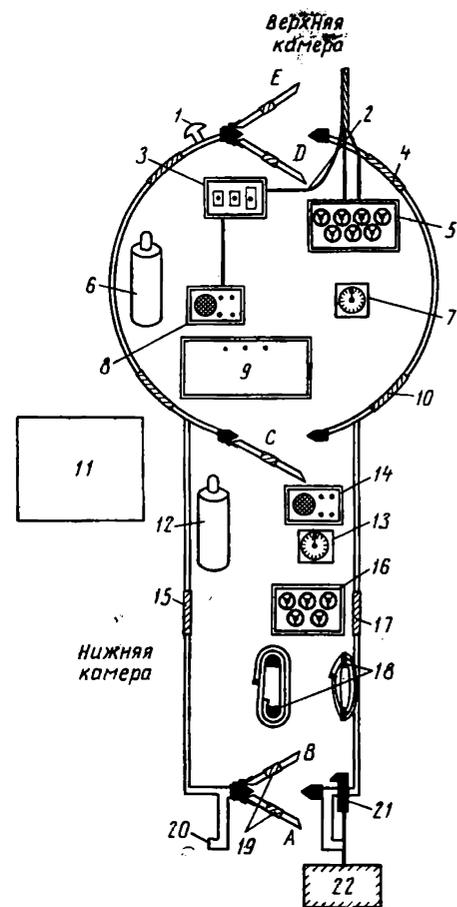


Рис. 1. ADS III.

1 — звукоприемник; 2 — электрический кабель; 3 — предохранители и фидер; 4, 10 — иллюминаторы; 5 — контрольная линия давления SDC; 6, 12 — поглотители CO<sub>2</sub>; 7, 13 — глубиномеры; 8 — громкоговоритель связи; 9 — анализатор атмосферы; 11 — обе камеры оборудованы сиденьями, привязанными ремнями, предохранительными шлемами; 14 — громкоговоритель связи; 15, 17 — смотровые иллюминаторы; 16 — линия подачи воздуха; 18 — барабаны для водолазных шлангов; 19 — иллюминаторы (на каждом люке); 20 — донный запор на фланце; 21 — механизм освобождения от балласта; 22 — балласт.

водолазов, например, может быть отправлена к месту работы в той же SDC. Эта команда по возвращении на поверхность может проходить декомпрессию внутри SDC, если первая команда к тому времени еще не закончила декомпрессию в палубной камере.

ADS III дает возможность интенсивно использовать средства подводных операций и легко осуществлять последовательное поочередное выполнение работ командами водолазов.

DDC может быть снабжена несколькими отделениями для одновременного осуществления декомпрессии более чем одной команды. Система дает максимальную гарантию надежного выполнения по графику даже длительных процессов работы.

ADS III приспособлена для работы в комплексе с еще более новым средством, разработанным и испытанным компанией Оушен системз. Водолазы транспортируются к месту работы при помощи SDC, а работают они в стационарном убежище, используя его как сухую рабочую комнату или как базу для выходов под воду. После продолжительного нахождения под водой они при помощи SDC поднимаются на поверхность и проходят декомпрессию в DDC. Таким образом, объединены три элемента, дающие возможность эффективной подводной работы: база на дне океана (убежище), транспортное средство (SDC) и средство декомпрессии на поверхности (DDC). Посредством этой системы основные возможности человека в море приближаются к возможностям человека на суше.

### ADS IV

ADS IV использует одиночную камеру SDC, изображенную на рис. 2, и палубную декомпрессионную камеру DDC (или ее модификацию) системы ADS III. Нормальный способ работы аналогичен способу, описанному выше для нижнего отделения ADS II. Однако, когда команда поднята на поверхность, ее можно перевести в палубную камеру и SDC немедленно использовать для погружения следующей команды. SDC можно использовать также для инспекций, сохраняя в камере атмосферное давление. Квалифицированные инженеры могут опускаться вместе с инспектором и помогать ему управлять SDC. Благодаря устройству, позволяющему соединять SDC и DDC, ADS IV можно совместить с упоминавшимся выше еще более новым средством.

Основными преимуществами ADS IV являются ее простота, относительно малый размер и компактность. Ее вес составляет только около половины веса двухкамерной ADS, стоимость ее меньше. Кроме того, с этой системой легко оперировать на борту корабля и требуется меньше времени для приведения ее в готовность. Однако ADS IV не дает возможности вести наблюдения за работой водолаза из камеры под атмосферным давлением и не может транспортировать на рабочее место две команды одновременно.

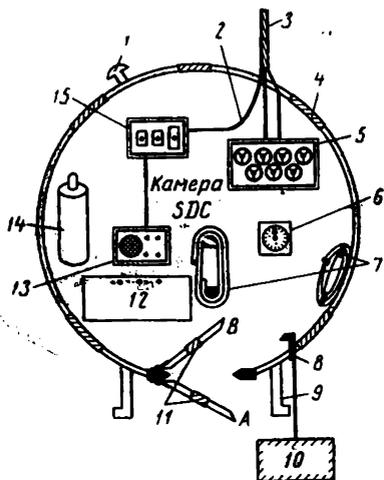


Рис. 2. ADS IV.

- 1 — звукоприемник; 2 — электрический кабель; 3 — шланг сообщения с поверхностью; 4 — иллюминатор; 5 — линия подачи воздуха; 6 — глубиномер; 7 — барабаны для водолазных шлангов; 8 — механизм освобождения от балласта; 9 — донный запор на фланце; 10 — балласт; 11 — иллюминаторы (на каждом люке); 12 — анализатор атмосферы; 13 — громкоговоритель связи; 14 — поглотитель CO<sub>2</sub>; 15 — предохранитель и фидер.

# ПОДВОДНАЯ РАБОТА ВОДОЛАЗОВ

А. Саллен<sup>1</sup>

## ВОДОЛАЗНАЯ ТЕХНИКА

По имеющимся сведениям профессия водолаза наиболее широко распространена во Франции. Несколько специализированных фирм, производящих водолазное оборудование, делят весь рынок. Некоторые из них широко экспортируют свою технику за границу. Однако диапазон их деятельности относительный: персонал наиболее значительных из них не превышает сотни специалистов.

Большие достижения сделаны отдельными водолазами или небольшими командами. Эти водолазы подчиняются компании Джeneral контрактос или работают на своем собственном обеспечении.

Но только крупные фирмы, с мощным техническим оснащением и располагающие возможностями технического прогресса действительно в состоянии осваивать большие подводные участки.

Важно отметить, что водолазное дело всегда базировалось на союзе водолазной и обычной береговой техники.

Водолазы имеют в своем распоряжении водолазное оборудование, подобное применяемому в подводном спорте, например автономный водолазный аппарат подачи сжатого воздуха конструкции Кусто-Ганьяна. Для небольших погружений они пользуются одеждой из неопрена.

Если ожидается большой объем работы, водолаз облачается в непромокаемый костюм с «постоянным объемом». Через клапан на спине водолазного костюма подается воздух от компрессора низкого давления, установленного на поверхности, по очень гибкому воздушному шлангу, внутри которого часто проходят телефонные провода. Хорошую изоляцию от холодной воды создает шерстяная нижняя одежда водолаза.

Водолаз работает под водой 3 ч в день под наблюдением другого водолаза, находящегося на поверхности. Каждая водолазная бригада имеет шестичасовой рабочий день под водой с подменой водолазов через 3 ч. Таким образом, ничто не мешает координации труда с поверхностными рабочими в пределах большого участка работ.

При работе на небольшой глубине, до 12 м, во время подъема не требуется никаких ступеней для уменьшения давления, но при больших глубинах стадии уменьшения давления имеют определенную продолжительность. Предел глубины спуска при дыхании воздухом составляет 80 м, но пребывание на этой глубине должно быть очень коротким.

При увеличении содержания кислорода в воздухе не требуется никаких стадий уменьшения давления для спусков на глубину до 25 м.

Используя синтетические смеси, особенно с гелием, водолаз может достигнуть значительно больших глубин или более длительное время оставаться на дне. В настоящее время подводные территории могут быть освоены человеком до глубины 150 м. Для работ на больших глубинах и для освоения всего континентального шельфа, по-видимому, необходимо предусмотреть более длительное пребывание человека под водой. Комфортабельные жилища могут избавить водолазов от влияния компрессии и декомпрессии в продолжение, например, не менее недели или, может быть, месяца. Но прежде чем осуществить работы таким методом, необходимо провести еще ряд исследований.

<sup>1</sup> Генеральная компания морских и речных работ, Франция. № 418.

В нефтяной промышленности водолазные работы применяются для выполнения следующих операций:

- бетонирования;
- очистки и защиты материалов — очистки от налета, окраски, пригрузки песком, покрытия металлами;
- обслуживания подводных механизмов и задвижек;
- укладки кабелей и трубопроводов;
- установки стационарных («мертвых») якорей;
- резки металлов или выполнения железобетонных работ, забивки свай;
- подводной сварки;
- обследования трубопроводов, проверки механических частей;
- контроля за подводными частями во время работы;
- подводных топографических и геологических исследований при помощи отбора проб с поверхности или путем отбора керна;
- телевидения, кино съемок и фотографии;
- укладки материалов;
- установки и охраны научной аппаратуры;
- сборки и демонтажа;
- поисков потерянных предметов;
- аварийного ремонта.

Для выполнения перечисленных работ используются специальные инструменты и приспособления:

- пневматический бетоноукладчик;
- отбойный молоток, бетонолом;
- пневматическое сверло, гидравлическая землечерпалка, гидро-мониторы;
- устройство для забивки свай, вибромолот;
- взрывчатка для подводного взрывания;
- электрическая резка в кислороде, электросварочный аппарат;
- плазменная горелка для резки, форсунки;
- термический наконечник;
- специальная оптика для фотографии, телевидения и кино съемок.

При использовании на больших глубинах пневматические инструменты должны быть переведены на гидравлический или электрический привод.

Отметим, что подводные работы нуждаются в помощи с поверхности не более чем бурение в открытом море нуждается в помощи с берега.

#### УЧАСТОК ПОВДОННЫХ РАБОТ

Главные трудности создаются конкретными морскими условиями.

**Глубина.** Несмотря на существующую тенденцию освоения все больших глубин, глубина современных нефтяных месторождений не слишком большая. Недавно опубликованные исследования показали, что преобладающая часть нефтяных месторождений находится в мелких водах — на глубине от 5 до 30 м, некоторые от 30 до 40 м, в то время как водолазам удалось выполнить работу по разрушению бетонной дамбы на глубине 80 м.

**Плохая погода.** Глубже 30 м волны не оказывают никакого действия; практически на глубине можно пренебречь поднявшимся волнением.

Если работа требует подводной декомпрессионной камеры, лучше опустить ее с платформы, если это возможно.

Вблизи побережья водолазов могут беспокоить приливо-отливные течения, но у дна они менее заметны.

Низкая температура воды и ее корродирующее действие являются помехой в работе, мутность только затягивает ее выполнение.

Только специалисты-нефтяники, знакомые с возможностями водолазов, в состоянии дать заключение о видах работ, которые могут быть им поручены.

Предварительно можно наметить следующие вопросы:

- помощь в геологических и геофизических исследованиях;
- исследование мест для установки стационарных буровых платформ, обследование и обслуживание металлических конструкций, поиски потерянных инструментов;
- завершение освоения нефтяных месторождений, монтаж конструкций, огораживание устьев скважин, прокладка трубопроводов и катодной защиты;
- обслуживание установок;
- обслуживание подводных сооружений для транспортировки нефти; укладка морских линий, установка причалов, сифонов.

На случай необходимости непрерывной помощи во время бурения в море в состав буровых бригад, по-видимому, будут включаться водолазы. Однако существует мнение, что нефтяные морские разработки должны быть полностью автоматизированы и необходимость спуска человека под воду должна быть исключена.

Эксперименты по использованию для этих целей «роботов» проведены с участием водолазов, но в будущем по мере развития автоматизации эта деятельность водолазов будет исключена. За водолазами могут быть оставлены обследование и ремонт этой аппаратуры.

При организации работ водолазов необходимо иметь ясное представление о глубине погружения и о морских условиях участка, о характере работы и ее объеме. На основе этих сведений выбирают вид водолазного снаряжения и наивыгоднейший способ выполнения работы. Затем составляют таблицу расчетов времени пребывания водолаза на дне и смены дыхательных смесей. Для непродолжительных работ вполне допустимо иметь несколько команд, чтобы не прерывать их. Есть примеры затраты 30 дней на работу, которая могла быть выполнена за 5 дней при непрерывном ведении ее.

В процесс управления работами на подводном участке должно быть включено также тщательное планирование работы поверхностных средств — судов с подъемными стрелами. В остальном управление подводными работами почти то же самое, что и поверхностными работами.

Для безопасности водолазов необходимо тщательно осуществлять:

- подбор их, специальное обучение, тренировку под медицинским наблюдением;
- использование возможно наилучшего оборудования, соответствующего климату, например, обязательное использование водонепроницаемых костюмов в холодной ( $< 15^{\circ}\text{C}$ ) или загрязненной воде;
- тщательное наблюдение за временем погружения и соблюдение ступеней изменения давления в соответствии с графиком декомпрессии (см. рисунок);
- установку предохранительного оборудования — декомпрессионных камер (палубных и подводных).

Современная водолазная техника позволяет водолазу работать почти так же точно, как и на поверхности, лишь несколько медленнее.

Качество выполняемых им работ по покрытию пластиками, сварке, бетонированию такое же, как на поверхности.

Много раз водолазам приходилось возобновлять работы, выполненные на поверхности, в связи с разрушительным влиянием моря. Насколько известно, обратного явления не отмечалось.

Контроль за работой на подводном участке может проводиться водолазом, инспектором или при помощи телевизионной камеры.

Приведем эмпирическую классификацию работ на разных глубинах.

От 0 до 40 м:

а) небольшое погружение (для исследования или ремонта — выполняется двумя водолазами с обычным оборудованием);

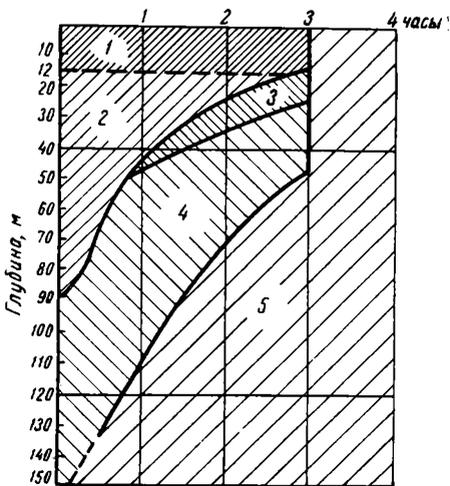
б) сложная работа (бригада формируется из трех водолазов, поддерживаемых поверхностными средствами; обслуживание может быть усилено несколькими рядовыми рабочими и плавающими механизмами).

Свыше 40 м:

в) краткосрочное погружение (с целью безопасности выполняется тремя водолазами одновременно; для этого используется компрессионная камера, которая является единственной тяжелой частью оборудования (135 кг);

г) длительное погружение (когда необходимо спуститься на глубину более 40 м на срок от 1 до 3 ч, работа поручается более чем троим водолазам и используется тяжелое оборудование — подводная декомпрессионная камера, баллоны со сжатым газом, подъемные стрелы, инструменты для работы и т. д.);

д) сложная работа (для успешности спуска необходимо использовать большее число водолазов под руководством специалиста и под наблюдением врача).



Эффективная продолжительность работы на дне.

1 — дыхание воздухом; 2 — дыхание воздухом из компрессионной камеры; 3 — дыхание смесью с увеличенным содержанием кислорода под давлением плюс компрессионная камера; 4 — дыхание синтетическими смесями плюс компрессионная камера; 5 — успешные непродолжительные спуски или продолжительные спуски нескольких чередующихся бригад.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с необходимостью применения разнообразных методов освоения морских подводных богатств проникновение человека в подводную толщу следует считать одним из предпочтительных способов.

Исследования в области использования труда водолазов должны помочь внедрению в практику новой техники.

## ИСТОРИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОГРУЖЕНИЙ С КИСЛОРОДНО-ГЕЛИЕВЫМИ СИСТЕМАМИ

Е. С. Ханнен<sup>1</sup>

В 1956 г. мировой рекорд погружения на 183 м был осуществлен Военно-морскими силами Англии, но так называемое донное время составило только 5 мин.

<sup>1</sup> Военно-морские силы Великобритании. № 410.

Современная программа исследований ориентируется на период работ на глубине 183 м в 1 ч. Возможность часовой продолжительности работы на этой глубине должна быть проверена по крайней мере на десяти водолазах.

Разница во времени от 5 мин в 1956 г. до 1 ч вызвала необходимость изменить не только оборудование, но и всю технику погружных операций. Усовершенствование заключается в создании погружной компрессионной камеры ПКК. При помощи этой камеры водолаз может быть поднят из воды и перенесен в большую камеру на берегу для прохождения полного цикла декомпрессии.

Оборудование для транспортировки водолазов под давлением применяется с 1962 г. Максимальная глубина транспортировки водолаза этими средствами не превышает 90 м. При самых глубоких погружениях водолаз пользуется во время подъема декомпрессионными остановками. Таким образом, в настоящее время декомпрессия только частично проводится в море. Время декомпрессии в море нужно сводить к минимуму, так как очень трудно оказывать помощь водолазу в случае неисправности системы.

Для максимально возможного сокращения времени декомпрессии увеличивают процент кислорода в дыхательной смеси посредством снижения парциального давления инертного газа. Однако не все водолазы хорошо переносят повышенное кислородное напряжение в течение длительного периода, поэтому нельзя поддерживать парциальное давление для кислорода свыше двух атмосфер. Инертным газом для этих глубин погружений является также гелий.

Для осуществления серии погружений были приняты аппараты дыхания с открытой циркуляцией. Эта аппаратура более легкая и менее громоздкая, чем старые стандартные приспособления, и позволяет хорошо обслуживать двух водолазов в ПКК в течение необходимого времени. Для водолазов создается также большая свобода движений. Хотя можно разработать более экономическую аппаратуру с полузакрытой дыхательной схемой для использования на небольшой глубине, но этот вариант не был принят, потому что только аппаратура с открытой схемой обеспечивает вполне пригодный состав смеси дыхательного газа для водолаза. Это положение является очень важным, так как парциальное давление инертного газа представляет собой один из факторов, определяющих декомпрессионное расписание.

В связи с увеличением глубины погружения относительно небольшой расход газа, подаваемого обычными питающими клапанами, на этой глубине оказался недостаточным. Поэтому возникла необходимость разработать новые клапаны для глубин более 150 м.

Конструкция этих клапанов основана на сервопринципе, т. е. открытие малого клапана для поступления газа вызывает открытие большого клапана и подачу через него требуемого количества газа.

Погружные компрессионные камеры (ПКК) не только доставляют водолазов на необходимую глубину погружения подобно лифту, но и являются настоящим убежищем для них, содержащим дыхательную смесь. Они могут проникать в ПКК из моря в случае любой неисправности или выхода из строя дыхательной аппаратуры.

Пока происходит погружение до необходимой глубины, газовая смесь подается в ПКК с берега через трубу. Состав газовой смеси изменяется в зависимости от глубины погружения. Так, для глубины 180 м она состоит из 5% кислорода и 95% гелия, и водолаз контролирует интенсивность подачи газа при помощи простого перекрывающего крана, расположенного внутри камеры. Таким образом, потери газа вследствие чрезмерно интенсивной подачи не происходит и избыточное давление около 305 мм вод. ст. создает свободный проход газа в камеру.

Так как водолазы несколько минут находятся в ПКК на поверхности перед погружением, при операции наполнения ПКК газовой смесью из 20% кислорода и 80% гелия необходимо предохранять ее от загрязнения воздухом. Газовая смесь, предназначенная для глубин, не может быть использована для пребывания на поверхности, так как она содержит слишком мало кислорода для поддержания жизни в поверхностных условиях.

Более экономичным было бы использовать для опрессовки камеры сжатый воздух, но тогда он потерял бы свое значение дыхательной среды для водолаза на большой глубине.

Водолазы дышат атмосферой, находящейся в камере, а при выходе в море используют свои автономные дыхательные аппараты. Газ для этой цели подается в четырнадцать баллонов, смонтированных вокруг камеры, объемом каждый около 0,4 м<sup>3</sup>. Из баллонов газ поступает к контрольной панели внутри камеры и водолазы могут контролировать давление, необходимое для нормального дыхания. Два гибких резиновых шланга подают газ от этой панели к дыхательным аппаратам водолазов.

В настоящее время используются очень короткие шланги — длиной 9,1 м или около этого и, следовательно, эта длина определяет радиус перемещения водолаза на дне. Увеличивать их длину нет оснований, так как нежелательно, чтобы водолазы в процессе испытаний значительно изменяли глубину. Следовательно, их движения отчасти ограничиваются длиной шланга.

По окончании глубинной декомпрессии начинается подъем камеры до первой остановки. В течение этого времени газ, расширяющийся в камере, выпускается через донную дверь. По достижении глубины 90 м донная дверь закрывается, и камера поднимается на плавучую базу. Она соединяется с главной компрессионной камерой, в которую переводятся водолазы, когда давление сравняется. Главная компрессионная камера наполнена такой же кислородно-гелиевой дыхательной смесью, какая используется на глубине, но при создании условий, аналогичных глубине 60 м, содержание кислорода поднимается до 20%. Процесс введения чистого кислорода легко контролируется в камере. Кислород нагнетается через четыре безнасадочные трубки Вентури и мгновенно смешивается; в то же время газ выходит из камеры, вследствие чего в ней поддерживается постоянное давление.

По указанной выше причине содержание кислорода в газовой смеси не увеличивают сверх 20%, за исключением того момента, когда вблизи поверхности в течение последнего часа водолазы дышат чистым кислородом из специальных мундштучных клапанов.

Раньше при погружениях в камере водолаз должен был держать мундштук во рту в течение всей декомпрессии. Все это время в сумме составляло около 5½ ч для короткого погружения на 150 м. Главным достижением в создании удобств для водолаза является наполнение всей камеры дыхательной газовой смесью. Будучи избавлен от пользования мундштуком (за исключением короткого периода, когда для дыхания используется кислород), водолаз может принимать пищу, пить и спать с относительными удобствами.

Давление в камере не оказывает существенного влияния на пищу, хотя несколько водолазов сообщали об ухудшении вкусовых качеств пищи, которую они употребляли. Сыр, хлеб, салаты и лимонный сок оказались наиболее приемлемыми, хотя колбаса, яйца, бекон и кофе, подаваемые в камеру после почти 24 ч, также воспринимались хорошо.

Водолазы тратили много времени на сон, что объясняется в основном влиянием давления в камере.

Работы на глубинах до 150 м явились завершающим этапом в последней серии испытаний, проводившихся в декабре 1963 г.

Двенадцать водолазов плавали на этой глубине вполне удачно в течение 10 мин без признаков заболевания.

В процессе испытаний выявлены две наиболее существенные проблемы, связанные с погружением на большие глубины:

1) создание жизненных условий при длительном пребывании в среде с повышенным давлением;

2) составление декомпрессионного расписания, обеспечивающего надежное возвращение водолазов к атмосферному давлению.

Для обеспечения жизненных условий необходимо использовать соответствующую газовую смесь кислорода с гелием. Гелий применяется для замены азота воздуха, потому что азот при повышенном давлении дает наркотический эффект. Для использования под водой требуются эффективные высококачественные дыхательные аппараты с низкой сопротивляемостью при дыхании в воде.

Для удобства и безопасности система перемещения водолаза под давлением должна состоять из погружной компрессионной камеры, позволяющей перемещать водолазов непосредственно с максимальной глубины погружения к компрессионной камере, расположенной на плавучей базе, и системы бесперебойного поддержания в этих камерах атмосферы, пригодной для дыхания.

Дальнейшим усовершенствованием будет создание погружной компрессионной камеры с иллюминаторами для наблюдения и приспособлений для доставки водолазов на требуемую глубину при атмосферном давлении. В случае необходимости выхода водолазов из камеры она должна быть наполнена газовой смесью под давлением, равным давлению окружающей среды на данной глубине моря.

Все это значительно увеличивает потребность в гелии, в связи с чем стоимость глубоких погружений значительно увеличится. Однако в специально спроектированную установку нетрудно будет включить средства по восстановлению большей части использованного газа. Установка будет состоять из газгольдеров нескольких типов и будет собирать газ, выходящий из камеры в течение декомпрессии. При помощи специального компрессора газ будет направляться в цилиндры, предназначенные для хранения его. Если газ обогатится кислородом в течение последующих стадий декомпрессии, установка удалит этот кислород, возвращая смесь к ее первоначальному состоянию для повторного использования.

Намечаемые усовершенствования дадут возможность осуществить погружения в условиях испытаний, возможно, до глубины 365 м. На основании лабораторных работ можно предполагать, что фактором, ограничивающим глубину погружения, является гелиевый наркоз.

Вторая проблема — определение декомпрессионного расписания, обеспечивающего безопасное возвращение водолазов к условиям атмосферного давления, освещена в другом докладе<sup>1</sup>.

Среди других вопросов отметим искажение голоса, обусловленное влиянием гелия. Это искажение усиливается с увеличением глубины. На глубине 122 м для нетренированного слуха речь понятна только на 50% (по крайней мере, для английского языка) при условии, что нет посторонних шумов, способствующих искаженному восприятию речи. Однако водолазы довольно быстро привыкают к искажению голоса и легко беседуют между собой к удивлению окружающих, которые мало понимают из того, что они говорят. Вероятно, на глубине 244 м даже водолазы будут неспособны привыкнуть к искажению голоса, так как на этой глубине речь становится совсем непонятной. Делались попытки улучшить восприимчивость слуха при помощи электронного частот-

<sup>1</sup> Е. П. Б е р н а р д. Методы лечения декомпрессионной болезни.

ного устройства, но по свидетельству водолазов мозг человека после периода акклиматизации становится более восприимчивым.

Неизвестно также, как человек будет выдерживать систематические глубинные погружения или как часто он сможет повторять такие погружения.

Для психометрических экспериментов с водолазами должна использоваться кислородно-гелиевая дыхательная смесь в диапазоне глубин от 15 до 245 м. У определенных людей наблюдаются небольшие нарушения состояния при достижении глубины 150 м и более значительные на глубине 180 м. Однако было установлено, что на глубине 180 м водолазы привыкают к новым условиям и после непродолжительного пребывания на этой глубине их состояние возвращается к нормальному. У некоторых людей может быть серьезное нарушение состояния на больших глубинах, и неизвестно, проявят ли они такую же приспособляемость к давлению, какая наблюдается при глубине 180 м.

В будущем одной из главных технических трудностей будет проблема обеспечения физической устойчивости и швартовки водолазного судна.

В настоящее время мы обычно не ставим перед водолазами задачу изучения морского дна и не поручаем работу на дне при любых условиях. Мы изучаем и ищем такое пространство в воде, где можем осуществить наши теории, чтобы доказать, что лабораторные исследования в области использования погружного оборудования и декомпрессионной техники являются правильными. Мы, как и многие другие исследователи, можем предвидеть трудности стабилизации на поверхности моря платформы для обслуживания и обеспечения водолазных работ. Однако целью наших исследований является доказать, что при использовании метода погружения с поверхности человек может эффективно работать на больших глубинах и безопасно возвращаться обратно к условиям атмосферного давления. После завершения этих исследований будет поставлена задача создания лучших условий пребывания водолаза под водой при его работе. Вполне возможно, что эта проблема будет разрешена путем спуска водолаза в процессе его работы из подводной лодки определенной формы, благодаря чему будет исключено влияние поверхностных атмосферных условий.

---

## НОВОЕ О ВОЗМОЖНОСТИ ЖИЗНИ ПОД ВОДОЙ

*Дж. Ф. Бонд<sup>1</sup>*

В результате длительных исследований возможности работы человека под водой была создана индивидуальная погружная техника, позволившая подводнику более свободно себя чувствовать и действовать в условиях погружения. Но и при использовании этого новшества не увеличились ни глубина погружения, ни сроки пребывания человека на морском дне сравнительно с практикой прошлого столетия. Кажется, что в соответствии с неизменными законами физики водолаз никогда не сможет достигнуть полной свободы действий, необходимой для осуществления человеком подводных исследований и использования морского дна.

<sup>1</sup> MC, USN (Военно-морской флот США). № 417.

В 1957 г. проблема была пересмотрена с целью создания подводных средств для длительного пребывания человека на глубине до 180 м, пригодных для использования на континентальном шельфе всего мира.

После пятилетних экспериментов над животными и двухлетней работы с людьми в лабораториях военно-морского флота Соединенных Штатов Америки было установлено, что длительная изоляция может быть перенесена человеком без сколько-нибудь существенного психологического нарушения, что можно создать необходимую искусственную атмосферу для данной глубины погружения и производить декомпрессию таким образом, что всплытие на поверхность будет безопасным.

В последнее время были проведены лабораторные эксперименты с участием людей.

В июле 1964 г. военно-морским ведомством США впервые было начато осуществление программы подводных исследований с людьми, названной Силаб I (морская лаборатория I). По этому проекту четверо добровольцев жили в помещении на дне океана на глубине приблизительно 70 м в течение одиннадцати дней.

При проведении эксперимента выявлялась возможность осуществления человеком операций в пределах от свободного перемещения из подводного жилища до проведения полезной работы на дне моря в течение многих часов ежедневно, отработывалось возвращение в жилище без декомпрессии. Установлено, что каждый из четырех человек способен на этой глубине работать ежедневно приблизительно по 6 ч. Для выполнения этой же работы водолазами, спускаемыми с поверхности обычным способом, потребовалось бы 35 водолазов.

В заключение этого эксперимента члены экипажа прошли декомпрессию и впоследствии не проявляли признаков нарушения физиологических или психических функций. Таким образом, можно утверждать, что современное состояние техники погружения гарантирует возможность погружения специалистов-подводников на глубину с давлением до 7 атмосфер на относительно большой период времени.

Несмотря на успех лабораторных исследований и экспериментов, проведенных непосредственно в море, еще многие проблемы, связанные с погружением, ждут разрешения. Главные аспекты исследований могут быть кратко представлены под следующими заголовками: физиология, психология, подводное жилище и погружное оборудование.

## ФИЗИОЛОГИЯ

Проблема газов для дыхания заключается в основном в выборе пропорции кислорода и инертного газа. По мере достижения больших глубин процент кислорода в дыхательной смеси должен быть понижен до величины, исключающей кислородное отравление. Также должен быть снижен процент азота в дыхательной смеси для уменьшения интенсивности работы дыхания и исключения азотного наркоза. Легким инертным газом для замены азота должен быть гелий или водород.

*Кислородное отравление.* Исследования механизма кислородного отравления продолжаются уже около 90 лет, но основная причина, вызывающая кислородное отравление, еще не известна. Крайне необходимо расширить и ускорить эти исследования причин возникновения кислородного отравления, а также разработать средства лечения этой болезни.

*Азотный наркоз.* Наблюдениями при погружных исследованиях четко выявлен прогрессирующий эффект наркоза с увеличением давления. Хотя механизм этого явления еще точно не установлен, есть основания полагать, что оно связано с процессами образования кристаллических гидратов в определенных клетках тела. Продолжаю-

щиеся исследования этой проблемы военно-морским ведомством и гражданскими лабораториями должны дать в недалеком будущем существенные результаты.

*Влияние инертного газа.* Наблюдениями установлено, что каждый инертный газ, входящий в состав дыхательной смеси, используемой при погружении, может оказывать специфическое физиологическое влияние на человеческий организм. Это влияние относительно невелико в связи с непродолжительностью пребывания человека под водой, но возможно, что при увеличении этого периода обмен веществ у людей может ухудшиться. Поэтому важно ускорить исследования, ведущиеся в этом направлении.

*Декомпрессия.* Предыдущими лабораторными испытаниями доказано преимущество способа непрерывной декомпрессии по сравнению с декомпрессией поэтапной, и этот способ декомпрессии применялся в эксперименте Силаб I. Использование этого принципа позволило на 75% снизить время на декомпрессию водолазов. Вполне возможно, что еще большего снижения времени на декомпрессию без ущерба для безопасности можно достигнуть путем правильного расчета и разумного использования дыхательных смесей из пяти инертных газов. В настоящее время причина и механизм декомпрессионной болезни неизвестны. Исследования в этом направлении необходимо продолжить. Необходимо также изыскание средств лечения декомпрессионной болезни и определение роли взаимодействия инертных газов, кислорода и двуокиси углерода в ее возникновении.

*Тепловая защита.* Предохранение человеческого тела от потери им тепла в холодной среде является наиболее серьезной проблемой для водолаза. Потеря тепла телом человека значительно ускоряется, когда дыхательная смесь содержит гелий. Существующая сейчас изоляционная одежда не соответствует требованиям защиты при погружениях. В комплексе исследований, объединенных общей темой «Человек в море», этому вопросу должно быть уделено самое большое внимание.

## ПСИХОЛОГИЯ

В соответствии с программой «Человек в море» относительно небольшая группа людей должна будет коллективно подвергаться действию непривычной окружающей среды длительные периоды времени. Изоляция, в которой окажутся люди при погружении, может привести к внутренним трениям в коллективе. Работоспособность группы людей или одного человека может прогрессивно снижаться.

Поэтому подбор таких коллективов должен быть очень тщательным по признакам общительности, проявления чувства товарищества и индивидуального уровня развития каждого его члена.

## ЖИЛОЕ ПОМЕЩЕНИЕ

Основная конструкция подводного жилища и жизнеподдерживающие системы, использованные в Силаб I, были оригинальными, простыми и надежными, но не совсем отвечали требованиям жизни под водой.

Современная проблема заключается в безопасности совместного комплектования отдельных частей жилого помещения.

Хотя каждый компонент подводного помещения может быть в настоящее время заменен более усовершенствованным, безопасность остальных его частей еще не исключается. Поэтому необходимо продолжать модернизацию, разумно и осторожно оценивая каждое нововведение в этом вопросе. Каждая часть подводного жилища должна быть испытана на способность противостоять высокому давлению и

нормально функционировать. Эксперимент Силаб I показал полное соответствие достигнутой безопасности погружения подводного жилища и возможности выполнения подводником различных операций в искусственной дыхательной среде с заранее установленной программой исследований. Таким образом, для осуществления общей программы «Человек в море» необходимо испытать и отработать каждую часть подводного жилища.

### ЭКИПИРОВКА ВОДОЛАЗА

За последние 5 лет аппаратура для погружения была значительно усовершенствована. Дыхательная аппаратура для погружения должна обеспечивать возможность постоянного анализа газовой смеси и автоматическое изменение ее состава в зависимости от глубины погружения.

Погружные средства связи, хотя и значительно улучшенные, еще далеки от оптимальных. Современные автоматические приборы, регистрирующие декомпрессию, — различные глубинные приборы, индивидуальные средства плавания и навигационные средства — находятся еще на ранней стадии развития и должны быть значительно усовершенствованы.

Для разрешения стоящих на этом пути затруднений необходимо опираться на результаты исчерпывающих медицинских исследований, касающихся состояния человеческого организма при погружении на дно моря.

Работы, выполненные Силаб I, отражают усилия Военно-морского флота США в осуществлении исследовательской программы «Человек в море».

Исследователи Военно-морского флота США намерены тесно сотрудничать с капитаном Ж.-И. Кусто, который начал свои исследования по аналогичной программе за много месяцев до работ Силаб I, и с другими исследователями этой новой области.

Для создания безопасных условий жизни и деятельности человека под водой необходимо широкое и непрерывное координирование усилий всех исследователей-подводников.

---

## ПРОВЕРКА И ПОДБОР ПЕРСОНАЛА ДЛЯ РАБОТЫ ПОД ВОДОЙ

*Шарль Ф. Акадро<sup>1</sup>*

В подборе персонала для выполнения работы под водой необходимым уровнем умственного развития и эмоционально-психологическая устойчивость являются такими же важными факторами, как и полноценность организма человека, лишенного физических и физиологических недостатков.

Работа под водой может выполняться человеком, находящимся в погружном пустотелом корпусе (вроде миниатюрной подводной лодки), внутри которого поддерживается атмосферное давление, или водолазом, спускаемым на дно моря с поверхности воды. Водолаз может также выходить для работы на дне из специальной подводной

---

<sup>1</sup> Французская служба подводных исследований (Марсель) и Музей океанографии в Монако. 1965 г. № 416.

станции с поддерживаемым в ней определенным давлением или из другого специального не заполненного водой приспособления, причём работа длится продолжительное время.

Деятельность и психическое состояние человека, находящегося в подводной среде, зависят от умственной подготовки, психологической тренировки и, возможно, от развития новых норм поведения. Психологический барьер в настоящее время уже удалось преодолеть, осталось разработать методы длительной психологической приспособляемости человеческого организма к подводным условиям и обеспечить применимость материалов и технических средств к работе в этих условиях. Главная ответственность за психологическую устойчивость человека в непривычной для него окружающей среде лежит на инженерере.

Область физиологии остается второй линией защиты человека в течение времени, когда требования, диктуемые инженером, осложняются или не выполняются.

Фактор психологии имеет важное значение для всего периода реализации проекта, но он становится особенно важным, когда в результате ошибки и неудачи инженера возникнет особенно напряженное положение и психологическая устойчивость подводника окажется на грани нарушения.

Каждый человек представляет собой совершенно индивидуальный организм, который по-своему реагирует на каждое воздействие.

Несмотря на достижение огромных успехов в области освоения космического пространства, никому пока еще не удалось установить идеальных физиологических стандартов для межпланетных космических полетов. Это обстоятельство в одинаковой мере относится и к пребыванию человека в подводном мире. Пределы и способность приспособляемости человека к условиям продолжительного существования при полной изоляции от других людей совершенно различны для отдельных индивидуумов. Нагрузки и перегрузки, вызванные как токсикологическими условиями, связанными с загрязнением атмосферы, так и особенностями физиологического характера, могут привести к патологическим изменениям в организме или к прямым заболеваниям с частичной или полной потерей работоспособности. Поэтому правильный подбор обслуживающего персонала для жизни и работы под водой является чрезвычайно важным фактором ускорения прогресса в освоении и покорении морских глубин.

К настоящему времени успешно проведены четыре независимых один от другого эксперимента под водой. Группа, которую возглавлял исследователь Жак-Ив Кусто, провела первый эксперимент в Средиземном море в 1962 г. и второй — в Красном море. Третий эксперимент был проведен в районе Багамских островов группой специалистов, которую возглавлял Эдвин Линк и при содействии Военно-морских сил США. При этом опыте была использована морская глубоководная специально оборудованная погружная станция. Четвертый, самый последний эксперимент, был осуществлен у побережья Бермудских островов Военно-морскими силами США в июле 1964 г.

Нормы определения квалификации персонала для жизни и работы в подводных условиях или критерия подбора экспериментальных средств, которые будут применяться в будущем, не должны оставаться постоянными и неизменными. Руководящие материалы должны быть динамичными и немедленно учитывать все изменения, обусловленные необходимостью и обстановкой в целом.

Наиболее рационально квалифицировать различные категории людей, работающих под водой, в соответствии с характером операций, которые им поручаются для выполнения под уровнем моря или океана.

Спускаемый с поверхности водолаз погружается в подводную

среду с целью проведения определенной работы или определенного задания на сравнительно небольшие промежутки времени и вскоре поднимается на поверхность, вновь возвращаясь к привычным для него условиям окружающей среды. Он может пользоваться различными оборудованием, предназначенным для процесса дыхания, или другими техническими средствами, необходимыми для его жизнедеятельности и работы под водой. Водолаз часто может быть «явным и абсолютным индивидуалистом», и критерии подбора его качеств в соответствии с характером поручаемой ему работы могут быть более обширными, чем при подборе таких подводных коллективов, которые при исполнении своих обязанностей вынуждены продолжительное время находиться в непривычной и несвойственной для их обычной жизнедеятельности окружающей обстановке внутри погружных подводных станций, в условиях полной изоляции. Члены подводных бригад и экипажей обычно взаимозависимы в своей жизнедеятельности и работе, и эта особенность имеет чрезвычайно важное значение в условиях относительно длительной полной изоляции от внешнего мира.

Применяемые критерии и предъявляемые требования при подборе таких контингентов людей более жесткие и ограниченные, так как должны предотвратить или по возможности уменьшить снижение эффективности их работы, которая может быть обусловлена возможными трениями внутри коллектива или потерей работоспособности одним или несколькими из его членов.

Свобода действий в подводных условиях у работников этой категории значительно более ограничена, чем у обычных водолазов, опускающихся для работы под водой с поверхности периодически на короткие периоды времени.

Продолжительность времени, в течение которого работающий под водой человек должен быть изолирован от окружающего мира, прямо или косвенно находясь в одиночестве в подводной среде, является основным, решающим и определяющим фактором, которым следует руководствоваться при подборе каждого человека индивидуально. Некоторые люди могут вполне приспособиться и успешно работать под водой в течение относительно коротких и предварительно установленных периодов времени. Но целый ряд подводных работ сопряжен с более продолжительным периодом времени, а иногда и с неопределенным сроком.

Основным методом подбора людей для работы под водой является всестороннее испытание их способности эффективно работать в подводной среде. Например, при отборе моряков для комплектования экипажей подводных лодок в Военно-морском флоте США первоначальный отсев кандидатур происходит в процессе полного медицинского освидетельствования и проверки состояния организма. Для прошедших эту стадию общего отбора последующее испытание проводится в компрессионных и декомпрессионных камерах, а затем проверяются психические способности и пригодность испытуемых уже по этому критерию. После такого предварительного отсева кандидат в члены подводного экипажа проходит специальную подготовку и тренировки, вырабатывающие навык покидать подводную лодку под водой и всплывать на поверхность. Во время этих тренировок он находится под действием повышенного давления в наполненном людьми и полузатопленном водой помещении, после чего он должен пройти через выходную наполненную водой камеру и подняться на поверхность, пройдя через столб воды определенной высоты, представляющей различные расстояния до поверхности воды.

Этот искусственно созданный элемент испытания в виде необходимости покинуть вышедшую из строя подводную лодку часто яв-

ляется решающим фактором при окончательном отборе лиц для несения службы в подводном флоте.

Специалисты из Медицинского центра подводного флота Военно-морских сил США считают, что люди, без осложнений прошедшие первоначальную проверку при повышенном давлении окружающего воздуха в сухой камере, а затем соответствующую тренировку и испытания, связанные с оставлением подводной лодки и всплыванием на поверхность, подвергаясь при этом действию значительного столба воды, будут легко переносить и другие менее вредные воздействия в подводных условиях. Считается, что эти два вида испытаний почти полностью обеспечивают надежный отбор по признакам психического состояния.

Программа отбора и отбраковки водолазов для Военно-морского флота США обычно не является столь обширной и строгой, как для членов экипажа подводной лодки. Процесс отбора кандидатов в водолазы включает основные виды испытаний, за исключением проверки психологического характера. После завершения периода тренировки водолаза направляют на плавучую или береговую базу, где он предварительно проходит стажировку, пока не будет признан вполне пригодным к самостоятельной квалифицированной работе водолаза.

Несмотря на то, что водолаз или член экипажа подводной лодки является специалистом в своей области, он периодически подвергается проверке соответствия его физическим стандартам и служебной пригодности.

Тот же самый процесс применяется и при подборе людей для работы в океане. Главным критерием отбора является способность испытуемого хорошо выполнять тренировку по водолазному делу и другие процессы при подготовке его к деятельности, связанной с подводными станциями. Желание выполнять во время намеченных исследований работу по монтажу, обустройству и установке станции, если они обладают необходимой выносливостью для того, чтобы оставаться работоспособными во время выполнения программы намеченных работ, и имеют искреннее желание работать в океане, должны пройти сверх обычных и более жесткие психологические и физиологические отборочные испытания.

## **КРИТЕРИИ И НОРМЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ОТБОРА**

При выборе двух человек в качестве объектов исследований во время первого эксперимента на погружной подводной станции было принято, что они должны являться опытными водолазами, с устойчивым характером и быть хорошо развитыми физически. Вместе с тем они не должны иметь выдающуюся физическую и деловую подготовку, так как результаты, которые должно было дать их испытание, намечалось использовать в качестве критериев для подбора более широкого контингента водолазов. Такими водолазами оказались Альберт Фалько и Клод Весли.

Для проведения второго эксперимента, посвященного проблеме привыкания человека к необычной для него окружающей обстановке подводного мира, были подобраны пять ничем особенно не выдающихся человек, которым предстояло прожить в погруженной в море подводной станции в течение одного месяца и выполнять работу с выходом из станции в воду. Средний возраст этих пяти человек составил более 35 лет, причем двое из них были не очень опытными водолазами, хотя один из них был к этому времени уже «ветераном», принимавшим участие в проведении предыдущего подводного эксперимента. Отличительной особенностью членов этой группы океанских под-

водников была их крепкая коллективная сплоченность, взаимная спайка.

Кроме того, были отобраны дополнительно еще два человека, которым предстояло привыкнуть к подводным условиям жизни и работы на более значительной глубине, находясь две недели в другой погруженной в океан подводной станции, расположенной по соседству с первой. Оба эти человека были отважными и решительными людьми, опытными водолазами с весьма основательной подготовкой, полученной в самых разных подводных условиях.

При отборе кандидатов было отмечено, что людей, обладающих быстрой и точной реакцией на подаваемые им словесные команды и прошедших испытания, связанные с проверкой общего интеллектуального развития, можно считать способными управлять в большей или меньшей степени своими эмоциями.

Короткие собеседования психиатрического характера нельзя считать практически надежным средством проверки пригодности кандидатов в подводники.

Лучшим показателем пригодности персонала являются успешно пройденные последние тренировочные испытания. Индивидуальные особенности некоторых психо-физиологических процессов, особенно тех, которые являются наиболее важными компонентами сильной эмоциональной реакции, в значительной степени уточняются впоследствии при определенных нагрузках и напряженной обстановке. В этом смысле может существовать известное соотношение между очевидными индивидуальными особенностями данного организма, с одной стороны, и возможной степенью нарушения и восстановления его состояния, которую можно предполагать на основании определенных признаков, предопределяющих реакцию тела или организма на те или иные раздражения. Величина кровяного давления, частота ударов сердца, параметры процесса дыхания, сопротивляемость кожного покрова различным вредным воздействиям, концентрация вещества «17-гидроксикортикостероиды» в моче и крови относятся к психо-физиологическим показателям реакции организма на различные нагрузки.

При последующих наблюдениях во время продолжительных погружений, которые сопровождалась значительной потерей чувствительности водолаза к привычным раздражителям, сотрудники Медицинского центра пришли к заключению, что человек, считающийся оптимально подходящим к жизни и работе под водой, в большей степени обладает внутренними индивидуальными источниками психического равновесия, например, способностью «окинуть мысленным взглядом» и обдумать возникающую обстановку и изучить ее. Наоборот, человек, наименее подходящий для жизни и работы в составе подводного коллектива, предрасположен к постоянным поискам каких-нибудь внешних раздражителей или стимуляторов своего психического состояния в виде звука, голоса или музыки, разговора, различных игр и т. п.

Обитатели морских погружных станций, не имея возможности выйти «из дома» и побыть наедине с природой даже на короткие промежутки времени, часто испытывают потерю бодрости и подавленное настроение. Это состояние объясняется трудностью приспособления к ограниченному жизненному пространству. При отборе персонала для выполнения программы исследований в условиях Антарктики Военно-морские силы США для определения психической пригодности и эмоциональной устойчивости людей пользовались четырьмя основными показателями: 1) побудительная причина; 2) анкетные данные и действительное призвание; 3) психологическая устойчивость и проявление инстинкта самозащиты и, наконец, 4) соответствие нормам взаимоотношений в коллективе. Подобные психо-социологические кри-

тери следовало бы принимать во внимание при комплектовании экипажей и бригад для морских погружных станций или подводных лодок, где люди живут в изолированной обстановке, полностью оторваны от внешнего мира и находятся в состоянии постоянного напряжения из-за опасностей окружающей среды.

При оценке этих основных признаков считалось, что люди, проявившие очевидную пригодность и обладающие крепким здоровьем и гармоничным развитием, будут продолжать эффективно работать и в будущем. Однако позднее было установлено, что наиболее важным моментом в определении пригодности являются анкетные данные и личные наклонности человека. Было установлено, что многие из тех, кто наиболее успешно прошел отборочную проверку в соответствии с оценочной программой, не совсем твердо были уверены в своем призвании стать подводниками. При подборе людей для выполнения антарктической программы особенно важным было то обстоятельство, что эти люди будут работать сообща в виде небольшой изолированной группы. Поэтому особое значение придавалось внутренним взаимоотношениям членов этого коллектива и точному определению функций каждого из них.

Программа отбора людей для Антарктики в общем была осуществлена успешно. Однако на практике все же были случаи острого эмоционального возбуждения среди отобранных лиц, особенно на маленьких станциях с коллективами из 15—40 человек. Были даже случаи, близкие к непродолжительному психическому отклонению от нормы. Хотя психические осложнения не были настолько серьезными, чтобы потребовались медицинская помощь или удаление этих людей из личного состава станций, подобные явления могли оказать сильное влияние на остальных членов группы. Это положение согласуется и с экспериментом автора, проведенным с подводниками и с небольшими изолированными экипажами подводных лодок Военно-морского флота США в Арктике.

Было бы заблуждением считать, что легко поддерживать эмоциональное и психическое равновесие персонала в таких относительно ненормальных и напряженных условиях, какими являются условия, например, в погружных подводных станциях. Однако очевидные проявления повышенной деятельности нервной системы, даже граничащие с патологическим состоянием, не всегда следует считать основанием для дисквалификации или признания непригодности данного человека к продолжению пребывания под водой. Находясь продолжительное время в условиях полной изоляции, люди все же могут эффективно работать и оставаться совершенно полноценными членами маленькой изолированной группы или рабочей бригады.

При оценке психологических защитных механизмов того или иного человека следует принимать во внимание более существенные показатели, чем просто их естественное проявление. Однако явные симптомы в прошлом или подозреваемые потенциальные возможности повышенной эмоциональной возбудимости при раздражении во время периодов напряженного состояния психики человека следует рассматривать как недопустимые явления для подводника.

Некоторые моменты, которые могут препятствовать признанию данного человека годным к жизни и деятельности под водой, приводятся ниже: уровень интеллектуального развития ниже среднего; неестественные наклонности; нездоровые причины, побудившие к работе под водой; неудачи биографического характера в прошлом; осложнения во взаимоотношениях с коллективом; недостаточная приспособляемость к окружающим условиям.

Так как возможность использования и пригодность данного чело-

века могут со временем меняться — при различных испытаниях или в результате изменения окружающих условий, то ограниченная пригодность, обнаруженная во время одного испытания, необязательно является причиной признания общей непригодности человека в последующем.

Темпераментное, активное отношение человека к работе под водой может оказаться результатом влияния продолжительного пребывания его в условиях изоляции и ограниченной свободы деятельности в подводной обстановке.

Причины, побудившие человека стать подводником, играют важную роль в оценке его пригодности к этой работе. Добровольцами в подводном деле являются в основном люди, которые ищут заработка или перемены обстановки, или приключений и сильных ощущений. Причины часто бывают различны для дилетантов и для профессионалов, но даже и для профессионалов деньги редко служат основным побуждающим мотивом для работы под водой. Капитан Кусто считает, что стремление человека к изучению морских глубин часто бывает трудно объяснить. Такое же мнение высказывают и другие специалисты-подводники. Однако успех деятельности в условиях изоляции зависит не только от индивидуальной пригодности подводника. Расмуссен и Хэйторн утверждают, что спаянность между членами подводной группы является весьма важным фактором при оценке правильности подбора и состава бригады или группы. Значение этого фактора еще более возрастает, когда состав бригады или группы уменьшается.

К эмоциональному поведению человека относятся и нейропсихологические ответные реакции центральной нервной системы, импульсы которых измерены при помощи электроники.

По сообщению Кабарроу, полученные им результаты исследований, проводившихся во Французском военно-морском флоте, указывают на то, что электроэнцефалограмма человека, находящегося в состоянии покоя при атмосферном давлении, может дать полезные сведения для определения его пригодности для работы подводником или водолазом.

Английские исследователи Р. П. Беннетт и А. Глэсс провели опыты с использованием электроэнцефалографии в условиях повышенных барометрических давлений.

А. Глэсс во время проводимых им исследований получил электрическую запись деятельности мозга человека в реальных подводных условиях. Целью этого эксперимента являлась попытка выяснить характер изменений, происходящих в физическом и умственном состоянии подводника.

## **КРИТЕРИИ И НОРМЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОТБОРА**

Психические и физиологические особенности состояния человека находятся в прямой взаимосвязи и поэтому не могут быть полностью разделены при отборе персонала для подводных работ. Но тем не менее некоторые специфические черты можно отнести к физическим и психологическим стандартам.

Нормальное функционирование дыхательной, сердечнососудистой, нервной, скелетной и других систем организма подлежит тщательному обследованию у вновь поступающих подводников и периодически у работающих уже членов подводных коллективов.

Для определения состояния здоровья или выявления заболевания необходимо провести полное физическое исследование человека с учетом подробностей его истории болезни. При обследовании организма особое внимание следует уделять полостям, содержащим воз-

дух или наполненным газом, на которые действуют различные изменения давления.

Вспомогательные исследования, которые дополняют физическое обследование, являются необходимой составной частью полного медицинского обследования при отборе персонала подводников. Обязательная программа медицинской проверки должна включать обследование зубов, рентгеноскопию грудной клетки (легких, сердца и кровеноснососудистой системы), а также анализы мочи и крови. Специальные обследования легочной, сердечнососудистой и других функций могут потребоваться в сомнительных случаях, когда подозревается их ненормальность, или при проверке будущих подводников, которым предстоит работать в необычных или особенно напряженных условиях.

Дополнительным медицинским обследованием является также проверка способности организма приспосабливаться к перемене давления или противостоять кислородной недостаточности в декомпрессионной камере. Хотя в данном случае не обсуждаются детально все медицинские критерии и специальные стандарты, принимаемые во внимание при физическом обследовании, тем не менее некоторые характерные детали заслуживают внимания. Многие организации и предприятия обычно не принимают для подводных работ новичков в возрасте старше 35 лет, хотя немало квалифицированных водолазов и более старшего возраста продолжают успешно работать под водой. Возраст не имеет большого значения для признания водолаза непригодным именно по этой причине, если его физическое, умственное и психическое состояние не вызывает сомнений.

Значение здоровой дыхательной системы невозможно переоценить, так как легкие и кровеноснососудистая капиллярная система являются главным средством поддержания жизнедеятельности человека путем газообмена организма. Патологические изменения или ненормальности в легких могут способствовать развитию кессонной болезни. Условия, при которых дыхательные газовые смеси могут скапливаться и задерживаться в различных «ловушках» внутри легких и дыхательных путей, при возвращении человека в среду с более низким барометрическим давлением способны вызвать серьезные осложнения вследствие чрезмерного расширения воздуха или газов в этих «ловушках». Особое внимание при отбраковке кандидатов в подводники следует обращать на такие заболевания, которые вызывают бессознательное состояние, обмороки, тошноту. К таким болезням относятся диабет, эпилепсия, анемия и др. Кроме того, должна быть исключена всякая возможность серьезных кровотечений и нарушений нормальных функций кровеносной системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительные успехи достигнуты в разработке методов отбора персонала для водолазных работ и для комплектования экипажей погружных подводных судов. Для относительно новой области техники — морских погружных исследовательских станций — определенные критерии отбора персонала пока еще не установлены вследствие недостатка опыта.

Однако на основе изучения поведения человека и функционирования его организма в сходных с подводными условиями разработаны руководящие положения для отбора будущих участников работ под водами океана.

Дальнейшие исследования, наблюдения и практический опыт помогут более детально разработать критерии отбора подводных работников всех категорий и специальностей.

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СВЕРХПРОЧНЫХ КОРПУСОВ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Клод Эльвюзи<sup>1</sup>

Изучение карт показывает, что 60% водных пространств могут быть исследованы при погружении судов на 4500 м, а если бы им удалось достичь глубины 6000 м, то стала бы доступной почти вся совокупность океанских просторов (98%). Но для этого надо преодолеть огромное гидрстатическое давление — до 450 и 600 кг/см<sup>2</sup> и построить соответствующей формы подводный аппарат с корпусом из сверхпрочных материалов и притом такой, чтобы вес вытесненной воды значительно превышал вес конструкции.

## УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ ПЛАВУЧЕСТИ

В качестве примера возьмем сферу, наиболее часто используемую в производстве резервуаров для хранения жидкостей и газов под давлением, так как она соответствует оптимальному соотношению объем — вес.

Для тонкостенного погружного сферического корпуса плавучесть в первом приближении определяется следующим уравнением:

$$F = \frac{4\pi r^3 - 12\pi r^2 e d}{4\pi r^3} = 1 - \frac{3ed}{r},$$

где  $r$  — радиус сферы;  $e$  — толщина стенки корпуса;  $d$  — удельный вес материала.

Толщину материала выбирают при коэффициенте безопасности  $k$ , исходя из предела прочности материала при сжатии и давлении воды  $p$ , которое он будет испытывать согласно отношению

$$\sigma = \frac{pr}{2e}, \text{ откуда } e = k \frac{pr}{2\sigma}.$$

Идеальная плавучесть тонкостенного сферического корпуса будет, следовательно,

$$F = 1 - 3k \frac{pd}{2\sigma},$$

или при допущении, что  $\sigma_s = \frac{\sigma}{d}$  и  $k' = \frac{3k}{2}$ ,

$$\boxed{F = 1 - k' \frac{p}{\sigma_s}}.$$

Таким образом, становится очевидным, что плавучесть тем лучше, чем давление, выраженное в кг/см<sup>2</sup>, или глубина, выраженная в десятках метров, меньше, а отношение  $\frac{\sigma}{d} = \sigma_s$  больше. Величина  $\sigma_s$  обозначает максимальное удельное напряжение при сжатии; это напряжение, выраженное обычно в кг/мм<sup>2</sup>, получают с точностью до 0,2% делением предела упругости на удельный вес материала, из которого выполнен корпус.

Возьмем для примера сферу из сплава титана удельным весом 4,5 и с пределом упругости 85 кг/мм<sup>2</sup>, которая может выдержать давление на глубине 4000 м при запасе прочности 1,5. Ее плавучесть составит

$$F = 1 - \frac{3 \times 1,5}{2} \times \frac{400 \times 4,5}{8500} = 52\%.$$

<sup>1</sup> Главный инженер металлургических заводов Комментри, Париж. № 422а.

Следовательно, при изучении материалов для строительства корпусов подводных аппаратов надо исходить из их удельного сопротивления. Этот параметр является также критерием при выборе материалов для корпусов ракетных двигателей, работающих на твердом топливе, с той лишь разницей, что изменение температуры охватывает при этом гораздо больший диапазон и влияет на их свойства.

Наряду с хорошо известными металлами, многие параметры которых, характеризующие их способность деформироваться при ударе, усталости и пр., определены лабораторными методами, появляются все новые, неметаллические однородные или сложные материалы, свойства которых иногда очень трудно установить вследствие неоднородности их структуры.

Рассмотрим последовательно эти новые материалы, а затем современные металлы.

## НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И СОСТАВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### Стекло

Этот материал представляет значительный интерес, так как он имеет невысокий удельный вес — 2,5—4, большую прочность при сжатии (свесье  $210 \text{ кг/мм}^2$ ) и растяжении (достигает  $70 \text{ кг/мм}^2$ , когда стекло вытянуто в волокно), модуль его упругости изменяется в пределах 5600—35 000  $\text{кг/мм}^2$ . Кроме того, стекло водонепроницаемо и прозрачно, что очень важно для подводного корпуса. Его недостатками являются хрупкость, чрезвычайно высокая твердость, слабая растяжимость и недостаточная прочность на изгиб при значительном сечении. Стекло очень чувствительно к поверхностным дефектам, с трудом поддается обработке и частично теряет свою прочность при длительной нагрузке.

Предел прочности на изгиб обычного подвергнутого отжигу стекла составляет  $3,5 \text{ кг/мм}^2$ , а модуль упругости  $7300 \text{ кг/мм}^2$ . После закалки прочность стекла при изгибе увеличивается до  $18 \text{ кг/мм}^2$ , не оказывая влияния на модуль упругости. Закаленное стекло очень широко применяется в строительстве при изготовлении дверей, витрин и т. п.

Ввиду того, что плексиглас, являющийся не чем иным как акриловой смолой, не выдерживает температуру выше  $100^\circ \text{C}$ , была предпринята попытка улучшить механические свойства стекла для использования его в конструкциях открытых кабин сверхзвуковых самолетов. Появилось пакетированное стекло, состоящее из нескольких слоев закаленного стекла, разделенных слоем пластика «Милар», а затем, сравнительно недавно, — слоем поливинилбутираля (тройное стекло).

Наконец, недавно опубликованы сообщения о получении нескольких видов стекла, отличающегося очень высокой прочностью, в том числе стекла «Пиросерам 9606», свойства которого были изучены фирмой Дау конинг корпорейшн; его прочность при двухосном напряжении сжатия, очевидно, превышает  $250 \text{ кг/мм}^2$ .

Керамические материалы, содержащие 99% окиси алюминия, по видимому, обладают такими же свойствами. Отметим, кстати, что удельный вес окиси алюминия (глинозема) равен 3,88, а предел прочности при сжатии  $210 \text{ кг/мм}^2$ , в то время как для двуокиси кремния (кремнезема) эти показатели соответственно равны 2,6 и  $219 \text{ кг/мм}^2$ .

### Стекловолокно

При расплавлении стеклянных шариков в платиновых тиглях, снабженных 204 отверстиями, получают фибриллы (волокна), которые вытягивают до тех пор, пока их диаметр не станет равным не-

скольким микронам; эти волокна могут достигать прочности при растяжении  $350 \text{ кг/мм}^2$ .

Прядь, образованная 204 фибриллами, уже не имеет такой прочности в результате абразивного износа, вызываемого трением волокон между собой. Предел прочности при растяжении троса, изготовленного из таких прядей, не превышает  $170 \text{ кг/мм}^2$ . Тросы, пропитанные и скрепленные полиэфирной, эпоксидной, фенольной или силиконовой смолой, образуют материал, называемый стекловолокном, или «стративером», необыкновенные свойства которого вызывают интерес специалистов.

Эпоксидные смолы способствуют наилучшему распределению напряжений в волокнах. Вместе с тем, применяя усовершенствованный метод изготовления стеклянных нитей и располагая тросы так, чтобы они испытывали действие чистого растягивающего усилия, можно создать сферические или цилиндрические оболочки, подверженные внутреннему давлению, среднее напряжение которых при двухосном растяжении достигает  $70 \text{ кг/мм}^2$ , а предел прочности при сжатии — около  $56 \text{ кг/мм}^2$ . Такой материал был использован для изготовления третьей ступени ракеты-носителя «Алмаз» во Франции и оболочки ракеты «Полярис» в США.

#### Прочие материалы со стеклянной арматурой

Американцы изобрели различные составные материалы со стеклянной арматурой в виде хлопьев, полых шариков или стерженьков.

При использовании крошечных хлопьев в форме дисков толщиной в  $2 \text{ мк}$ , погруженных в эпоксидную смолу, получается материал, предел прочности которого при сжатии может достигать  $35 \text{ кг/мм}^2$ , предел прочности при растяжении  $14 \text{ кг/мм}^2$ , предел прочности при изгибе  $21 \text{ кг/мм}^2$  и модуль упругости  $3500\text{—}7000 \text{ кг/мм}^2$ . Чувствительность этого материала к надрезу и к действию влаги ниже, чем материала, армированного стекловолокном. Материал легко обрабатывается. Можно было бы увеличить его прочность при растяжении, расположив в направлении действия напряжений стеклянные нити, и, таким образом, использовать преимущества обоих материалов.

Для уменьшения удельного веса стекловолокна были применены пустотелые стеклянные шарики диаметром от 30 до  $300 \text{ мк}$  и толщиной  $2 \text{ мк}$ . Эти шарики обладают превосходной прочностью на сжатие. Меняя соотношение полых шариков и смолы, можно получить материалы удельным весом  $0,37\text{—}0,75$  с пределом прочности при сжатии  $1,75\text{—}14 \text{ кг/мм}^2$ .

Конечно, это невысокие показатели, но при удельном весе материала меньше единицы уже можно построить корпус подводного аппарата с любой толщиной стенки без ущерба для плавучести погружной конструкции.

Однако композиция материала из стеклянных пузырьков и эпоксидной смолы имеет весьма посредственный предел прочности при растяжении — всего  $2 \text{ кг/мм}^2$ . Для упрочнения структуры можно применить стеклянные нити, расположенные в направлении предполагаемого действия растягивающих усилий, с тем чтобы они воспринимали все напряжения при изгибе или растяжении, а основной материал — сердцевина — испытывал бы только сжимающие напряжения. Но осуществление этой возможности связано с очень серьезными трудностями. К тому же при длительном действии внешнего давления может возникнуть опасность ползучести материала. Тем не менее этот дешевый материал представляет большой интерес и может быть использован для заполнения полостей с целью придания им жесткости без снижения плавучести подводной конструкции.

## Стеклоалюминий

Заменяя эпоксидную смолу литым алюминием, можно увеличить сопротивление ползучести и усталостную прочность материала и получить предел прочности при сжатии  $15 \text{ кг/мм}^2$  и предел прочности при растяжении  $1,9 \text{ кг/мм}^2$  при удельном весе 1,6.

Были также попытки армировать легкие металлы стеклянными нитями или стержнями, обладающими особой теплостойкостью. Результаты пока получены неблестящие, так как трудновыполнимая дегазация состава нарушает однородность материала и делает его водопроницаемым. Однако Дж. Д. Сташив достиг заметного увеличения прочности литого алюминия при сжатии без изменения его удельного веса, армировав его стеклянными стержнями диаметром от 6 до 25 мм.

### Предварительно напряженный бетон.

Описанный выше материал весьма напоминает армированный бетон, в котором литой алюминий как бы выполняет роль цементирующего материала, а стальные арматурные стержни заменены более легкими стеклянными.

Для улучшения характеристик армированного бетона был использован предварительно напряженный бетон, в котором проволока диаметром 1,5 мм из высокопрочной стали, называемая «фортепьянной струной», перед погружением в бетон специального состава с пределом прочности при сжатии  $10 \text{ кг/мм}^2$  подвергается растягивающему напряжению в  $170\text{—}220 \text{ кг/мм}^2$ .

Было также предложено оригинальное решение, заключающееся в использовании развернутой металлической сетки, роль которой состоит в превращении растягивающих напряжений в напряжения сжатия вследствие ее однонаправленной упругости.

Для удаления излишка воды бетон в течение 30 мин подвергают давлению в  $7\text{—}10 \text{ кг/см}^2$ . Во время схватывания бетона поддерживается напряжение проволоки и внешнее давление в  $1 \text{ кг/см}^2$ .

Эта технология была использована фирмой Бреге при изготовлении несущей поверхности крыльев сверхзвукового планера. Крылья успешно прошли статические испытания и их расчетный вес может конкурировать с весом жесткой конструкции из алюминиевого сплава.

Патенты Стап-Бреге касаются изготовления корпусов с толщиной стенки 8—10 мм.

Бетон превосходно переносит действие морской воды, ударов и неогнеопасен. Интересно отметить, что под действием растягивающей нагрузки, достигающей 80% напряжения арматуры, бетон может дать трещины, но когда нагрузка снимается, он вновь «склеивается».

Применение предварительно напряженного бетона в гражданском строительстве вполне себя оправдало и дает основание надеяться, что он будет в дальнейшем использован и при создании корпусов подводных судов. При этом следует учитывать и умеренную стоимость используемых материалов.

### Слоистые материалы

Мы рассмотрели последовательно стекло, смолы, составы стекло—смола, стекло—металл, металл—бетон. Остается рассмотреть составы смолы—металл и металл—металл.

О губчатых металлах почти нечего сказать, так как лабораторные исследования не имеют никакого промышленного значения.

Слоистые материалы состоят обычно из двух пленок и облегченной

сердцевины, обладающей прочностью при сжатии. Опыт и расчет показывают, что предел прочности такой структуры при изгибе значительно выше предела прочности при изгибе однородного материала того же веса.

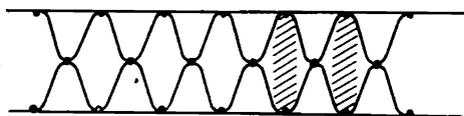
Все ячеистые материалы могут быть использованы в качестве сердцевины при условии соответствующей связи с пленками. Для изготовления прочных панелей обшивки самолетов применялись пена клежесель (волокно из поливинилхлорида) и мольтопреп (полиуретановое волокно), склеиваемые с металлической оболочкой. Но самыми лучшими характеристиками обладают «соты» из алюминиевой фольги или фольги из сплава алюминия АГ-3.

Фирма Сюд-Авиасьон производит «сотовые» алюминиевые блоки с ячейками диаметром 6,35 мм, имеющие следующие характеристики:

Толщина фольги, мм	Удельный вес	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>
25	0,037	7
30	0,045	10
40	0,058	16

Готовые блоки при нагревании приклеиваются к оболочкам из высокопрочного алюминиевого сплава при помощи пленок специального клея.

Фирма Нор-Авиасьон создала слоистый материал металл—металл, обладающий исключительной прочностью при сжатии и используемый



Постепенное изменение удельного веса образцов А и Б материала, полученного из полистирола, в зависимости от давления.

для изготовления капотов авиационных двигателей и межступенчатых юбок баллистических ракет. Сердцевина материала образована двумя волнистыми листами, соединенными между собой методом роликовой сварки вдоль контактных образующих. Затем сердцевину приваривают одновременно к обеим оболочкам при помощи электрического сопротивления и выдвигных сердечников, являющихся хорошими проводниками электрического тока (см. рисунок).

Для сердцевины и оболочек применяется листовая нержавеющая сталь толщиной от 0,1 мм Z10CNT18 или AISI301, обрабатываемая в холодном состоянии для получения прочности до 140 кг/мм<sup>2</sup> при удлинении 10%.

## ОДНОРОДНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Исследования в области органических или составных материалов, о наиболее интересных возможностях применения которых сказано выше, привлекли внимание и металлургов, пытающихся если не изменить удельный вес металла, то по крайней мере увеличить его удельную прочность.

### Сверхлегкие и легкие металлы

Магний, имеющий удельный вес 1,7, был усилен добавлением в него алюминия, марганца, а позже тория и циркония; однако его чувствительность к морской воде мешает применению его в погружных конструкциях.

Удельный вес бериллия (1,84) близок к удельному весу магния, а его предел прочности при сжатии значительно выше ( $70 \text{ кг/мм}^2$ ), но он хрупок и очень дорог.

Алюминий (удельный вес 2,7) благодаря эффективной и удобной анодной защите находит широкое применение в условиях моря, а возможности применения его сплавов еще не исчерпаны. Так, «Конкорд» почти целиком выполнен из сплава AU29N, а двигатель «Сатурна» — из сплава AU6MGT.

Улучшенный дюралюминий, или AU4G1, по европейскому стандарту имеет следующие минимальные характеристики (в пластинах толщиной 25—50 мм):

Удельный вес	Предел прочности, $\text{кг/мм}^2$	Предел текучести, $\text{кг/мм}^2$	Относительное удлинение, %	Обозначение, принятое Международной ассоциацией авиационных конструкторов
2,8	42	28	10	ALP'13

«Цикраль», или сплав AZ5GU, имеет еще более высокие характеристики, но требует очень осторожного обращения (при формовке, сварке, обработке).

### Титан и его сплавы

За последние десять лет титан наделал много шума в технической печати. Его удельный вес (4,5), теплоустойчивость и стойкость к действию морской воды позволяют использовать его для несущих покрытий.

Освобожденный от примесей путем обработки в вакууме в печи с расходуемым электродом, «коммерчески чистый» титан приобретает прочность  $40\text{—}50 \text{ кг/мм}^2$  при модуле упругости  $11000 \text{ кг/мм}^2$ , превосходное удлинение, хорошо формуется и поддается дуговой сварке в атмосфере аргона. Такой титан широко применяется в авиационной и химической промышленности.

В сочетании с алюминием, оловом, ванадием, молибденом и хромом он образует целый ряд сплавов, более или менее поддающихся термической обработке, формовке и сварке, из которых наибольшее распространение получил сплав TA6V, содержащий 6% алюминия и 4% ванадия. Он применяется в отраслях промышленности, связанных с космическими полетами. Этот сплав имеет следующие минимальные характеристики при толщине до 50 мм:

Предел прочности, $\text{кг/мм}^2$	Предел текучести, $\text{кг/мм}^2$	Относительное удлинение, %	Удельная работа деформации, $\text{кг/см}^2$
100	84	10	4

Эти характеристики сохраняются и в месте сварного шва за исключением, может быть, удельной работы деформации.

В США этот сплав был, в частности, использован для изготовления оболочки ракет «Титан» и «Аполло», а также второй ступени «Минитмен». Во Франции он широко применяется в производстве высокопрочных болтов и гаек.

Сплав, содержащий 13% ванадия, 11% хрома и 3% алюминия, обозначаемый во Франции TV13CA, а в США 120VCA, имеет механическую прочность при разрыве  $150 \text{ кг/мм}^2$ . Но он совершенно не подда-

ется сварке, с очень большим трудом формируется и в конечном счете, по-видимому, применяется редко.

Модель исследовательского океанографического судна из легированного титана представляет собой сварной цилиндрический корпус, заканчивающийся на обоих концах полусферами. Он изготовлен из сплава с пределом упругости  $94 \text{ кг/мм}^2$ . Внутри корпус усилен обработанными фланцами, выполненными из сплава с пределом упругости  $122 \text{ кг/мм}^2$ .

### Высокопрочные и сверхпрочные стали

Не следует удивляться, что в заключение перечня столь замечательных материалов речь пойдет о стали. Требования авиационно-космической промышленности явились причиной чрезвычайно быстрого прогресса черной металлургии, и были созданы новые сорта стали, которые могут быть использованы для изготовления механически обработанных и сварных конструкций с пределом упругости 70, 80, 100, 140 и  $175 \text{ кг/мм}^2$ .

*Предел упругости  $70 \text{ кг/мм}^2$ .* Военная спецификация для Американского морского флота MIL-S16216G от 26 февраля 1963 г. указывает следующие состав и минимальные механические характеристики стали HY100:

Углерод	Марганец	Сера	Фосфор	Кремний	Никель	Хром	Молибден
0,20	0,10—0,40	0,025	0,025	0,15—0,35	2,25—3,50	1,00—1,80	0,20—0,60

Листовая сталь после закалки и отпуска при температуре, превышающей  $565^\circ \text{C}$ , выпрямляется растягивающим усилием и имеет следующие характеристики:

Предел текучести, $\text{кг/мм}^2$	Относительное удлинение при толщине 50 мм, %	Сужение, %		Удельная нагрузка, $\text{кг/см}^2$ при $80^\circ \text{C}$
		поперечное	продольное	
70—80	18	45	50	5

Спецификация, кроме того, определяет допуски измерений и анализа, а также способ отбора проб и возможности испытания без вырезки образца, в частности ультразвуком.

Сталь «Суперелсо 70» (Сосьетэ де форж э ателье дю крёзо) почти полностью соответствует этой спецификации, хотя и имеет несколько иной состав.

Сварка, осуществляемая с предварительным нагревом в пределах  $150—200^\circ \text{C}$ , сопровождается термической обработкой с отпуском при  $620^\circ \text{C}$ , который не влияет на прочность основного металла.

*Предел упругости  $80 \text{ кг/мм}^2$ .* После войны по заказу Авиационной технической службы Компания металлургических заводов Шатийон-Комментри рассмотрела возможности получения высокопрочной стали, поддающейся сварке и сохраняющей после сварки без всякой термической обработки предел прочности при растяжении свыше  $100 \text{ кг/мм}^2$ . Такая сталь, получившая название «Васкоже 90», была принята в Европе Международной ассоциацией авиационных конструкторов с обозначением FePL52S. Ее химический состав заслуживает некоторых замечаний:

Углерод	Магний	Сера	Фосфор	Кремний	Хром	Молибден	Ванадий
0,12—0,18	0,80—1,10	0,015	0,020	0,20	1,25—1,50	0,80—1,00	0,20—0,30

Содержание углерода ограничено умышленно во избежание возникновения мартенситной структуры. Эта сталь, закаливаемая на воздухе, для получения бейнита, сваривается без предварительного или последующего нагрева при толщине листов до 25 мм.

Незначительное содержание серы и фосфора улучшает свариваемость.

Наконец, молибден и ванадий, увеличивая жаропрочность, компенсируют действие отпуска вблизи сварного шва, так что механическая прочность и твердость меняются в месте сварки очень незначительно.

Минимальные характеристики после воздушной закалки при 975°С и отпуска при 650°С при толщине до 10 мм:

Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>	Предел текучести, кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
100—120	80	12

При толщине более 10 мм закалка в масле при 950°С и отпуск при 625°С позволяют получить следующие характеристики:

Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>	Предел текучести, кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %
110—130	95	10

Эта сталь была, в частности, использована для изготовления двухслойной оболочки баллистической ракеты «Изумруд» диаметром 1400 м и длиной 7 м, а также первой ступени «Алмаза», запуск которого был успешно осуществлен в марте 1965 г. в Сахаре. Места холодного спая на обработанном металле не подвергались никаким другим видам обработки.

Французское управление подводных исследований собирается в скором времени приступить к испытаниям водолазного «блюдца», предназначенного для погружения на 1200 м (SP1200), сферическая герметизированная оболочка которого выполнена из стали HY80; вторая, уже законченная сфера из стали «Васкоже 90» позволит этому же аппарату достичь глубины 4000 м (SP4000 «Дипсарр»).

*Предел упругости 100 кг/мм<sup>2</sup>.* Новая группа сталей принадлежит компании Интернэшнл никл и носит общее название «Мар эйджинг», образованное из сокращения слов martensite (мартенсит) и aging (старение).

Низколегированные стали для достижения оптимальных свойств подвергают закалке и отпуску, а стали «Мар эйджинг» обрабатывают воздушной закалкой при 820°С, причем они становятся также максимально отпущенными, хотя и имеют мартенситную структуру. Их можно формовать, обрабатывать механическим способом, сваривать, после чего их подвергают старению в течение 3 ч при 480°С для достижения максимальной твердости и прочности.

Сталь «Мар эйджинг», состав которой приводится ниже, была создана компанией специально для «морских» целей, где от нее требу-

ются стойкость против окисления и высокая удельная работа деформации в сочетании с хорошей свариваемостью.

C	Ni	Cr	Mo	Ti	Al
0,02	12	3	3	0,15	0,1

После старения она обладает следующими минимальными механическими характеристиками:

Предел текучести, $\text{кг/мм}^2$	Удельная нагрузка при 20 °С, $\text{кг/см}^2$	Относительное сжатие, %
100	12	60

Недавно проведенные исследования позволяют увеличить предел упругости этой стали до  $140 \text{ кг/мм}^2$ , но эти новые составы еще не имеют промышленного значения.

*Предел упругости  $140 \text{ кг/мм}^2$ .* Остановимся теперь на наиболее известной группе сталей «Мар эйджинг», содержащих 18% никеля и совсем не содержащих хрома. Эти стали не являются нержавеющими, но имеют довольно высокую коррозионную стойкость под напряжением.

Железо-никелевый сплав с очень низким содержанием углерода имеет мартенситную структуру при температуре окружающей среды.

Кобальт, молибден, титан и алюминий в значительной степени увеличивают прочность этого мартенсита после старения в течение 3 ч при  $480^\circ \text{C}$ . В соответствии с пределом упругости, составляющим 140, 175 или  $210 \text{ кг/мм}^2$ , различают стали 18Ni200, 18Ni250 и 18Ni300. Рассмотрим первую из них, нашедшую применение в морском флоте США и Канады.

C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	Al	Ti	B	Zr	Ca
0,03	0,10	0,10	0,010	0,010	18,50	8,50	3,25	0,10	0,20	0,003	0,01	0,05

Следует отметить очень низкое допустимое содержание таких примесей, как сера, фосфор, углерод и др., в результате чего сталь имеет прекрасную свариваемость и исключительно высокое сопротивление сжатию. Места сварных соединений не нужно подвергать ни предварительному, ни последующему нагреву, ни отпуску; на сварных швах может быть применено локальное старение.

При поставке сталь, закаленная на воздухе при  $820^\circ \text{C}$ , имеет следующие механические характеристики:

Предел прочности, $\text{кг/мм}^2$	Предел текучести, $\text{кг/мм}^2$	Относительное удлинение, %	Сужение, %	Твердость по HRC
154	145	12	60	44

*Предел упругости  $175 \text{ кг/мм}^2$ .* Такой предел упругости, полученный в результате очень несложной термической обработки, имеет сталь 18Ni250, отличающаяся также превосходным сопротивлением надрезу

и образованию трещин. Эта сталь получила широкое распространение в США и Европе благодаря усилиям сталелитейщиков и, в частности, компании Венейдием элойз стил.

В отличие от стали, химический состав которой приведен выше, она содержит большое количество молибдена (4,80) и титана (0,40), в результате чего в тех же условиях старения приобретает следующие характеристики:

Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>	Предел текучести, кг/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %	Сужение, %	Твердость по HRC
190	175	10	50	50

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В приведенном обзоре конструкционных материалов лишь вкратце охарактеризованы их свойства и технологические преимущества, которые в высшей степени отличают их друг от друга. Сближающим их показателем является лишь допустимое удельное напряжение. Но необходимо принимать во внимание в равной мере совокупность технических и экономических факторов, исчерпывающее перечисление которых заняло бы слишком много времени.

В практике наибольшим спросом пользуются металлы, среди которых наиболее дешевым и одновременно наиболее поддающимся улучшению свойств при помощи легирующих элементов является сталь. Приобретенные в области черной металлургии знания и опыт позволяют выпускать новые сорта стали вполне надежным методом и с точностью определять ее многочисленные свойства.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОПЛАВКОВ

*Жан Молляр<sup>1</sup>*

Давления, которым подвергается используемое на больших глубинах оборудование, являются чрезвычайно сложной проблемой с точки зрения соотношения прочность — вес, разрешить которую при помощи существующих материалов не представляется возможным.

До тех пор, пока не будут созданы новые материалы, позволяющие строить подводные комплексы и суда для любой глубины и имеющие кажущуюся плотность, которая примерно равнялась бы плотности морской воды, придется использовать дополнительную плавучесть.

Ниже описываются различные материалы, которые могут быть использованы для обеспечения плавучести подводных аппаратов.

### СВОЙСТВА, КОТОРЫМИ ДОЛЖНЫ ОБЛАДАТЬ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОПЛАВКОВ

Бензин был успешно использован на батискафах «Триест» и «Архимед», которые в процессе погружения и своими рабочими характеристиками доказали пригодность этой жидкости для создания поплавок. Поэтому остается лишь сравнить свойства материалов, которые могут быть применены для создания поплавок, со свойствами бензина.

<sup>1</sup> Инженер Французского управления подводных исследований, Марсель. № 422в.

Чтобы оправдывать свое назначение, материалы должны обладать существенными преимуществами по сравнению с бензином.

а. Их плотность должна быть значительно ниже плотности морской воды, с тем чтобы уменьшать объем и вес в воздухе погружной конструкции. Удельный вес использованного на батискафе «Архимед» бензина Шелл В (от 0,66 при 30°С до 0,686 при 0°С) можно рассматривать как максимальный предел для материала, применяемого в большом количестве для создания плавучести.

Так как бензин создает около 300 г положительной плавучести на литр, для обеспечения плавучести подводного аппарата, имеющего значительный вес, необходимо применять поплавки большой емкости (130 м<sup>3</sup> для «Триеста» и 180 м<sup>3</sup> для «Архимеда»), которые из-за своего объема и вследствие своей инерции ограничивают оперативные возможности аппаратов. Показатели скорости, ускорения, торможения, маневренности, продолжительности автономной работы находятся в непосредственной зависимости от объема баллонов, обеспечивающих плавучесть.

Для стационарных аппаратов объем поплавков не имеет решающего значения, и в этом случае можно использовать более тяжелые материалы.

б. Очень важной характеристикой материала для поплавков является его сжимаемость по сравнению со сжимаемостью морской воды. В связи с тем, что всякое изменение давления влечет за собой изменение плавучести, следует стремиться к ограничению последнего, применяя такие материалы, коэффициент сжимаемости которых близок к коэффициенту сжимаемости морской воды.

Если  $d$  — плотность морской воды при данных солености, температуре и давлении, равно  $0$ ;  $d'$  — плотность при тех же солености, температуре и давлении  $p$ ;  $\beta_e$  — коэффициент сжимаемости морской воды при изменении давления от  $0$  до  $p$ ;  $V$  — объем поплавка при давлении, равно  $0$ ;  $V'$  — объем поплавка при давлении  $p$ ;  $\beta$  — коэффициент сжимаемости материала поплавка при изменении давления от  $0$  до  $p$ , то мы можем составить следующие уравнения для давления  $p$ :

$$d = d' (1 - \beta_e p) \quad (1)$$

и

$$V' = V (1 - \beta p). \quad (2)$$

Изменение плавучести при давлении  $p$  по сравнению с плавучестью при давлении, равно  $0$ , будет

$$Vd - V'd' = \frac{Vdp}{1 - \beta_e p} (\beta - \beta_e). \quad (3)$$

Уравнение (3) показывает, что изменение плавучести пропорционально разности коэффициентов сжимаемости, определяемых уравнением

$$\beta = -\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right).$$

Коэффициент сжимаемости меняется в зависимости от давления и температуры. Доказательством этого могут служить результаты, полученные Французским институтом нефти при изучении свойств бензина Шелл В.

В табл. 1 показано это изменение при различных температурах (для сравнения взята морская вода средней плотности при солености 35 г/кг и температуре 0°С).

Таблица 1

Коэффициент сжимаемости  $\beta \cdot 10^{-6}$  морской воды и бензина Шелл В

Давление, кг/см <sup>2</sup>	Морская вода при 0 °С	Шелл В при 0 °С	Шелл В при 15 °С	Шелл В при 30 °С	70%-ный раствор аммиака
550	43	79	83	90	46
700	42	70	73	79	45
900	40	63	66	70	43
1100	39	61	62	63	42

в. Для ограничения изменения плавучести коэффициент термического расширения материала должен быть близок к коэффициенту термического расширения морской воды. Вследствие тепловой инерции погружной конструкции и ее поплавок любое колебание температуры приведет хотя бы на короткое время к нарушению равновесия. Этого можно избежать, но тогда пострадает скорость погружения и всплытия аппарата и увеличится его вес. Это обстоятельство, имеющее очень важное значение, а также понижение температуры в результате декомпрессии при подъеме определяют необходимость применения маневого балласта.

Коэффициент термического расширения, определяемый уравнением  $\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dt} \right)$ , изменяется в зависимости от давления и температуры. Данные, приведенные в табл. 2, показывают его влияние на удельный вес бензина Шелл В.

Таблица 2

## Изменение удельного веса бензина Шелл В в зависимости от давления и температуры

Давление, кг/см <sup>2</sup>	Удельный вес		
	при 0 °С	при 15 °С	при 30 °С
500	0,720	0,710	0,699
700	0,731	0,722	0,711
900	0,741	0,732	0,722
1100	0,740	0,742	0,731

г. Поглощение воды материалом, используемым для создания плавучести, после нескольких часов погружения при значительном гидростатическом давлении должно быть минимальным. Плотность непосредственно связана с подобным изменением массы.

Если использование бензина не представляет никакой проблемы в отношении поглощения воды, то новые материалы обладают определенной гигроскопичностью. При выборе материала, очевидно, нужно руководствоваться допустимым пределом поглощения 2% по весу.

д. Одним из наиболее важных критериев различия материалов является их стоимость на килограмм плавучести. Будет, по-видимому, трудно найти материал, который мог бы конкурировать в этом отношении с бензином.

е. Наконец, материалы должны быть невоспламеняющимися, некоррозионными (для металлов), нетоксичными и обладать ударной прочностью.

## КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

### А. Жидкие

Применение жидких материалов для поплавков имеет значительные преимущества, так как создается возможность наилучшим образом расположить материал в отношении формы и объема. Уменьшение плавучести для ускорения погружения практически легче достигается сбрасыванием жидкости, чем твердого материала. Заполнение и разгрузка сравнительно несложны и осуществляются при помощи обычного заправочного оборудования для жидкого топлива или бензина. Опасные утечки и возможное перемещение массы являются главными недостатками жидкостных поплавков.

Все жидкие углеводороды значительно меняют свой объем в зависимости от давления. Изменение объема бензина Шелл В составляет около 11% при изменении давления на  $1100 \text{ кг/см}^2$ . Многие углеводороды (бутан, неопентан и др.) имеют удельный вес 0,6—0,7. Они представляют наибольший интерес с точки зрения веса, но требуют наддува оболочки поплавка. Все углеводороды легко воспламеняются, обладают высокой сжимаемостью и чрезвычайно летучи.

Основным соперником бензина является водный раствор аммиака. Безводный аммиак имеет удельный вес 0,61; 65%-ный раствор аммиака имеет удельный вес 0,77 при  $15^\circ \text{C}$ , а его сжимаемость очень близка к сжимаемости холодной морской воды при изменении давления в широких пределах (см. табл. 1).

Морская вода при небольших давлениях имеет более низкий коэффициент расширения, чем аммиачная вода. С увеличением давления положение резко меняется. Кроме того, холодная морская вода обладает гораздо большей сжимаемостью, чем теплая морская вода, а водные растворы аммиака — наоборот. Поэтому с увеличением глубины и понижением температуры плавучесть этих растворов улучшается.

Один из серьезных недостатков аммиачной воды заключается в давлении ее пара. В 70%-ном растворе аммиака при  $12^\circ \text{C}$  давление пара достигает примерно  $4 \text{ кг/см}^2$ . При таком давлении увеличивается опасность утечки и потери плавучести.

Другие недостатки: воспламеняемость (16—26%-ное содержание аммиака в воздухе), а также коррозионное действие на медные и алюминевые сплавы.

Для разрешения проблемы, связанной с утечкой, Французский институт нефти создал отвержденный бензин, свойства которого пока еще не изучены до конца, но который может оказаться счастливой находкой.

### Б. Газообразные

Вследствие необыкновенно высокой сжимаемости и летучести газов применение газонаполненных поплавков при аварийных работах и поднятии затонувших судов ограничено.

Водород создавал бы, по-видимому, максимальную плавучесть при любом давлении. При давлении  $680 \text{ кг/см}^2$  и  $0^\circ \text{C}$  удельный объем водорода составляет около  $24 \text{ см}^3/\text{г}$ , т. е. плавучесть равна  $0,96 \text{ кг/л}$ .

Азот при том же давлении  $680 \text{ кг/см}^2$  при  $0^\circ \text{C}$  имеет удельный объем  $1,85 \text{ см}^3/\text{г}$  и создает плавучесть  $0,46 \text{ кг/л}$ .

Юнайтед стейтс нейшенэл илектроникс лаборетери в Сан-Диего разработала проект и успешно провела два испытания модели дешевого поплавка, предназначенного для доставки оборудования, весящего несколько сотен килограммов, на глубину 30 м от дна при средней глубине воды.

Был использован жидкий азот, так как он дешев, легко получается и сравнительно неопасен в обращении.

Поплавок предназначался для обеспечения плавучести 270 кг при погружении на 1000 м. При атмосферном давлении с увеличением глубины на каждые 100 м в пар превращаются примерно 350 л газа.

Скорость погружения — 150 м/мин.

Через несколько часов поплавок поднимается один, автоматически освобождаясь от удерживающего его балласта.

Себестоимость плавучести — 1 франк за килограмм при погружении на 1000 м и 2,5 франка за килограмм при погружении на 4000 м.

## В. Т в е р д ы е

Здесь рассматриваются материалы, которые могут быть использованы для создания как поплавков, так и корпусов, т. е. металлические сферы из высокопрочной стали или алюминиевого сплава, полые корпуса из пластика, армированного стеклом, и стеклянные сферы.

Отметим, что все полые тела, используемые в большом количестве, могут оказаться раздавленными, если одно из них разрушено.

*Литий* (удельный вес 0,534) находит все более широкое применение для поплавков в оболочках из стали, медноникелевого сплава, бериллиевой или алюминиевой бронзы. Поплавки имеют различные размеры и формы; срок службы обычно более 10 лет.

Фирма Хайдроу-спейс технолоджи предлагает, в частности, сферический поплавок из лития в стальной оболочке диаметром 1,80 м, весом 1980 кг, из которых на долю лития приходится 1540 кг, и общим объемом 3000 м<sup>3</sup>, обеспечивающий полную плавучесть 1132 кг. Примерная стоимость — 165 франков на килограмм плавучести.

В случае негерметичности оболочки может возникнуть взаимодействие лития с морской водой, которое, однако, ограничивается образованием поверхностной пленки гидрата окиси лития.

Такие поплавки обладают меньшей сжимаемостью, чем морская вода.

*Синтетические материалы*, появившиеся несколько лет назад, сразу же вызвали огромный интерес в отношении возможностей использования их для поплавков. Обычно они представляют собой смесь пустотелых стеклянных микрошариков (натрийборосиликат) и фенольной или мочевиноформальдегидной смолы с эпоксидной или полиэфирной смолой. Они применяются в качестве заполнителей или в виде блоков-полуфабрикатов.

Стеклянные микропузырьки изготавливаются несколькими американскими компаниями, в том числе Миннезота, Эмерсон и Стандарт ойл. Диаметр микропузырьков 10—270 мк. Их удельный вес 0,30—0,35 Г/см<sup>3</sup>.

Перед употреблением их для получения синтетического материала необходимо удалить разбитые и слишком тяжелые шарики и обработать их поверхность для лучшей связи со смолы основы. Для этого полые микрошарики погружают в 5%-ный специальный раствор А1100, который производит Юньон кабайд кэмпэни: шарики, имеющие дефекты, опускаются на дно емкости. Количество таких микрошариков, обнаруженных этим способом, обычно составляет 3—10%.

Пластик получают действием катализатора на эпоксидную смолу, которая является основным термоотверждаемым материалом с атомным составом 1 атом кислорода и 2 атома углерода.

Существует более 100 катализаторов, ускоряющих твердение, которые в сочетании со значительным количеством эпоксидных смол позволяют менять электрические и механические свойства конечных продуктов.

Как правило, такие синтетические материалы, применяемые при создании подводных аппаратов, содержат 15—35% по весу стеклянных микропузырьков. Удельный вес этих материалов колеблется в пределах

0,45—0,80. Прочность материала обеспечивается микропузырьками, которые в свою очередь имеют различную прочность в зависимости от вида связующего вещества. При использовании фенольных полых микрошариков сопротивление давлению зависит главным образом от свойств смолы, образующей защитную оболочку.

Неоднородность микрошариков и поглощение ими влаги при хранении вызывают некоторое изменение удельного веса синтетического материала.

Для получения продукта с высокими характеристиками необходим очень тщательный контроль качества и пропорций материалов и точное регулирование процессов смешивания, нагрева и времени сушки.

В целях создания высокопрочного материала смешивание необходимо осуществлять в 90-процентном вакууме для удаления содержащегося в материале воздуха, однако этот процесс требует точной дозировки степени вакуума и времени, чтобы не испортить материал ускоренным испарением катализатора. Применение смачивающего поверхностно-активного вещества может улучшить связь между микропузырьками и смолой.

Синтетические материалы были использованы для обеспечения плавучести подводных аппаратов «Олвин», «Мари» и SP4000 «Дипстар».

На мировом рынке существует немало таких материалов. Приведем характеристики наиболее распространенных из них.

а. Синтетические материалы фирмы Джeneral моторс корпорейшн известны под названием «инлит». В настоящее время известно четыре вида этого материала:

инлит 26 — образован пустотелыми фенольными микрошариками и эпоксидной смолой; может быть использован при погружении до 4000 м; плавучесть в морской воде 0,385 кг/л;

инлит 30 — смесь полых стеклянных и фенольных микрошариков и эпоксидной смолы; может быть использован при погружении до 6000 м; плавучесть в морской воде 0,330 кг/л;

инлит 19 — смесь стеклянных микропузырьков и эпоксидной смолы; может быть использован для погружения до 8000 м; плавучесть в морской воде 0,320 кг/л;

инлит 48 — смесь пустотелых стеклянных микрошариков и эпоксидной смолы; может быть использован для погружения до 11 000 м; плавучесть в морской воде 0,320 кг/л.

Свойства образцов инлита 19 были исследованы организациями Метириел лаборетери, Нью Йорк нейвел шипьярд и Нейвел рисерч лаборетери (Н. Р. Л.). Первая сообщила, что образцы поглощают 3,4% воды и не обнаруживают никакого изменения объема через 1000 ч при давлении 700 кг/см<sup>2</sup>. По данным Н. Р. Л., поглощение воды составляет лишь 2% при том же давлении после 175 суток погружения, а изменение удельного веса — 1,3%.

Для уменьшения поглощения воды и защиты от абразивного износа материал можно покрыть слоем неопрена или уретана.

Характеристики этих материалов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики	Инлит 26	Инлит 30	Инлит 19	Инлит 48
Предел прочности при сжатии, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	4,2	7,4	9,9	11,9
Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	2,1	3,1	4,2	3,9
Сопротивление срезу, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	1,8	3,0	3,5	3,9
Предел прочности при изгибе, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	2,5	3,9	5,0	5,3
Удельный вес, Г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,63	0,688	0,695	0,695
Плавучесть в морской воде, кг/л . . . . .	0,385	0,330	0,320	0,320

Эти материалы поставляются в виде отливок: цилиндра, блока или сферы. Их можно обрабатывать резцами для обработки дерева, что упрощает изготовление сложных деталей.

б. Синтетические материалы фирмы Миннесота майнинг менью-фактуринг известны под названием «скотчплай». Существует два основных вида: скотчплай ХР-241-40, имеющий удельный вес  $0,64 \text{ Г/см}^3$ , и скотчплай ХР-241-49А, имеющий удельный вес  $0,785 \text{ Г/см}^3$ . Эти материалы представляют собой смеси эпоксидной смолы и стеклянных микропузырьков с частичным вакуумом.

Характеристики материалов скотчплай приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики	ХР-241-40	ХР-241-49А
Удельный вес, $\text{Г/см}^3$ . . . . .	0,64	0,785
Предел прочности при одноосном сжатии, $\text{кГ/мм}^2$	8,65	13,3
Модуль сжатия, $\text{кГ/мм}^2$ . . . . .	284	400
Предел прочности при растяжении, $\text{кГ/мм}^2$ . . . . .	3,2	3,2
Модуль растяжения, $\text{кГ/мм}^2$ . . . . .	312	425
Предел прочности при изгибе, $\text{кГ/мм}^2$ . . . . .	4,2	7,3
Модуль изгиба, $\text{кГ/мм}^2$ . . . . .	284	465
Усадка при высушивании, % . . . . .	1	1
Поглощение воды образцом $25,4 \times 25,4 \times 25,4$ . . . . .	2% через 250 ч при давлении $770 \text{ кГ/см}^2$	1% через 16 ч при давлении $1680 \text{ кГ/см}^2$

Эти материалы имеют меньшую сжимаемость, чем морская вода, в результате чего плавучесть с глубиной увеличивается.

В табл. 5 показано относительное изменение объема в процентах по сравнению с первоначальным объемом, сжимаемость и удельный вес при различных давлениях материала ХР-241-49А.

Таблица 5

Давление, $\text{кГ/см}^2$	Изменение объема, %	Коэффициент сжимаемости $\beta \cdot 10^{-6}$	Удельный вес, $\text{Г/см}^3$
0	100	—	0,790
140	99,6	28,5	0,793
280	99,2	28,5	0,796
420	98,9	26,2	0,799
560	98,6	25,0	0,801
700	98,3	24,3	0,804

Эти материалы поставляются в виде отдельных элементов, которым потребитель при отливке может придать желаемую форму, или в виде готовых блоков. Однако размер блоков ограничен. Для сохранения однородности материала их изготавливают лишь объемом не более 50 л.

Основные продукты очень чувствительны к влиянию температуры. До смешивания продукты следует хранить при температуре  $4^\circ \text{С}$ . Срок хранения может достигать 6 месяцев, а при  $15\text{—}20^\circ \text{С}$  он не должен превышать двух недель.

Время изготовления блока такого материала — 33 ч с момента смешения продуктов до удаления из формы.

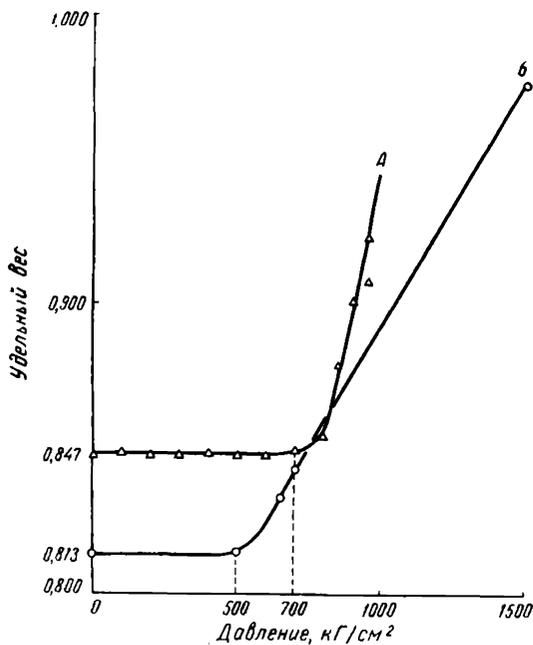
Промышленники держат в секрете полный химический состав материалов и точный метод изготовления. Не зная этого секрета, получить хорошие материалы очень трудно.

Скотчплай XR-241-40, состоящий в основном из эпоксидной бифенольно-эпихлоргидринной смолы и микропузырьков типа В30, используется при создании аппарата SP4000 «Дипстар». Его разрушающая нагрузка при раздавливании  $850 \text{ кг/см}^2$ . Поставляется в виде параллелепипедных блоков объемом 26—43 л. В связи с тем, что он используется в небольшом количестве — около  $2 \text{ м}^3$ , его стоимость на килограмм плавучести сравнительно высока — 122 франка.

в. Существуют и другие материалы. Французским управлением подводных исследований созданы синтетические материалы, смешиваемые в вакууме и высушиваемые в сушильных камерах, для использования при погружении на малую глубину. Весовой состав материала: 43% пузырьков из фенольной смолы EP-250 Эмеси и Камин (диаметр

3,5—4,2 мм, удельный вес 0,27—0,3), 11% стеклянных пузырьков SI того же производства, 42,6% смолы Шелл эпон 815 и 3,4% катализатора Дипа (Юньон кабайд кемикелз кэмпэни):

Французским управлением подводных исследований получен материал удельным весом 0,555, образец которого объемом 2 л через 24 ч при давлении  $120 \text{ кг/см}^2$  поглотил  $5 \text{ см}^3$  воды, в результате чего удельный вес материала увеличился на 0,5%. Коэффициент сжимаемости материала при давлении  $120 \text{ кг/см}^2$  составляет  $75 \cdot 10^{-6}$ , т. е. в 1,7 раза больше коэффициента сжимаемости морской воды. Разрушающая нагрузка при раздавливании  $160\text{—}180 \text{ кг/см}^2$ . Раздавливаются только шарики большого диаметра. Интересно отметить, что раздавливания



Постепенное изменение удельного веса образцов А- и Б материала, полученного из полистирола, в зависимости от давления.

в результате действия ударной волны не наблюдается.

**Органические материалы.** При регулировании степени кристаллизации полимера можно получить материал с небольшим удельным весом. Такие материалы могут быть получены из полиэтилена, полиуретана, полипропилена, полистирола.

Были проведены опыты с образцами, полученными из полистирола. Сравнительным испытанием подверглись два образца: образец А, не обработанный шприцеванием и сохранившим первоначальную пленку, диаметром 25 мм и длиной 175 мм и образец Б, обработанный для удаления пленки (очевидно, очень герметичной), диаметром 20 мм и длиной также 175 мм.

Вследствие неоднородности материала и увеличения уплотнения его структуры от центра к периферии удельный вес обоих образцов перед погружением составлял соответственно 0,847 и 0,813.

После 60 ч погружения при давлении  $950 \text{ кг/см}^2$  вес образца А изменился менее чем на 0,1%, а объем уменьшился при давлении  $600 \text{ кг/см}^2$ .

Для образца Б после 38 ч погружения при давлении от 500 до  $1500 \text{ кг/см}^2$  изменение веса составило 0,3%, а изменение объема наступило при давлении  $450 \text{ кг/см}^2$ .

Приведенные здесь кривые показывают постепенное изменение удельного веса образцов А и Б в зависимости от давления.

Коэффициент сжимаемости необработанных образцов составляет  $58 \cdot 10^{-6}$  при давлении  $400 \text{ кг/см}^2$ , т.е. почти в 1,3 раза превышает коэффициент сжимаемости морской воды.

Этот материал, очевидно, может быть использован для конструкций, погружаемых до 3000 м. Есть основания надеяться на получение продукта удельным весом 0,65; тогда останется лишь определить степень его гигроскопичности и сжимаемость.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отношении безопасности применения твердые однородные материалы имеют большее преимущество по сравнению с полыми телами, которые могут быть раздавлены или оказаться недостаточно герметичными, по сравнению с жидкостями, представляющими опасность утечки, и газами, которые, кроме опасности утечки, имеют еще и слишком высокую сжимаемость.

Современные синтетические материалы представляют превосходное решение, хотя и являются воспламеняющимися. Однако их стоимость, по крайней мере в 12 раз превышающая стоимость бензина, ограничивает в некоторых случаях возможность их использования.

Тем не менее при создании поплавков для подводных аппаратов, по-видимому, нужно будет использовать некоторое количество жидкости (бензина или какой-либо другой), необходимой для регулирования плавучести.

Учитывая непрерывное развитие и совершенствование техники, можно надеяться на появление на мировом рынке таких материалов, которые позволят разрешить все проблемы, связанные с плавучестью.

---

## МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БОЛЕЗНИ

*Е. Е. Р. Бернард<sup>1</sup>*

Со времени исследований Пауля Берта, проведенных еще в конце девятнадцатого столетия, в общих чертах установлено, что декомпрессионная болезнь обусловливается образованием пузырьков, состоящих в основном из инертных газов любой дыхательной смеси, используемой на глубине.

Если принять, что декомпрессионная болезнь объясняется образованием пузырьков, очевидно, важно узнать, где они образуются и локализуются и как вызывают те признаки, которые считаются декомпрессионной болезнью. Однако даже между сторонниками гипотезы пузырьков нет единого мнения по этим основным вопросам.

Поскольку пузырьки могут существовать и при отсутствии симптомов декомпрессионной болезни, можно предположить, что в этом случае они должны иметь определенный критический размер или образоваться в определенном количестве, или же их действие ограничено определенным местом. Больные чувствуют боль преимущественно в конечностях и в области суставов. На основании этого можно сделать

<sup>1</sup> № 411.

простейшее предположение, что поражение локализуется в определенных участках.

Однако другие наблюдения приводят к выводу, что очаги поражения могут возникнуть в спинном мозге или спинных нервах. Характерной особенностью поврежденной нервной системы водолазов является ее восстанавливаемость: сильно пораженная нервная система может быстро и полностью восстановиться и нормально функционировать. Это явление может указывать либо на сильно локализованное повреждение, вызывающее более общую реакцию, либо на восстанавливаемость нервных клеток при декомпрессии.

Всех этих данных недостаточно, чтобы окончательно поддержать какую-либо из двух точек зрения, и в действительности оба процесса могут иметь место, однако они клинически не различимы. Если даже невозможно определить, где возбуждается болезнь, необходимо тщательно определить места пораженных участков. Поражения в спинном мозге вызывают снижение жизненного тонуса, паралич или полную утрату организмом некоторых функций. Распределение признаков или симптомов заболевания указывает на место поражения, которое может быть определено с известной точностью.

Проф. Халдейн отмечает, что кессонная болезнь у рабочих, строящих туннели, наблюдалась при разрежении атмосферы менее чем до  $1,33 \text{ кг/см}^2$ , а наблюдение его над животными показало, что мелкие животные лучше переносят декомпрессионную болезнь, чем крупные. Эти наблюдения привели его к мысли о том, что декомпрессионная болезнь может возникнуть в том случае, если будут превышены определенные критические условия. В сущности его теоретический подход заключался в попытке оценить суммарное количество газа, растворенного в организме человека при давлении. Из-за невозможности провести точные измерения он описывал его математически как количество, содержащееся в последовательном ряду отсеков (или в «тканях»), каждый из которых имел специфический полупериод для заполнения или опорожнения:

Использование при декомпрессии постоянного декомпрессионного отношения 2:1 основано на предположении, что потенциально всегда может быть достигнуто одно и то же содержание газа, соизмеримое с давлением окружающей среды, хотя Халдейн показал, что газ остается в растворе в состоянии сверхнасыщения, пока не будет превзойдено первоначальное отношение, при котором могли образоваться пузырьки.

Такой подход, как бы он ни казался сегодня несовершенным, привел к первым успехам в составлении и осуществлении погружных расписаний.

На основании некоторых незаконченных экспериментов, проведенных автором настоящей статьи, можно предполагать, что если имеется минимум времени для декомпрессии, которое находится в пределах ошибки метода, то время не зависит от числа остановок, на которые оно распределяется. Иными словами, если, например, погружение должно быть проведено с затратой *70 мин* времени на декомпрессию при одной остановке на глубине *12 м*, то те же *70 мин* в сумме должны быть затрачены, например, на четыре остановки на глубинах *12, 9, 6* и *3 м*, на каждую из которых будет израсходовано теперь по *17* или *18 мин*. Эти результаты не претендуют на исчерпывающую точность, но они наводят на мысль о том, что кривая декомпрессии по мере снижения давления (приближения к поверхности) может приобретать вид, близкий к наклонной, в некоторой выбранной точке, определенной методом Халдейна. Однако форму кривой декомпрессии можно определить только экспериментальным путем. Вот почему в настоящее время пользуются результатами экспериментальных работ, предпочитая их

чисто теоретическому подходу к проблемам глубоких погружений, который может явиться крайне опасным для водолазов.

Одним из удачных результатов исследования погружений было выявление эффективности повышения давления с целью устранения симптомов, вызываемых декомпрессией. Этот результат можно также рассматривать как один из аргументов в пользу утверждения, что возбудителями декомпрессионной болезни являются пузырьки.

В настоящее время существует два принципиальных подхода к лечению декомпрессионной болезни. Первый представлен в виде лечебных таблиц и заключается в том, что пострадавшего снова погружают на определенную глубину для устранения большинства симптомов. Второй принцип, используемый Гриффитсом для лечения рабочих, занятых строительством туннелей, заключается в повторении условий повышенных давлений до таких величин, при которых симптомы болезни полностью исчезают.

Несмотря на то, что оба эти подхода к лечению декомпрессионной болезни признаны удовлетворительными в их собственных сферах применения, между ними имеется по крайней мере одно важное различие. При лечении рабочих-туннельщиков в редких случаях применяется давление сжатия, соответствующее глубине более 27 м вод. ст., а при лечении водолазов давление часто создается погружением их на глубину 50 м.

Таким образом, давление, создаваемое для рабочих-туннельщиков, приблизительно соответствует их рабочей глубине, в то время как для водолазов глубина создается несколько меньшая, чем их предшествующая рабочая глубина, но большая сравнительно с рабочей глубиной рабочих-туннельщиков.

Хотя клинически воспроизводятся условия глубины, сходные с реальными, все же для лечения должны быть созданы те условия давления, в которых водолаз находился во время предыдущего погружения.

По погружному расписанию выдержка на глубине 60 м не превышает в большинстве случаев ~ 15 мин и допускается выше этого значения во время подъема. Немногочисленность случаев заболевания декомпрессионной болезнью подтверждает, что погружные таблицы составлены удовлетворительно.

В значительной степени из-за того, что случаи заболевания декомпрессионной болезнью довольно редки, а также потому, что применение стандартного лечения давало удовлетворительные результаты, заболевание это остается еще недостаточно изученным.

Возобновившееся применение гелия для водолазов выдвинуло новые проблемы. Хотя они до настоящего времени еще не разрешены, все же удалось достигнуть некоторого прогресса в лечении декомпрессионной болезни при возникновении ее во время погружения и пребывания подводника под водой.

Первый случай заболевания произошел при глубине погружения 40 м. Но признаки неврологического нарушения исчезли при следующей остановке на несколько минут после замены дыхательной газовой смеси составом, более богатым кислородом.

Всего было около десяти случаев заболевания кессонной болезнью при глубоком погружении. Заболевания были ликвидированы при обработке пострадавших путем декомпрессии на глубине от 70 до 130 м. Процессы лечения кессонной болезни во всех этих случаях значительно отличались один от другого, но общая характерная деталь их заключалась в том, что декомпрессия пострадавшего продолжалась до наступления полного выздоровления, причем на этой стадии больного выдерживали от 15 мин до 2 ч.

После выздоровления от кессонной болезни пострадавшего постепенно поднимали к поверхности или короткими рейсами, или при непрерывном медленном снижении давления столба воды. Если же на какой-либо глубине во время подъема симптомы кессонной болезни вновь появлялись, пострадавшего оставляли на некоторое время в покое на этой глубине или снова слегка повышали давление.

Чтобы поднять пострадавшего на поверхность вместе с сопровождающим его водолазом при наименьших неудобствах, следует разработать приблизительный план или график с указанием, что можно и чего нельзя делать, исходя из условий безопасности пострадавшего.

---

# III.

## Морская геология

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ В МОРЕ

Ле Фюр<sup>1</sup>

Методы точного определения местоположения в море какой-то точки, не видимой с берега, появились совсем недавно, когда стали применять радиолокационные системы.

В настоящее время находятся в эксплуатации или в стадии разработки многочисленные радиоэлектронные системы, с большим или меньшим успехом отвечающие своему назначению. К их числу относятся системы Гидродист, Шоран, Хайрэн, Дерво, ЭИП (Е.Р.1<sup>2</sup>), Декка, Рана, Торан, Радист, Лоран, Омега, Транзит и др.

Специалисты пытались классифицировать подобные системы в зависимости от тех или иных признаков: одни предлагают различать системы по способу их действия — «круговому», «гиперболическому» и т. п., другие считают, что нужно исходить из радиуса действия, третьи берут за основу тип излучаемых волн. Универсальная система радиолокации, свободная от недостатков, если уже и изобретена, но еще не изготовлена.

#### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ

Принцип действия всех систем радиолокации основан на простом соотношении:

$$D = v(T_1 - T_0), \quad (1)$$

где  $D$  — расстояние между точкой  $A$ , местонахождение которой известно, и точкой  $B$ , местонахождение которой желают определить;  $v$  — скорость распространения радиоволн между точками  $A$  и  $B$ ;  $T_1 - T_0$  — время, за которое эти волны проходят заданное расстояние.

#### ОСНОВНОЕ СООТНОШЕНИЕ

Если известно, что  $v$  равна примерно 300 000 км/сек, то очевидно, что для определения расстояния около 10 м необходимо измерить промежуток времени в 0,03 микросекунды, а если  $D$  равно 200 км (т. е. по 100 км туда и обратно), необходимо знать скорость распространения волн с точностью до  $1/20000$ .

Рассмотрим, как достигается такая точность.

<sup>1</sup> Главный инженер Гидрографической службы морского флота, Париж. № 108.

<sup>2</sup> Американская система «электронный индикатор положения».

## Скорость распространения волн

В соотношении (1) скорость распространения волн  $v$  не зависит от нас: ее величина в безвоздушном пространстве известна — она равна 299 792,5 км/сек (с точностью до 0,4 км/сек). В земных условиях она зависит от коэффициента атмосферной рефракции и особенно от проводимости поверхности, вдоль которой распространяются волны.

Над морем — средой довольно однородной, обладающей относительно хорошей проводимостью, эта скорость колеблется в пределах

$$\pm \frac{1}{30\,000} \text{ от величины } 299\,690 \text{ км/сек.}$$

Над различными участками суши, начиная от соляных болот и кончая обнаженными породами, скорость  $v$  может колебаться в сторону уменьшения более чем на 1000 км/сек, т.е. на  $1/300$ . Эти колебания могут произойти от быстрых и непредвиденных изменений, например, от выпадения ливневого дождя на сухую землю, действия прилива и отлива, покрывающего и обнажающего длинный песчаный пляж, и др.

Кроме того, на границах зон различной проводимости возникают аномалии, которые зависят, с одной стороны, от угла атаки между направлением излучения и поверхностью раздела и, с другой стороны, от разницы в электрических свойствах обеих сред. Наибольшие осложнения возникают в случае, когда между исследуемой зоной и излучающими устройствами находятся острова, что приводит к пересечению траекторией многочисленных береговых линий.

В связи с этим станции, посылающие сигналы, следует по возможности располагать в непосредственной близости от берега. Более того, при использовании различных методов, о которых речь пойдет дальше, пути «синхронизации» должны проходить над морем или по крайней мере над однородными участками суши с постоянными характеристиками.

До начала всяких операций необходимо точно и полно выверить систему, затем проверить первоначальную настройку. Можно использовать станцию постоянного контроля, но не следует чрезмерно полагаться на ее показания, если она расположена не в самом центре зоны ведения работ, не на скале, маяке или не на специальной платформе, что редко удается осуществить.

### ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОХОЖДЕНИЯ РАССТОЯНИЯ $T_1 - T_0 = It$

Как показано выше, для получения необходимой надежности работы систем нужно знать время прохождения пути радиосигналами с точностью до 0,03 микросекунды. В лабораторных условиях интервалы времени достаточно хорошо определяются с указанной точностью, когда начало и конец явления происходят у нас на глазах. Но при определении местонахождения радиолокационным способом начало и конец явления происходят на большом расстоянии друг от друга, и измерить разделяющий их интервал времени  $It$  можно, вероятно, только двумя путями.

1. Таймер, при помощи которого будет отсчитываться время, помещают на борту судна и легко получают момент времени посылки сигнала  $T_0$ . Но этот сигнал должен быть снова возвращен с земли, чтобы можно было заметить момент его возвращения  $T_1$ . В этом случае придется учитывать путь в оба конца — туда и обратно — после приема передачи сигналов в заданную точку, расположенную на расстоянии  $D$ , которое мы хотим измерить.

Системы, в которых используется «подвижной таймер», называются системами прямого измерения, или «круговыми» (зона, в которой они действуют, представляет собой окружность). Они все «насыщае-

мые», т. е. могут одновременно использоваться ограниченным числом исследователей (чаще всего одним).

2. Тот же самый таймер устанавливают на суше. Это создает бóльшую возможность определить  $T_0$  на борту судна. В этом случае исследователь должен будет иметь в своем распоряжении две неподвижные станции  $A$  и  $B$ , испускающие синхронные сигналы в момент  $T_0$ , которые принимаются на движущемся объекте в моменты  $T_a$  и  $T_b$ . Измерение интервала между принимаемыми сигналами не составляет трудности. Тогда, применяя соотношение (1), можно получить

$$\left. \begin{aligned} D_a &= v(T_a - T_0); \\ D_b &= v(T_b - T_0), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

откуда

$$D_a - D_b = v(T_a - T_b).$$

Так определяются местонахождения судов по разности двух расстояний от судна до источников излучения  $A$  и  $B$ , которые расположены в фокусах гипербол.

Системы, в которых применяется «неподвижный таймер», называются «дифференциальными» или «гиперболическими». Это «ненасыщаемые» системы. Однако при использовании многих из этих систем требуется применение дополнительных сигналов, позволяющих измерить величину двузначности.

Для грубого сравнения можно отметить, что таймер должен иметь две или даже три стрелки, вращающиеся с разной скоростью, положение которых может быть в любую минуту известно тому, кто ими пользуется.

В этих системах одна из станций излучения сигналов, например  $A$ , называется «свободной», или «главной»; станция  $B$  называется «управляемой», или «подчиненной». Линия  $AB$  называется базисной линией, а ее продолжения — «теньевыми линиями». Два источника излучения определяют «сеть», а интервал, разделяющий две соседние равнофазные гиперболы, образует «канал».

Можно изменить методику замера, сделав  $A$  и  $B$  «свободными» станциями. Тогда сигналы, испускаемые ими, не будут больше синхронными; их сдвиг будет измеряться на неподвижной приемной станции, с которой информация будет передаваться на подвижное приемное устройство, где она будет учитываться при оценке интервала  $T_a - T_b$ .

Из изложенного очевидно, что каким бы методом определения местонахождения мы ни пользовались — круговым или гиперболическим, для определения одного места необходимо иметь не меньше двух станций излучения.

Так как точное положение движущейся цели установить трудно, потому что оно определяется лишь путем пересечения по крайней мере двух таких линий, необходимо увеличить число наземных установок со всеми присущими им помехами. Более того, чтобы получить расстояние  $D$ , необходимо, чтобы в круговых системах использовались расстояния, равные  $2D$ , превосходящие величину расстояний, используемых в гиперболических системах. Так как ошибка, обусловленная, в частности, округлением величин скоростей распространения волн, пропорциональна длине путей, очевидно, что современные системы определения положения в море несовершенны.

#### ФОРМА СИГНАЛОВ

Информация, передаваемая сигналами, излучаемыми при радиолокации, сводится к следующему: «по моим часам сейчас точно  $N$  микросекунд». Этот «часовой сигнал» принимается на суше и ретрансли-

руется на борт в круговых системах, принимается какой-то другой станцией и также ретранслируется в гиперболических системах.

Кодификация этой информации может принимать различные формы, но все они ограничиваются требованиями, обусловленными либо характером распространения волн, либо характером составляющих сигнала. Иначе говоря, выбор кода практически диктуется соображениями дальности передачи, частотой излучения и в меньшей мере применяемым методом.

Излучение сигналов может осуществляться: импульсами, гармоническими волнами — непрерывными или квантованными, смешанными волнами.

а. Импульсы относительно просто применяются для волн, длина которых не превышает  $\sim 200$  м. Этот метод позволяет уменьшить число излучаемых частот и получить при этом высокую максимальную мощность при незначительной средней энергии.

Применение дополнительного кодирования способствует улучшению надежности приема, так как обеспечивает «блокировку» и устраняет двузначность.

Импульсы применяются в круговых системах с радиомаяками-ответчиками, например, в системах Шоран, Хайрэн, ЭИП, Дерво.

б. Волны гармонической (синусоидальной) формы были применены в радиолокации раньше других, так как с ними очень удобно работать: легко достигнуть большой стабильности их излучения; можно прямо на их частотах выполнять четыре основных арифметических действия; количество информации, которые они содержат, весьма велико, если учесть их фазные характеристики. Эта «избыточность», как выражаются радиотехники, обеспечивает отличный прием путем интегрирования в среде с радиошумами высокого уровня.

Напротив, учет фазы, которая определяется только с точностью до одного «периода», приводит к двузначности, которую желательно и даже необходимо устранять, для чего требуется увеличивать число излучаемых частот. Однако при чрезмерной удаленности станций излучения возникает интерференция с пространственными волнами, которые делают такую систему излучения неприемлемой для больших расстояний.

Интересное решение заключается в том, чтобы использовать «избыточность», свойственную гармоническим непрерывным волнам, для испускания их циклами при сохранении «в памяти» предыдущей информации. Таким путем можно также снизить нагромождение частот, упростив проблему установки и замены, связанных с расходами, и фактически проблему возрастающей технической сложности и всегда существующей опасности неустойчивости «памяти».

Системы, в которых применяются гармонические (синусоидальные) волны, непрерывные или квантованные, могут быть круговыми или гиперболическими. К этой группе относится большая часть известных систем, в том числе Декка (Хи-Фикс, Лямбда, Си-Фикс и т. п.), Лоран (А и В), Рана (G, H, S и др.), Радист (DM, DR, N и др.), Торан (3P, 3G и др.).

в. При смешанном излучении можно либо модулировать одну несущую волну, как в системах, созданных на основе системы Теллюрометр (Гидродист, Кюбик и т. п.), либо излучать синусоидальную волну «внутри» импульса, как в системе Лоран. В последнем случае последовательно передаются две информации с различными характеристиками; тогда измерение можно делать сначала на фронте импульсов, а затем на фазе включенной гармонической волны, благодаря чему устраняется двузначность.

## ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ЧАСТОТ, МОЩНОСТИ И ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ

Применение соотношения (1), по всей вероятности, оправдывается только в том случае, если известен путь, который проходит со скоростью  $v$  сигнал от излучающего устройства к приемному. Если бы форма этого пути зависела просто от случая, всякая радиолокация, основанная на данных принципах, была бы невозможна. Между тем встречаются трудности, так как поведение волн зависит от их частоты и от характеристики отражающих слоев, окружающих земной шар в ионосфере (предполагается существование многих таких слоев на большой высоте, которые изменяются в зависимости от времени суток и времени года; некоторые из них существуют только днем, другие обнаруживаются лишь ночью).

В радиотехнике различают, по крайней мере для частот, которыми мы пользуемся, два основных способа распространения: земными волнами; пространственными, или ионосферными, волнами.

Земные волны в свою очередь подразделяются на три типа: прямые волны  $D$ , отраженные Землей волны  $R$ , поверхностные волны  $S$  и, наконец, волна  $C$ , которая может в зависимости от условий пересекать ионосферу или отражаться ею на Землю.

Во всех случаях, и это очень важно в радиолокации, пути сигналов направляются в вертикальной плоскости, проходящей через станции излучения и приема.

Относительное значение волн каждого типа зависит прежде всего, как это показано выше, от частоты излучения. Выбор указанной частоты для заданной системы определяется радиусом, действия, который обуславливает величину минимальной мощности излучающих станций.

На малых расстояниях, т. е. в пределах видимости и даже несколько за этими пределами, весьма выгодно пользоваться ультракороткими волнами длиной до 10 м (частота выше 30 мегагерц): поверхностная волна мгновенно ослабляется, и измерения делаются при помощи волны  $D$  с прямолинейным путем распространения. Излучения могут быть более или менее направленными, необходимая мощность будет незначительной, а скорость распространения хорошо известной. В этом диапазоне частот на импульсных волнах работают системы Шоран, Хайрэн, Дерво, Гидродист. Они прямо показывают расстояние и являются насыщаемыми.

При желании получить большую дальность передачи сигналов следует применять средние волны — длиной от 100 до 200 м (3—1,5 мегагерц). При мощности излучения около 1 квт теоретически достижима дальность передачи в несколько сотен километров. В действительности же эффективная дальность передачи сигналов значительно меньше, так как с поверхностными волнами сталкиваются пространственные волны, отраженные ионосферой, особенно ночью, в результате чего обработка сигналов при приеме затрудняется. К системам с указанным диапазоном относятся Декка (Хи-Фикс, Си-Фикс), Лоран (А и В), Рана (G и H), Радист (DM), Торан (3P и 3G). Они излучают сигналы синусоидальными непрерывными волнами или прерывистыми и являются гиперболическими или круговыми системами в нескольких вариантах (одно излучающее устройство на борту). Они ненасыщаемые, за исключением «электронного индикатора положения» (ЭИП) американской системы, излучающего волны импульсами на частотах 2 мегагерц.

На расстояниях в несколько тысяч километров применяются длинные волны — 3000 м и более. Мощность должна быть не менее 100 квт и антенны излучения должны быть весьма основательными. Так как

поверхностная волна улавливается, специальные устройства позволяют устранить пространственную волну, которая прибывает только спустя 30 микросекунд. Измерения возможны и на еще больших расстояниях путем использования последовательных скачков этой последней волны между Землей и ионосферой. Получаемая точность — несколько сотен метров — совершенно недостаточна, но все же полезно знать о существовании таких систем (Лоран, Омега), так как они могут в некоторых зонах служить приближенным или даже крайним средством, когда применение более точного метода окажется невозможным (например, при разведке залежей, находящихся на очень большом расстоянии).

По наблюдениям, при таком поведении волн в зависимости от частот увеличение излучаемой мощности обязательно влечет за собой существенное увеличение полезной дальности. Однако увеличение мощности часто бывает весьма желательно, особенно в тех зонах и в такие периоды, где и когда возникает значительный шумовой фон и возможна опасность не различить сигнала от шума при приеме.

Выбор частот не может быть сделан полностью по нашему желанию, частоты должны располагаться в диапазонах, предоставляемых радионавигации и радиолокации по международным соглашениям.

### СВОЙСТВА СИСТЕМ—ЭТАЛОНИРОВАНИЕ, ПОГРЕШНОСТИ

Системы радиолокации представляют собой не что иное, как измерительные приборы, и они должны обладать определенными характеристиками, которые, после того как их установили, можно стандартизировать. При использовании систем все же бывают погрешности, величину которых необходимо знать.

#### Свойства систем

*Чувствительность.* Система считается тем чувствительнее, чем большее смещение испытывает ее индикатор при определенном изменении измеряемой величины. Практически все приборы обладают этим качеством. Напомним, что изменение в 10 м при измерении расстояния требует при прочих равных условиях определения времени с точностью до 0,03 микросекунды.

*Точность.* Система считается точной, если под воздействием одинаковых величин при различных условиях она дает результаты, совпадающие между собой при очень высоком приближении. Очевидно, что это качество системы является важнейшим: без него нельзя с достоверностью обнаружить какой-то объект или какое-то подводное тело малых размеров, местоположение которого было определено во время предыдущего исследования.

На точность системы могут влиять неустойчивость, присущая аппаратуре, атмосферные помехи или помехи, обусловленные другими радиоизлучениями, а также изменения в условиях распространения волн.

Что касается внутренних причин и атмосферных шумов, то конструкторам надлежит создавать как можно более устойчивые цепи, выбирать наилучшие мощности излучения и максимально защищать приемные устройства от нежелательных помех. Эти условия в основном уже выполняются, но некоторая устаревшая аппаратура нуждается в частой проверке. Следует также недоверчиво относиться к стойкости «памяти» в циклических системах недавних выпусков.

С колебаниями скорости распространения волн приходится примириться. Контрольный приемник сможет давать точные указания в этом отношении, позволяя избежать некоторых случайных ошибок.

## Эталонирование. Относительная и абсолютная погрешность

Система, признанная чувствительной и точной, может и должна быть проэталонирована, т.е. ее показания необходимо сравнить с показаниями более точного прибора. Эталонирование выполняется путем определения положения приемного судна в море при помощи теодолитов, установленных в местах известных геодезических координат; точность такого определения около 1 м. Для каждой сети и в соответствии с характером выверяемой системы вычисляют отклонения в расстояниях или в фазах между «точными» величинами и величинами, считываемыми в одно и то же время с датчиков бортового приемного устройства. Эти отклонения позволяют оценить относительную погрешность измерений, причем графики, выражающие погрешности в зависимости от расстояний или от нумерации гипербол, дают градуировочные кривые для каждой сети. Эти кривые в дальнейшем будут использоваться для устранения систематических погрешностей не только в зоне выверки, но и вне видимости Земли. Известно, что такая экстраполяция часто является весьма рискованной, когда применяемая система дает только две линии положения. Французская гидрографическая служба применяет в своих съемках три сети, определяющие три линии, пересечение которых предстает в виде небольшого треугольника или «колпачка». Вид этого треугольника позволяет установить, можно ли принять результаты, полученные в зоне выверки, для расширения этой зоны без дополнительных поправок. Кроме того, размеры треугольника позволяют очень точно судить об абсолютной погрешности аппарата.

В качестве примера автор приводит две цифры, относящиеся к трем типам систем, гиперболических и круговых, применяемых Французской гидрографической службой. Эти числа выведены из нескольких тысяч наблюдений, осуществленных в самых разных районах и условиях: относительная погрешность — более 5 м; абсолютная погрешность — более 10 м до предела дальности действия радиолокационной системы (200 км).

Эти два результата прекрасно показывают, чего вправе ожидать исследователи от современных радиолокационных устройств.

Введение таких понятий, как «стандартное отклонение» или «средняя квадратическая ошибка», которых придерживаются некоторые исследователи, кажется автору данной статьи слишком теоретичным, приводящим часто к оптимистическим оценкам, не всегда объективным.

Следует, наконец, отметить, что перенос, когда это возможно, продолжений базисных линий в гиперболических системах обеспечивает быстрый контроль стабильности системы, но ни в коем случае не заменяет систематического эталонирования.

### ПРАКТИКА РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ. ИНДИКАЦИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

При размещении станций на суше стараются по возможности приблизиться к идеальным условиям, т.е. таким, при которых все пути распространения волн проходят исключительно над морем.

Какая бы ни использовалась система, для удобной обработки результатов необходимо располагать «проекциями» или картами, на которые наносятся круговые сетки или сетки гипербол. При выборе проекции необходимо разобраться, не произойдет ли при построении графика частичная потеря точности. Часто можно использовать проекционную систему, в которой геодезические положения излучающих систем уже определены. Однако, если ее распространение на область моря приводит к слишком значительным различиям линейных размеров,

необходимо использовать систему, рассчитанную специально для данной зоны работы. Для того чтобы можно было придерживаться установленных в радиолокации пределов точности, положения излучающих антенн должны быть известны с максимальной погрешностью в 1 м.

Расчеты и кривые, необходимые для составления карт, по всей вероятности, могут делаться «вручную», но эта работа очень длительная и утомительная, и всегда существует риск допущения ошибки. Программированное вычислительное устройство, соединенное с координатографом, выполняет эту работу за несколько часов, однако ошибки возможны и в этом случае.

Что касается индикации измерений на приемных устройствах, то в этой области выбор затрудняется в связи с тем, что конструкторы за последние несколько лет создали ряд вспомогательных устройств. Кроме необходимых фазометров или счетчиков, дающих визуальные показания, нужны еще аналогичные самопишущие приборы непрерывного действия. Они позволяют усреднять наблюдения, сохранять их для последующей более совершенной обработки или для проверки; они помогают также сократить число людей, занятых обработкой информации. Самопишущие цифровые преобразователи удобны для прямой обработки данных на машинах; их можно соединять со счетно-решающими устройствами, которые одновременно накапливают другую информацию, получение которой является основной целью разведки (batimетрической, гравиметрической, геологической, магнитной).

Указатель «вправо, влево», установленный перед рулевым, будет весьма полезен для направления судна по путям, соответствующим гиперболам или кругам сети.

Наконец, можно устанавливать на судах курсопрокладчики с одним или несколькими вычислительными устройствами, которые будут прямо показывать положение судна в геодезических или даже географических координатах.

Однако все дополнительные устройства несколько не увеличивают точности окончательных результатов, а может быть, даже снижают ее, так как подключение в цепь измерительной системы любых вспомогательных устройств увеличивает погрешности приборов.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СИСТЕМ

Полезно привести важнейшие характеристики основных систем, применяемых в настоящее время (см. таблицу). Приводимые данные основаны на личном опыте автора или выведены во время выполнения специальных работ, или, наконец, исходят из сообщений конструкторов. Эти данные имеют главным образом информационное значение, они часто несколько оптимистичны и соответствуют только нормальным условиям эксплуатации.

Мощности излучений в таблице не указаны; они не являются основными характеристиками системы, так как всегда достаточны для получения указанной дальности. Следует напомнить, кстати, что мощность излучения может значительно снижаться ночью вследствие интерференции между поверхностной и пространственной волной.

Классификация сделана с учетом формы геометрических линий, даваемых системой: кругов или гипербол. Смешанные системы дают либо круги, если один передатчик установлен на борту, а второй на земле, либо гиперболы, если оба передатчика установлены на земле. Смешанные системы, по всей вероятности, являются насыщаемыми в их первом варианте использования.

В каждой группе системы расположены по возрастающей дальности передачи.

## Характеристика основных радиолокационных систем

Наименование	Страна-изготовитель	Частота	Форма сигналов	Дальность передачи, км	Точность, м	Неоднородность срежки	Число одновременных пользователей системы
<i>Гиперболические</i>							
Рана Н	Франция	2 Мгц	Синусоидальная	278	5—10	Да	Ненасыщаемого типа
Торан 3G	Франция	2 »	То же	278	5—10	Да	То же
Лоран А и В	США	2 »	» »	278	5—10	Нет	» »
Декка Гидро	Англия	100 кгц	» »	370	10—150	Нет	» »
Лоран С	США	100 »	Импульсная и синусоидальная	2220	30—300	Да	» »
<i>Круговые</i>							
Гидродист	Южная Африка и Англия	3000 Мгц	Импульсная	В пределах видимости	1—5	Да	Насыщаемого типа
Шоран и Хайрэн	США	300 »	То же	То же	5—10	Да	То же
Дерво	Франция	250 »	» »	» »	5—10	Да	10 макс.
Радист DM	США	1,5—5,0 Мгц	Синусоидальная	370	5—30	Нет	Ненасыщаемого типа
ЭИП	США	2 Мгц	Импульсная	740	15—60	Да	Насыщаемого типа
Декка, Лямбда	Англия	100 кгц	Синусоидальная	740	10—100	Да	То же
<i>Смешанные</i>							
Хи-Фикс А	Англия	2 Мгц	Синусоидальная квантованная	92	5—10	Нет	Ненасыщаемого типа в гиперболической системе
Хи-Фикс В	Англия	2 »	То же	92	5—10	Да	То же
Рана G	Франция	2 »	Синусоидальная	92	5—20	Нет	» »

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Итак, остается только выбрать какую-либо из предложенных систем, которая удовлетворяла бы нашим требованиям. Однако прежде всего было бы желательно обойтись без двух передатчиков, чтобы получать только одну линию положения, определяемую с таким трудом при помощи волн, проходящих расстояние по крайней мере вдвое длиннее тех, которые предстоит измерить. Затем следовало бы избежать применения различных типов систем в зависимости от требуемой дальности передачи. Наконец, было бы большой удачей, если бы не пришлось устанавливать антенны по побережью района, который предстоит исследовать. Суммируя, можно заключить, что желательно иметь очень простую и универсальную систему.

Первое желание может быть удовлетворено в очень близком будущем без особенного изменения сущности применяемых в настоящее время стандартных методов. Трудности, связанные с измерением времени, происходят оттого, что используемые измерители времени фактически представляют собой «интервалометры», а не подлинные «датчики времени». Но предположим, что в нашем распоряжении имеется два источника импульсов, работающих строго синхронно; расположим

один из них на земле и заставим его излучать сигналы через интервалы времени, установленные заранее; второй источник импульсов будем держать на борту; он позволит непосредственно измерять искомое расстояние, так как на судне известно точное время излучения сигналов. Кроме того, мы установили бы расстояние при помощи только одного передатчика. Третий источник импульсных тактов, работающий синхронно с двумя указанными и установленный также на земле, но в другом месте, даст таким же путем второе расстояние.

Достижение совершенной и непрерывной синхронности, по всей вероятности, — нереальная задача, но если датчик времени на приемном устройстве допускает отклонение показаний от таймеров, установленных на земле, не более чем на 1 микросекунду за сутки, то в течение этих 24 ч можно измерять расстояние с погрешностью до 300 м. Таким образом, 1 микросекунда в сутки означает точность до 1 сек в 3000 лет. Такова точность современных атомных резонаторов. Предполагается достигнуть стабильности в 10 раз большей (1 сек в 30 000 лет) и даже превзойти ее. Тогда погрешности расстояний в радиолокации станут меньше 30 м в сутки.

Что же касается создания универсальной системы, то это — более отдаленная перспектива, но теоретическое решение уже найдено: достаточно, допустим, запустить несколько спутников (например, двадцать четыре), оснащенных синхронными источниками импульсных тактов. Можно высказать уверенность в том, что исследователи предстоящего поколения будут пользоваться универсальными системами.

---

## МНОГОКРАТНОЕ ОТРАЖЕНИЕ В МОРСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*К. Х. Сэвит*<sup>1</sup>

### ВВЕДЕНИЕ

В сейсмических исследованиях сейсмические возмущения создаются вблизи поверхности Земли для передачи через геологический разрез и частичного приема сейсмоприемниками на поверхности. На основании времени, необходимого для прохождения сигнала от различных точек до множества приемников, делаются выводы о конфигурации различных поверхностей в геологическом разрезе.

Основой процесса интерпретации является предполагаемая зависимость между поверхностями и путями движения сейсмических волн. При исследованиях методом отраженных, а также преломленных волн предполагается, что ниже земной поверхности залегает система слоев и что ни один луч не пересекает любую поверхность более чем дважды (если одно отражение принимать за два пересечения, что бывает в случае, когда и первоначальный и отраженный лучи считаются пересекающимися с отражателем, то число пересечений всегда предполагается равным двум или нулю). Аналогичное допущение для интерпретации отраженных волн состоит в том, что любой наблюдаемый фронт волн отражен только один раз. В последние годы в сейсмологии установлено, что при морских исследованиях эти допущения неприемлемы.

<sup>1</sup> Западная геофизическая компания Америки, США. № 105.

Почти во всех морских сейсмических работах с применением метода отраженных волн значительная часть сейсмической энергии, воспринятая приемниками, подвергается многократному отражению.

Сегодня большинство сейсмологов серьезно сомневается в возможности каких-либо сейсмических исследований, полностью свободных от многократных отражений.

### КЛАССИФИКАЦИЯ МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

В работах по методу отраженных волн различают несколько типов многократного отражения. Вся отраженная энергия, возникшая на поверхности или вблизи нее и возвращающаяся к поверхности, подвергается нечетному числу отражений. Если это число равно единице, то отражение не является многократным и называется «первичным» или «простым» отражением. Если число отражений 3 или более, отражение классифицируется как многократное. Порядок многократности определяется числом  $n$ , когда число отражений равно  $2n+1$ . Простое отражение имеет нулевой порядок.

Распространенным типом многократного отражения является такой, когда точки отражения лежат лишь на поверхности и на данном подземном отражателе. Такое многократное отражение называют полным. Если рефлектор параллелен поверхности, то время полного многократного отражения является интегралом времени многократных отражений, сопутствующих простому отражению. Таким образом,  $n$ -е отражение будет иметь время  $T_n$ , определяемое выражением  $T_n = nT_R$ , где  $T_R$  — время простого отражения. В случае, когда отражающий горизонт наклонен под углом  $\alpha$  к поверхности, формула принимает более общий вид:

$$T_n = T_R \frac{\sin(n+1)\alpha}{\sin\alpha}. \quad (1)$$

Послойными многократными отражениями являются такие, в которых участвуют по крайней мере две отражающие поверхности, кроме границы раздела земля — воздух. Только в особых случаях возможно идентифицировать такие отражения и вывести формулы, определяющие время отражения и дифференциал времени отражения по выбранным расстояниям (разность времени подступления отраженной волны к центральному и крайнему сейсмоприемникам) для этого класса многократных отражений. Можно, однако, показать, что приближенное время и разница во времени, определенная по формуле, выведенной при допущении, что все (три или более) отражающие поверхности действуют одновременно, примерно совпадают для приемлемых углов наклона даже в том случае, когда поверхности действуют неодновременно.

Интересен особый случай в морских работах, когда волна один раз отражается от глубокого отражателя, а также  $n$  раз отражается между поверхностью и дном моря. Результирующее отражение называют « $n$ -кратным изображением» отражающего пласта на дне.

Если принять, что глубокий отражающий пласт наклонен под углом  $\theta$ , а дно океана под углом  $\varphi$ , то приближенное уравнение будет

$$\Delta T_n = (\cos n\varphi) \Delta T_R + (n \cos \theta) \Delta T_B, \quad (2)$$

где  $\Delta T_R$  — разность времени прихода отраженной волны к центральному и крайнему сейсмоприемникам для первичного отражения пласта;  $\Delta T_n$  — то же для  $n$ -кратного отражения пласта;  $\Delta T_B$  — то же для простого отражения от дна океана.

Чтобы избежать осложнений, обусловленных различными геометрическими изменениями, эти разности времени считают разностью во времени отражения на двух приемниках, расположенных на равных расстояниях на противоположных сторонах от точки взрыва.

Уравнение (2) можно преобразовать:

$$\Delta T_n \approx \Delta T_R + A_n \Delta T_B, \quad (3)$$

где

$$A_n = n \cos \theta - (1 - \cos n\varphi) \frac{\Delta T_R}{\Delta T_B}. \quad (4)$$

Величина  $A_n$  может быть легко вычислена и представлена в табличной или графической форме как функция только наблюдавшихся значений  $\Delta T_R$  и  $\Delta T_B$ .

Ясно, что для малых углов, которые допускают существование многократного отражения,  $\varphi$  и  $\theta$  могут быть найдены с достаточной точностью по классическим формулам:

$$\sin \varphi = v_w \frac{\Delta T_B}{L}; \quad (5)$$

$$\sin \theta = \bar{v}_s \frac{\Delta T_R}{L}, \quad (6)$$

где  $v_w$  — скорость волны в воде;  $\bar{v}_s$  — средняя скорость волны в породах;  $L$  — длина разноса (симметрично относительно точки взрыва).

Скорость волны в воде  $v_w$  известна, а скорость в породах следует определить, если она не известна, из исследований скорости по скважинам или из интерпретации  $x^2$ ,  $T^2$  (рассматриваемой ниже). Для таких малых углов первый член в выражении (4) преобладает, и таким образом намечается некоторый путь в выборе  $v_s$ .

Одной довольно обычной формой многократного отражения являются «реверберационные колебания». Реверберация возникает в условиях, когда сама толща воды или толща воды и подстилающий ее слой осадков вибрируют на одной или более резонансных частотах в ответ на возмущение, вызванное сейсмическим ударом или отраженной энергией, возвратившейся от отражателя, который расположен ниже дна океана. Иногда, например, в некоторых частях Персидского залива или оз. Маракайбо, реверберационные колебания так сильны, что записи кажутся состоящими только из синусоидальных волн одной частоты с полным отсутствием следов нарушений от взаимодействующих отражений.

Реверберационные колебания классифицируются как явление многократного отражения, поскольку резонанс толщи воды поддерживается стоячими волнами, управляемыми отражением на поверхности и в основании толщи воды подобно действию органной трубы. Реверберация является таким особым случаем многократного отражения от дна, когда глубина воды настолько мала, что интервал отражения совпадает с периодом колебаний сейсмических волн.

## ДИАГНОСТИКА

В предыдущие годы многократное отражение обычно не выделялось по ряду причин, не последней из которых было убеждение, что практически оно не существует. Полевая аппаратура была не в состоянии дать основные показатели, при помощи которых многократное отражение могло бы быть отличено от первичного. Даже если первичные данные были пригодны, различить его было трудно.

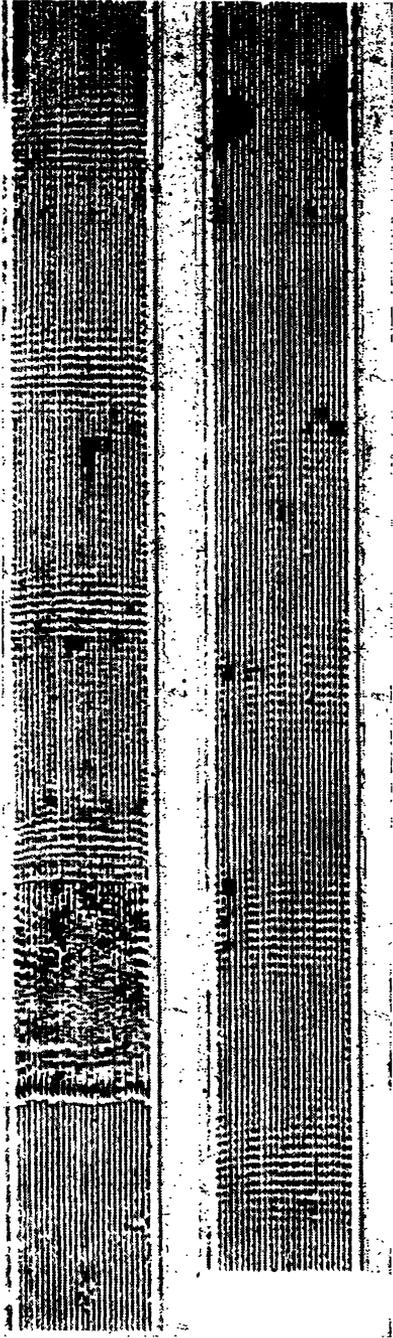


Рис. 1. Многократное отражение от морского дна. Глубина около 500 м. Цифры под записью показывают время отражения в сек. Простое отражение появляется примерно через 0,7 сек. На сейсмограмме видно девятикратное отражение.

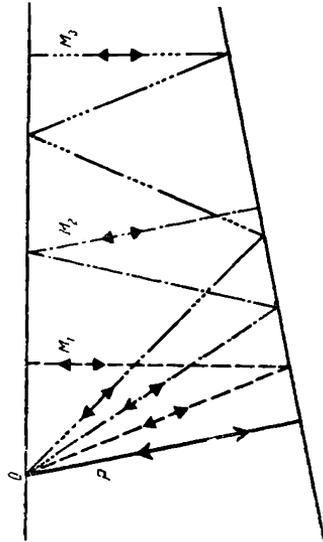


Рис. 2. Геометрия пути луча при многократном отражении от наклонного отражателя.  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  — пути первого, второго и третьего отражения. Ход прямого и обратного лучей показан в обоих направлениях стрелками по отношению к передатчику и приемнику в точке  $O$ .

Рис. 3. Многократное отражение от морского дна. Наклон дна составляет около  $2,5^\circ$  и полученное число отражений в этом случае не является предельным. Шкала показана в секундах по отношению к моменту взрыва.



Прямое наблюдение и сравнение времени отражения и разницы во времени достаточны для определения некоторых типов многократного отражения. Например, на рис. 1, 2 и 3 иллюстрируются ясно различимые многократные отражения. На сейсмограмме типы отражений повторяются через регулярные интервалы времени многократных отражений и разница во времени сравнивается с разницей для простых отражений, вычисленных по классическим формулам.

Большие площади континентального шельфа в Калифорнии демонстрируют это явление особенно ярко.

Обычно отражение от дна сменяется в определенное время рядом простых отражений от внутренних частей геологического разреза. Этот ряд, однако, неожиданно прерывается первым многократным отражением от дна, которое в свою очередь сменяется повторением первого ряда. Интервал между отражением от дна океана и его первым повторением называют «окном», а  $n$ -е окно есть интервал между  $(n-1)$ -ным и  $n$ -ным повторениями отражений от дна океана. Так как регулярный характер явления различим, то легко идентифицировать почти все многократные отражения и выбрать в качестве простых все отражения, которые не повторяются. Более сложные критерии требуются в случае, когда форма колебаний становится неясной и когда имеется слишком много сходства между простыми и многократными отражениями.

С практической точки зрения в настоящее время может быть идентифицировано очень мало простых отражений в ряду многократных отражений от дна океана. Это объясняется более сильным ослаблением их при прохождении через мощную толщу осадочных пород по сравнению с умеренным ослаблением отраженных волн при ряде многократных отражений от дна океана, когда большая часть времени тратится на пересечение слоя воды дважды или более.

В редких случаях сейсмограмма допускает непосредственную идентификацию ряда комплексных отражений. Одна из таких сейсмограмм показана на рис. 4. В верхней части рисунка показана 36-дорожечная сейсмограмма, полученная при глубине воды почти 900 м. Верхние 24 дорожки представляют собой запись с кабеля, расположенного под прямым углом к другому кабелю, запись с которого представлена на нижних 12 дорожках. Наблюдавшиеся и вычисленные значения времени отражения для различных видов многократного отражения показаны в нижней части рисунка.

Идентификация и построение путей различных отражений были осуществлены на основании времен и разниц во времени прихода отражений к двум кабелям. При этом не ожидалось точного соответствия между наблюдавшимся и вычисленным временем в связи с трудностью определения приуроченности точек последовательных фаз.

За исключением немногих случаев, перечисленных выше, в которых многократное отражение может быть идентифицировано на основе времени и разницы времен, идентификация многократных отражений зависит от скорости сейсмических волн. В частности, известно, что скорости сейсмических волн имеют тенденцию увеличиваться с глубиной. Обычная разница во времени определяется как изменение времени отражения с изменением расстояния от источника сейсмической энергии после исключения влияния наклона отражателя. Обычная разница во времени является функцией средней скорости волны, распространяющейся от поверхности до отражателя. Отсюда следует, что простое и многократное отражения, прибывающие в одно и то же время, будут иметь различные разницы во времени. Так, многократное и простое отражения будут совпадать только на сейсмоприемниках, расположенных близко к точке взрыва, и будут расходиться при удалении от нее.

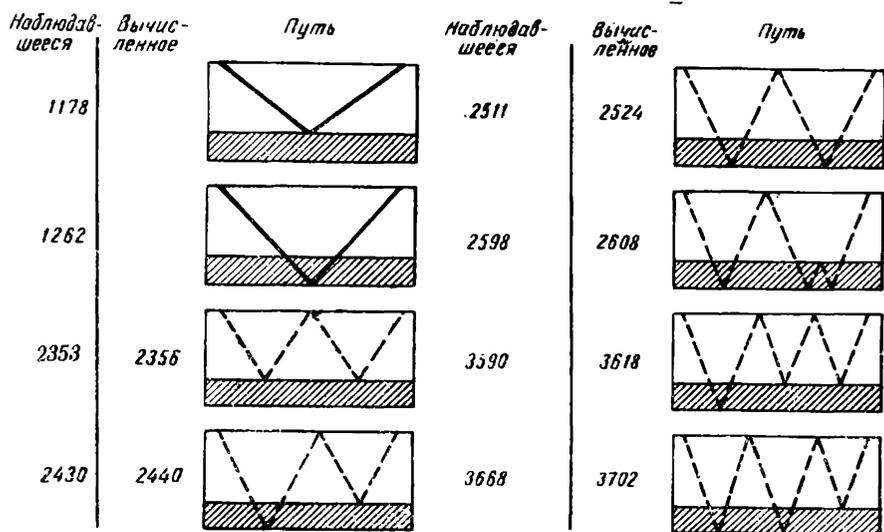
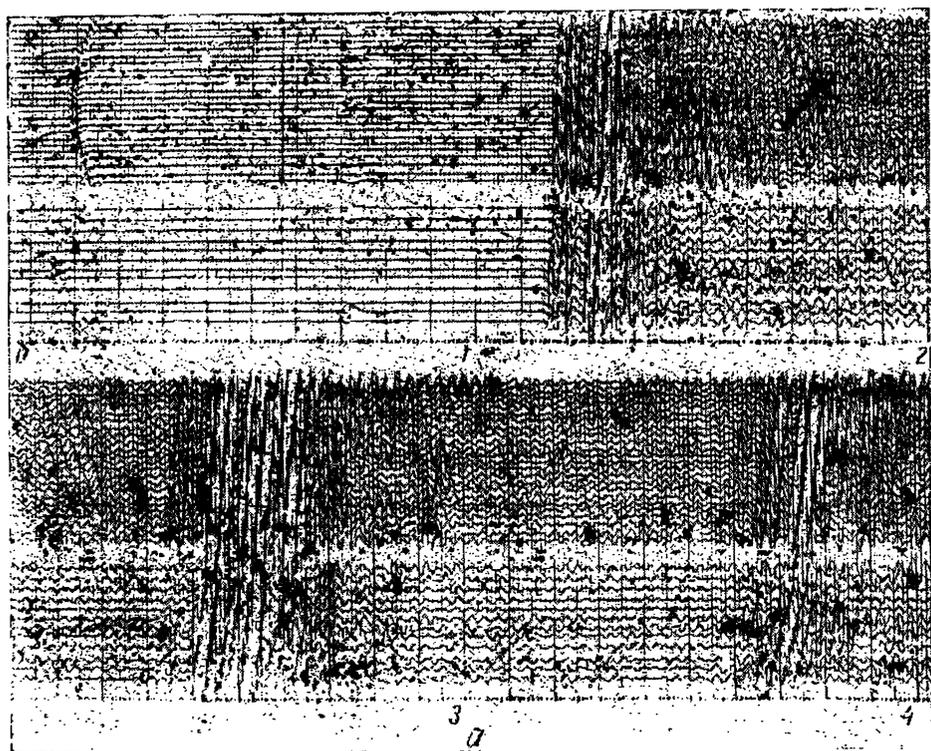


Рис. 4.

*a* — комплекс многократных отражений; две приемные линии расположены под прямым углом;  
*б* — пути лучей, полученные по данным времени прихода и разницы во времени прихода, измеренных по сейсмограмме *a*.

Первичная волна, проникая более глубоко, будет двигаться со скоростью, большей средней, в то время как многократно отраженная волна проникает на меньшие глубины, в среду, где она распространяется с низкой скоростью. Если и та и другая волны одновременно находятся вблизи точки взрыва, то многократно отраженные волны будут достигать сейсмоприемников все позже и позже простых отражений по мере удаления сейсмоприемников. Рисунок 5 иллюстрирует появление простых и многократных отражений. Разница во времени прихода многократного отражения намного больше, чем простого отражения. Очевидно, эта разница прихода будет значительно возрастать по мере увеличения длины приемной линии.

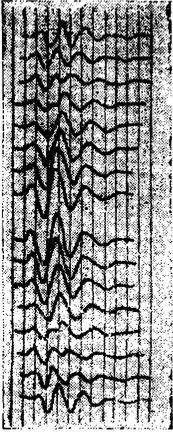


Рис. 5. Одновременное существование простого и многократного отражений.

Фактически показатели редко дают подобный контраст и почти никогда не выражаются в таком простом виде.

При сверхдлинных «профилях скорости» возможна количественная оценка для приема многократных волн на основе критерия скорости. «Профили скорости» в пять и более раз длиннее, чем обычная линия сейсмоприемников отраженных волн. Следовательно, малые различия во времени прихода, которые в сущности нельзя принять на коротких линиях, могут стать вполне заметными на «профилях скорости».

Если  $T^2$  (T — время движения волны до отражателя и обратно) для некоторого отражения нанести на график в зависимости от  $x^2$  ( $x$  — расстояние до точки взрыва), то наклон этой линии будет равен  $\frac{1}{v_a^2}$ , где  $v_a$  — средняя скорость. Если ско-

рость действительно увеличивается с глубиной и наклон отражения незначительный или совсем отсутствует, то более глубокие простые отражения показывают увеличение средних скоростей. Если наклона нет, то время отражения на нулевом расстоянии от точки полного отражения будет равным двойному

времени движения при простом отражении, но наклон кривой многократно отраженных волн (обратный кажущейся скорости) будет такой же, как и для простых отражений.

Если имеется наклон, то график зависимости  $T^2$  от  $x^2$  не будет прямой линией, но если тангенс угла наклона графика измеряется при  $x^2=0$ , то кажущаяся скорость  $v_{aR}$  первичного отражения, вычисленная по графику, отражает действительную скорость  $v_R$  по формуле

$$v_{aR} = \frac{v_R}{\sin \alpha} \quad (7)$$

Так же для  $n$ -го отражения

$$v_{an} = \frac{v_R}{\sin(n+1)\alpha} \quad (8)$$

Таким образом, зависимость между кажущимися скоростями при простых и многократных отражениях может быть найдена по известной формуле

$$v_{an} = \frac{v_{aR} \sin \alpha}{\sin(n+1)\alpha} \quad (9)$$

(Ольхович, 1963).

Обычно пласт простирается в двух направлениях, которые наклонены соответственно вверх и вниз по отношению к точке взрыва, и графики средних значений  $T^2$  для соответствующих горизонтальных расстояний будут иметь наклон вверх и вниз в зависимости от  $x^2$ .

Тогда действительная скорость при наклонных графиках  $x^2$ ,  $T^2$  для простых и многократных отражений может быть определена точно так же, как и при отсутствии наклона (Масгрейв, 1962). По данным для двух путей может быть определен наклон простых отражений и кажущийся наклон многократных отражений (Дикс, 1955).

Таким образом, полные многократные отражения часто могут быть отделены от действительных отражений путем построения графиков  $x^2$ ,  $T^2$ , как описано выше. Более сложные многослойные отражения не так легко расшифровываются на графиках  $x^2$ ,  $T^2$ , но иногда могут быть качественно различены на графике зависимости времени от глубины (Хансен, 1948).

Глубины вычислены на основании промежутка времени и средних кажущихся скоростей для каждого случая, нанесенного на график  $x^2$ ,  $T^2$ , без учета возможной многократности, а результаты нанесены на график зависимости времени движения луча в одну сторону от глубины. Масштабы для  $T$  и  $D$  (глубина) выбраны так, чтобы подчеркнуть изменения в наклоне. Если многократное отражение отсутствует, то точки на графике лягут вдоль линии время — глубина в пределах ошибок эксперимента. Если же имеется многократное отражение, то часть точек будет совпадать с графиком время — глубина, а часть будет отклоняться от него. Отклоняющийся отрезок представляет собой значения зависимости время — глубина, обусловленные многократным отражением. Наклон отклонившейся части графика пропорционален скорости в среде, в которой происходит второе (или более позднее) отражение.

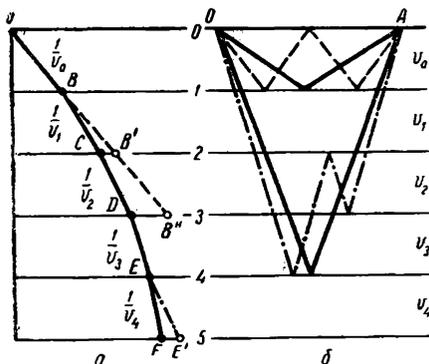


Рис. 6. а — зависимость времени от глубины, полученная из графиков  $x^2$ ,  $T^2$  для простых и многократных отражений; б — стратиграфический разрез и путь отраженного луча в зависимости от графика время — глубина на рис. 6, а.

Рисунок 6 является иллюстрацией зависимости время — глубина для гипотетического горизонтального разреза и возможных путей простых и многократных отражений. Волна, распространяющаяся от  $O$  до  $A$  (рис. 6, б), после отражения от слоя 1 движется со скоростью  $v_0$ ;

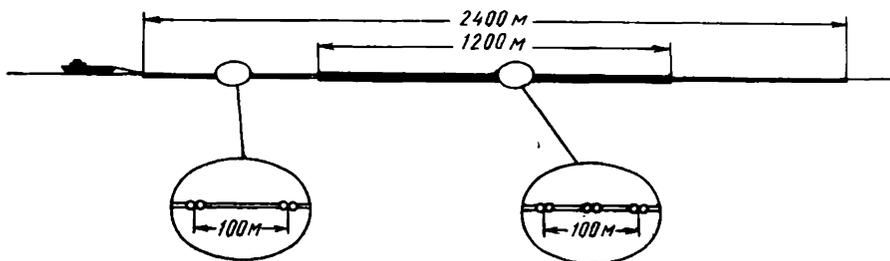


Рис. 7. Схематическое изображение двойного морского кабеля.

время, соответствующее глубине слоя 1, — точка  $B$  (рис. 6, а). Первое многократное отражение между слоями 0 и 1 (пунктирная линия) движется также со скоростью  $v_0$ , и соответствующее значение времени — глубины приходится на  $B'$  вдоль линии  $OB$  (рис. 6, а). Точно так же третье отражение (не показанное на рис. 6, б) попадает в точку  $B''$ . Простые отражения от слоев 2, 3, 4 и 5 обозначены на графике  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$ . Если теперь отражение от слоя 4 вновь будет отражаться между слоями 2 и 3, то на графике ему будет соответствовать точка  $E'$

(рис. 6, а). Отклоняющийся отрезок  $EE'$  имеет такой же наклон, как и  $CD$  ( $1/v_2$ ), потому что многократное отражение происходило между слоями 2 и 3. Очевидно, что здесь возможны и другие комбинации. При удовлетворительной интерпретации часто можно идентифицировать не только полные, но и послойные многократные отражения. Для таких анализов необходимы «профили скорости», а также специальная полевая аппаратура и новая методика проведения работ.

Метод приема и идентификации многократных отражений при морских исследованиях развился недавно. Полевые работы в основном состоят в одновременных сейсмических наблюдениях по длинной и короткой линиям сейсмоприемников. На рис. 7

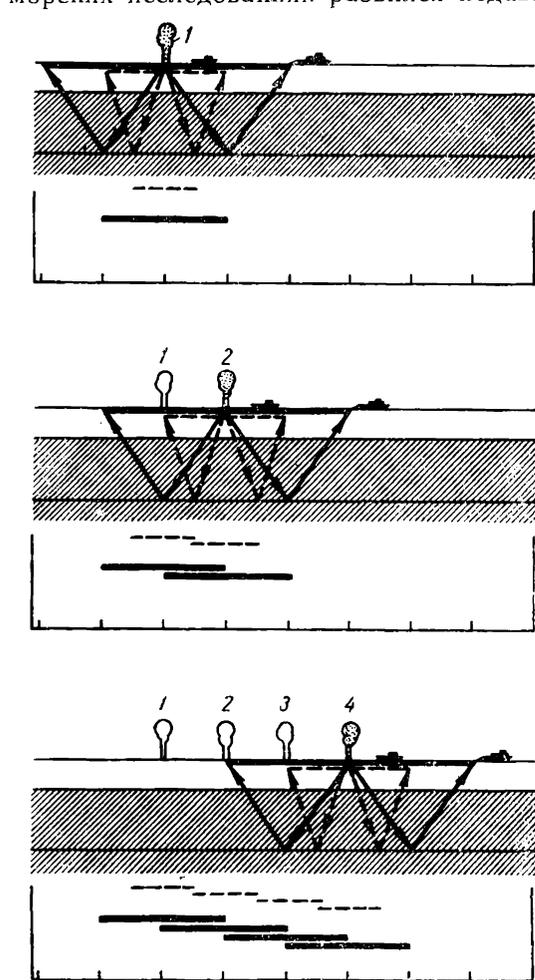


Рис. 8. Опыт использования двойного кабеля. Цифры над точками взрыва показывают номер успешного взрыва. Отрезки ниже поверхности дна изображают сегменты эффективного покрытия.

пользовании 12 групп сейсмоприемников, т. е. 12 групп на центральной части связаны с записывающими устройствами 1200-метрового и 2400-метрового кабелей.

На рис. 8 схематически показаны действие двойного кабеля, путь сейсмической энергии и зоны покрытия. На верхнем рисунке слой воды подстилается геологическими образованиями, изображенными затененной зоной. Равные отрезки приращения расстояния по 600 м показаны в нижней части каждого рисунка. Длина их составляет половину длины центрального кабеля. Двойной кабель показан на рисунке сплош-

показан типичный «двойной» кабель, предназначенный для этих операций. Сейсмоприемники расположены на равных расстояниях по всей 2400-метровой длине двойного кабеля. Предусмотрено 36 отдельных каналов. Совокупность сейсмоприемников, которые присоединены к одному каналу, называется группой. На двойном кабеле имеется 36 групп, каждая из них состоит из четырех сейсмоприемников. Центральная часть кабеля, показанная жирной линией, содержит 24 группы. Эти группы располагаются через 50-метровые интервалы. Внешние части кабеля, показанные более тонкой линией, содержат по шести групп на расстоянии 100 м каждая.

Фактически кабель как бы представляет собой два отдельных кабеля, каждый из которых состоит из 24 групп сейсмоприемников. Один из этих кабелей длиной 2400 м несет 24 группы, расположенные через 100 м. Другой, центральный кабель длиной 1200 м несет также 24 группы через 50 м. Кабель двойного назначения участвует в ис-

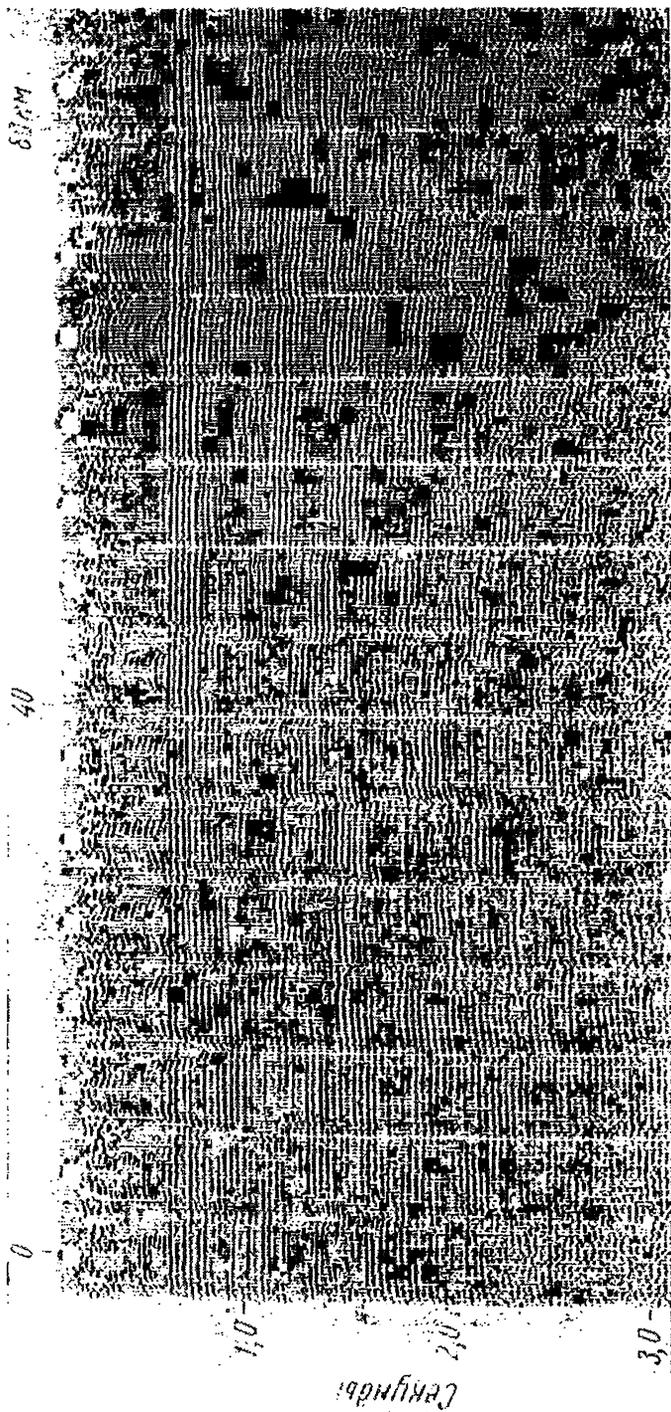


Рис. 9. Сплошной разрез, полученный с использованием короткого кабеля на типичной территории, богатой многократными отражениями. Поправка на разницу во времени прихода учтена лишь для простых отражений. Структура, полученная при времени отражения от 1 до 2 сек, сказывается неясной.

ной линией для 2400-метровой части и пунктирной — для 1200-метровой. Когда произведен первый взрыв в точке 1, как показано на рисунке, энергия идет вниз через воду в геологический разрез и отражается поверхностями раздела. Пути движения энергии показаны только от места взрыва до наиболее удаленных групп сейсмоприемников на каждом кабеле. Пути движения энергии к промежуточным группам для простоты опущены. Часть поверхности раздела, которая выявлена взрывом 1, схематически показана в нижней части каждого рисунка отрезком линии: пунктирный отрезок показывает перекрытие короткого кабеля, сплошной — длинного кабеля.

Когда энергия взрыва записана, судно продвигается вперед на 600 м, т. е. на половину длины короткого кабеля. Вторым взрывом производится в точке 2, как показано на среднем рисунке. Здесь повторен предыдущий рисунок, но сдвинутый на 600 м вправо. Видно, что пунктирные линии, представляющие перекрытие меньшего кабеля, продолжают друг друга, в то время как сплошные линии перекрытия более длинного кабеля перекрывают друг друга на половину своей длины.

На последнем рисунке показаны совокупные результаты четырех отдельных взрывов. Пунктирные линии перекрытия короткого кабеля расположены последовательно по линии изучения. Это свидетельствует о том, что при коротком кабеле получается 100%-ное перекрытие. Сплошные отрезки перекрывают друг друга так, что за исключением концов линии каждый участок исследуемого горизонта покрывается дважды. Этот тип сейсмических исследований называется 200%-ным покрытием.

При использовании 1200-метрового кабеля различия во времени обычно недостаточно велики, чтобы различить многократное отражение при времени отражения от 2 до 3 сек. Разница во времени на 2400-метровом кабеле в четыре раза больше, чем на 1200-метровом, таким образом получается достаточный контраст между простыми и многократными отражениями.

Когда сейсмограммы представлены в записанном виде после поправок на разницу во времени прихода волны, эффективность применения аппаратуры с двойным кабелем становится очевидной. На рис. 9 показана сейсмограмма, полученная на море при разносах 1200 м (100%-ное покрытие) на площади сильного многократного отражения. Многократное отражение выражено не очень ясно, и можно предположить, что все различимые отражения являются простыми.

На рис. 10 показан сплошной разрез на той же территории, но со 100%-ным покрытием, полученный с применением 2400-метрового кабеля. Для получения этого разреза при 100%-ном перекрытии результаты взрывов использовались через один. Несмотря на то, что поправка на разницу во времени прихода волны основана на той же скорости, что и на рис. 9, эта разница ясно видна для многих многократных отражений. В обоих случаях разница во времени прихода волн устранялась согласно ожидавшимся скоростям для естественного геологического разреза, т. е. вводилась лишь поправка на разницу во времени прихода простых отражений. Оставшаяся разность относилась за счет многократного отражения. Дугообразный характер почти всех различимых отражений приводит к выводу, что многократные отражения преобладают в разрезе и что применение 1200-метрового кабеля неэффективно.

Сложные реверберационные колебания не входят в предмет настоящего обсуждения. Достаточно сказать, что для приема более сложных форм реверберации используются автокорреляция и аппаратура для спектрального анализа колебаний.

Отраженные преломления обычно классифицируются как многократные явления при исследованиях методом преломленных волн. В

глубокой воде они обычно достаточно отделены по времени от первичных преломлений, но их фиксация представляет лишь академический интерес.

На рис. 11 показан один из случаев многократного преломления. Обычный преломленный луч движется вдоль сплошной линии от *A* к *B*. Часть энергии следует по пути отраженного луча *ACDE* (пунк-

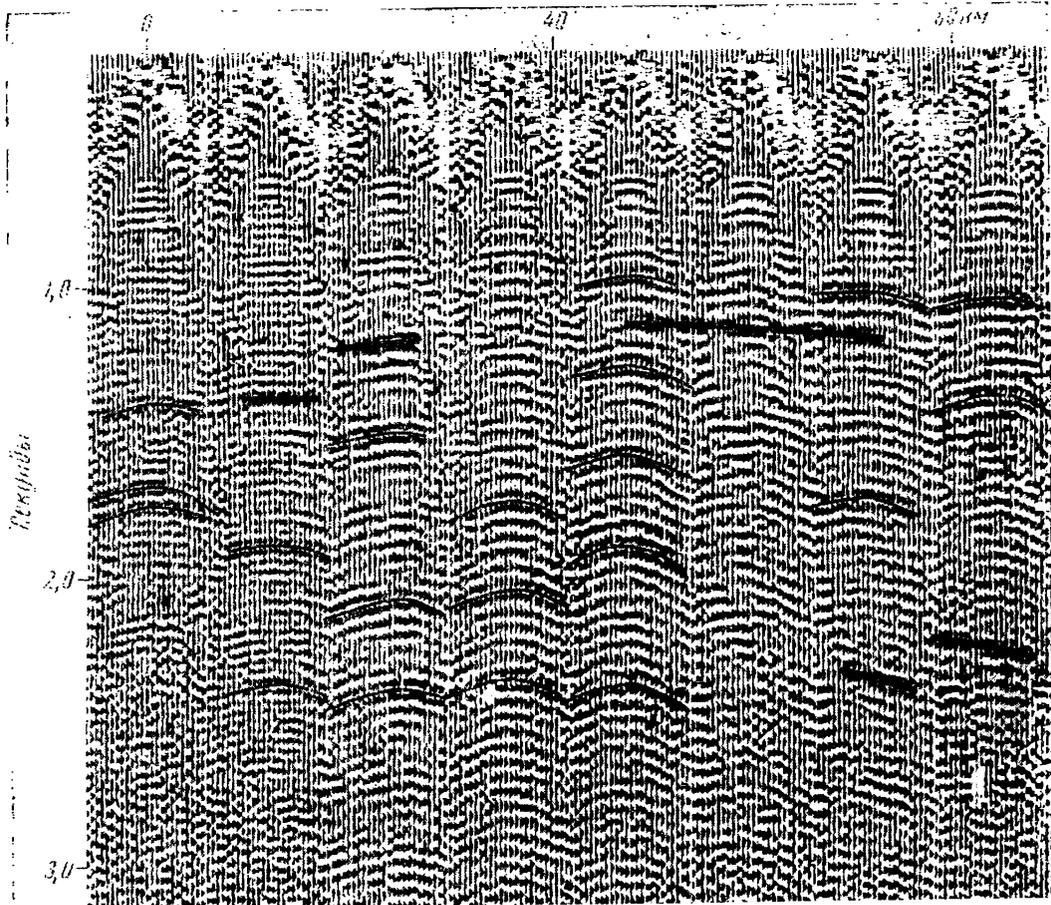


Рис. 10. Сплошной разрез при использовании длинного кабеля на той же территории, что и упомянутая на рис. 9.

Жирные линии показывают несколько идентифицируемых случаев, тонкие линии указывают на дугообразную форму некоторых многократных отражений.

тирная линия) и далее до точки *B* по пути преломленного луча. Многократно преломленный луч приходит через время

$$T_m = \frac{2z_0}{v_0 - \cos i_{0n}} - \frac{2z_0 \operatorname{tg} i_{0n}}{v_n} = \frac{2z_0}{v_0} \cos i_{0n} \quad (10)$$

после простого отражения.

Здесь  $z_0$  — глубина первого слоя;  $v_0$  — скорость распространения волны в первом слое;  $i_{0n} = \frac{\sin^{-1} v_0}{v_n}$  и  $v_n$  — скорость распространения волны в самом глубоком слое.

Уравнение (10) является обычной формулой преломления для времени запаздывания волны в слое  $z_0$ . Использование этой формулы допустимо лишь для ровного горизонтального разреза. Ясно, что вблизи точки взрыва или приемников может возникнуть процесс отраже-

ния и что многократно отраженные преломленные лучи обеих групп отражений могут ирридти одновременно. В таком случае второй преломленный луч предположительно может быть усилен до амплитуды большей, чем первичный преломленный.

На рис. 12 показана сейсмограмма, иллюстрирующая простое отражение и многократное преломление. Эта запись сделана на море при

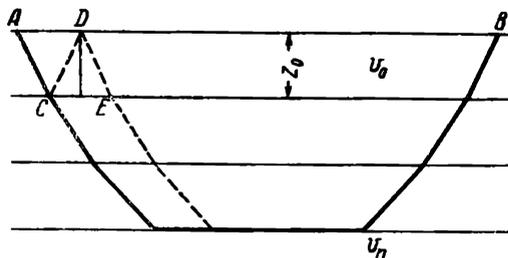


Рис. 11. Пути простого многократно отраженного преломленного луча.

глубине воды 4,4 км, расстояние между точкой взрыва и приемниками было 34 км. Первый сильный пик простого преломления волны появился через 11,090 сек. При средней глубине воды 4,4 км и угле наклона  $10^\circ$  многократно преломленная волна должна придти примерно на 5,845 сек позднее первичной, через 16,895 сек. Наблюдавшееся время прибытия, согласно возможной полярной инверсии, обусловленной отражением на поверхности воды, составляет около 16,900 сек. Предсказанные и наблюдавшиеся данные имеют исключительно хоро-

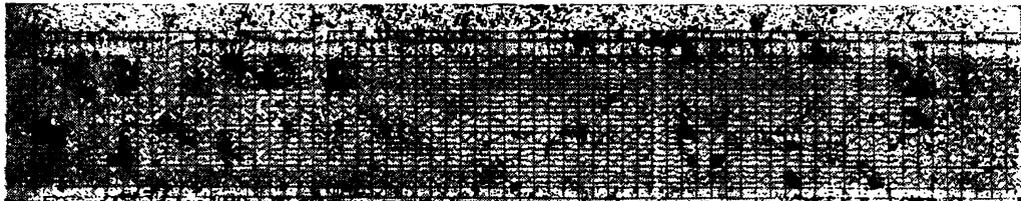


Рис. 12. Пример многократности в преломлении. Простые преломления появились примерно через 11—13 сек, многократные начинаются перед 17 сек.

шее совпадение, особенно при точности оценки глубины воды в точке погружения многократно преломленного луча.

### ПОПРАВКИ

Те характеристики многократных отражений, которые дают возможность отличить их от простых отражений, позволяют их ослабить или исключить.

Как показано на рис. 8, при длинном кабеле (2400 м) каждая точка пласта по исследуемому профилю опробуется дважды. В соответствии с этим получаются две различные записи. Однако на этих двух записях расстояния между точкой взрыва и приемником различны. Различные расстояния объясняются неодинаковой разницей прихода волны во времени. Если поправка на время сделана для устранения разницы во времени, ожидаемой для первичных отражений, то две записи будут совпадать для простых отражений, но различаться для многократных. Сложение двух записей будет, таким образом, усиливать простые отражения, приходящие в одной фазе, и будет стремиться подавить многократные отражения, имеющие сдвиг по фазе. Такое сложение двух записей для каждой точки исследуемого пласта называется составлением сейсмозаписи с 200%-ным перекрытием (CDP).

Практически производится число взрывов, достаточное для получения трехкратного (300%), четырехкратного (400%), шестикратного (600%) и даже двенадцатикратного (1200%) перекрытия при перемещении записывающего судна вдоль профиля. Большее перекрытие

обеспечивает более эффективное ослабление многократных отражений.

Там, где многократные отражения сильно мешают, 600%-ное перекрытие бывает обычно достаточным для их подавления. При 600%-ном перекрытии записываются шесть различных путей волн между точкой взрыва и сейсмоприемником для каждой отражающей точки пласта. В нашем случае все шесть записей суммируются. Поскольку простое

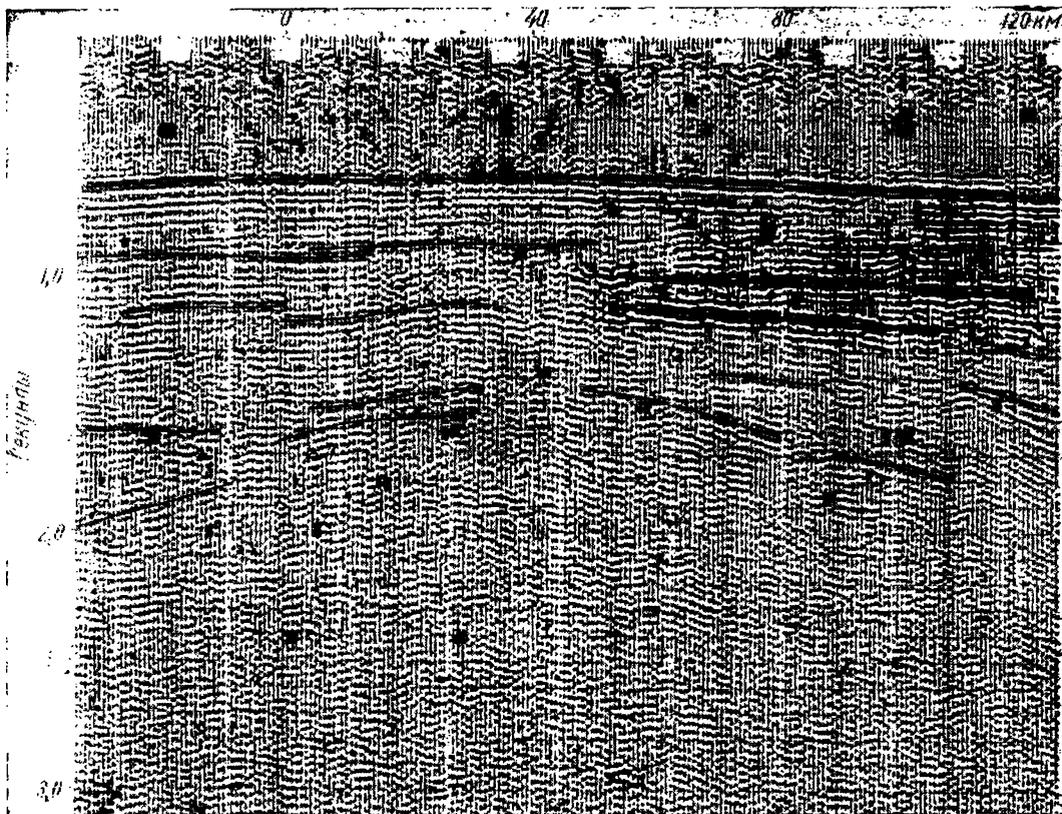


Рис. 13. Разрез при 300%-ном СДР по линии профиля, приведенного на рис. 9 и 10.

Многократные отражения в значительной мере подавлены перекрытием, так что подстилающая структура выявлена при помощи простых отражений. На всех трех разрезах использованы одни и те же координаты.

отражение соответственно скорректировано с точки зрения поправок на разницу во времени прихода волны и относится к одной и той же точке отражающего пласта, все шесть простых отражений будут по существу одинаковы. После сложения этих записей амплитуда сигнала простого отражения получается в шесть раз больше, чем на любой из записей. Небольшие колебания и отклонения будут иметь тенденцию усредниться в сумме. Но на шести различных сейсмограммах многократные отражения неполностью скорректированы в отношении разницы времени их прихода и потому для них имеет место разброс во времени. Вместе с тем многократные отражения происходят не от одних и тех же точек отражающего пласта. Прибавляясь к шести сигналам, все различия и разбросы во времени дают сумму, которая сравнительно мала. Зависящая от природы изменчивости сигнала и распределения времени прихода, суммарная сила многократных отражений составляет от  $1/6$  до  $1/\sqrt{6}$  силы суммарных простых отражений, конечно при условии, что длина кабеля выбрана достаточной, чтобы получить ощутимую разницу прихода во времени простых и многократ-

ных отражений для самой большой глубины, представляющей интерес. На больших глубинах метод CDP быстро становится неэффективным с точки зрения подавления многократных отражений.

Рис. 13 демонстрирует действенность метода перекрытия при помощи записи разреза, примерно совпадающего с разрезом, показанным на рис. 9 и 10. Это результат наложения сейсмозаписей при 300%-ном перекрытии. Большая часть многократных отражений подавлена и выявлена картина антиклинальной структуры.

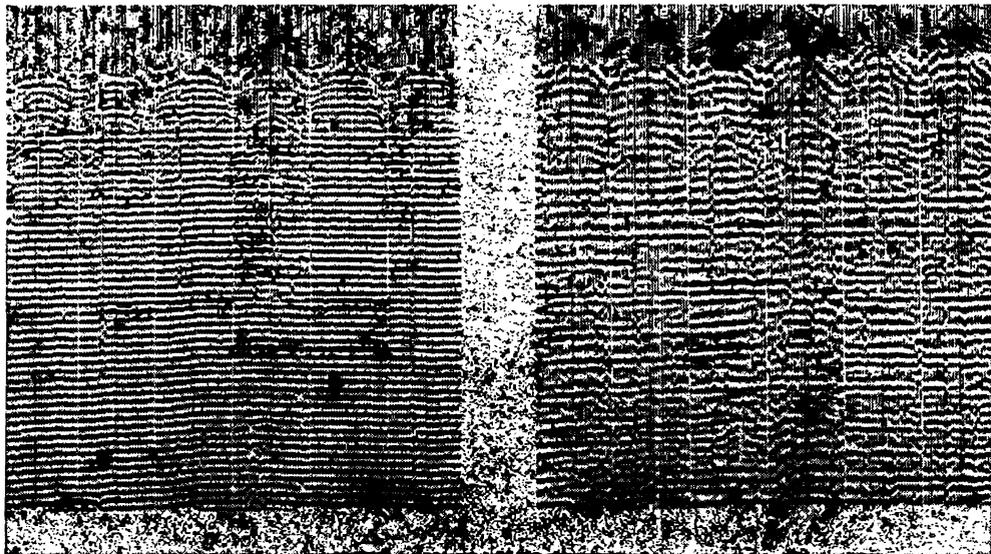


Рис. 14.

*а* — часть сейсмограммы с реверберационными колебаниями; *б* — та же часть после обработки ее при помощи соответствующих фильтров.

Для метода CDP пытались применить оптимальную фильтрующую аппаратуру. Фильтры, подобные использованным в «вееобразных фильтрах» Фейла и Грау (1963), теоретически могли увеличить подавление с заданным процентным соотношением. Неопределенность в поправках на разницу во времени мешала применению этой аппаратуры. Дополнительной эффективности, когда она нужна, проще достигнуть при помощи дополнительных приспособлений или путем увеличения перекрытия, чем дополнительной обработкой, которая требуется для перекрытия с оптимальными фильтрами.

Устранение реверберационных колебаний обычно лучше всего достигается опытным путем. Для определения резонансной частоты или частот записи анализируются от дорожки к дорожке. Установка фильтров позволяет устранить или ослабить мешающие частоты, и запись обрабатывают при помощи набора фильтров. Это оборудование в большинстве случаев является достаточно эффективным. На рис. 14 показан пример записи до и после обработки при использовании подобных фильтров.

Подобные результаты могут быть получены на отдельных записях с использованием вычислительных программ для выбора и применения подходящих фильтров.

## ВЫВОДЫ

Метод многократных отражений получил признание в сейсмических исследованиях. Он широко применяется в морских сейсмических

исследованиях, а также используется геофизиками для распознавания геологических разрезов дна моря, которые должны быть представлены нефтяной промышленности.

## МОРСКАЯ СЕЙМОРАЗВЕДКА

*Р. Женеслей, Д. Мишон<sup>1</sup>*

Полагая известными основные принципы сейсморазведки<sup>2</sup>, рассмотрим ее последовательные стадии (рис. 1):

- генерирование упругой силы посредством удара, взрыва, падения тяжести или при помощи вибрации массы, связанной с грунтом;
- распространение этой энергии в форме упругих волн, которые испытывают в недрах отражение или преломление по поверхностям

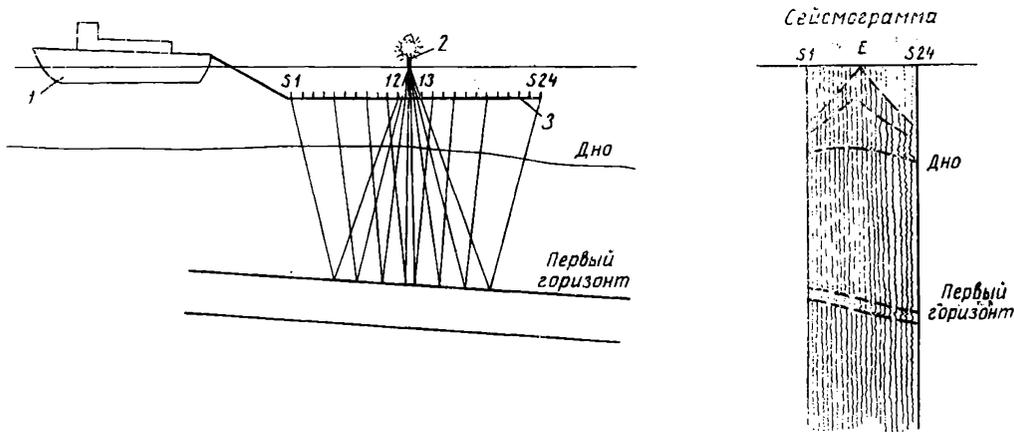


Рис. 1. Принципиальная схема морской сейсморазведки.

1 — корабль, неподвижный во время взрыва; 2 — динамитный заряд; 3 — гидрофоны.

изменения скорости сейсмических волн, связанные с упругими свойствами горных пород;

— обнаружение при помощи сейсмографов отраженных и преломленных волн, которые возвращаются из глубины на поверхность земли, и преобразование этих волн в изменяющиеся электрические напряжения;

- усиление и регистрация этих сейсмографических напряжений;
- обработка полученной таким образом информации;
- интерпретация.

Ниже будет вкратце рассмотрена проблема, возникающая при топографической ориентации, а затем описана работа морского оборудования.

<sup>1</sup> Инженеры Всеобщей компании геофизической разведки, Париж. № 4.

<sup>2</sup> Речь пойдет только о сейсмическом методе отраженных волн. Другой эффективный метод сейсморазведки — метод преломленных волн — применяется в море в меньшей степени.

## ГЕНЕРИРОВАНИЕ УПРУГОЙ СИЛЫ

Основным случаем, по крайней мере для морских исследований на больших глубинах<sup>1</sup>, является удар, вызываемый детонацией взрывчатого вещества.

На материке детонация осуществляется на дне более или менее глубокой буровой скважины (от нескольких метров до нескольких десятков метров); часто бывает целесообразнее применить взрыв одновременно нескольких зарядов в менее глубоких буровых скважинах, чем единичного заряда.

В море трудно осуществить множественные взрывы и поэтому ограничиваются единичным взрывом, погружая заряд на незначительную глубину (около 1,50 м). Такое расположение заряда обусловливается тем, что газы, являющиеся продуктами взрыва, вызывают образование пузыря в форме большой сферы, которая быстро увеличивается в объеме и сообщает окружающей воде центробежную кинетическую энергию (рис.

2. Пузырьковый эффект.  
1 — диаметр, соответствующий гидростатическому давлению; 2 — первая пульсация; 3 — вторая пульсация.

2). Вследствие инерции воды объем пузыря не соответствует значению гидростатического давления в большую сторону. Поэтому объем пузыря уменьшается при новом нарушении положения равновесия и

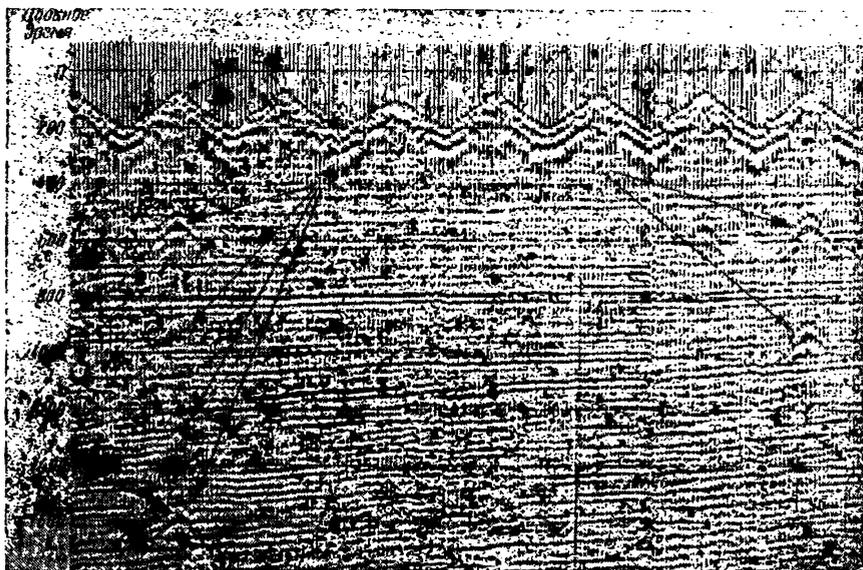


Рис. 3. Запись пузырькового эффекта.

т. д. Этот эффект, называемый «кавитационным эффектом» или «гидравлическим ударом», эквивалентен таким образом нескольким последовательным испусканиям энергии (рис. 3) с промежутками в несколько десятков миллисекунд, что создает помехи для регистрации. Для

<sup>1</sup> При разведочных работах на малых глубинах источником энергии может быть взрыв газовой смеси — «газовый взрыв» — или электрическая искра — «искровой взрыв». Это — промежуточные процессы между ультразвуковым зондированием классического типа и сейсморазведкой при помощи взрыва.

того чтобы избежать помех, взрыв производят на малой глубине: пузырь не образуется, а вместо него возникает эффектный сноп, поднятый взрывом. Разумеется при этом уменьшается забойка заряда, а также и производительность взрыва. Обычно приходится взрывать достаточно мощные заряды — весом около десятка килограммов.

Применяют два метода взрывных работ.

1. Сейсмические работы с двух кораблей, когда взрыв осуществляется специальным кораблем-детонатором (взрывником). Заряд в этом случае спускается на воду на конце двужильного электрического кабеля, прочно соединенного с концевой частью электрического детонатора. Другая, не натянутая часть кабеля, идущая к взрывной машине, поддерживается пластмассовым поплавком. Команда на взрыв подается в момент, когда расстояние между зарядом и кораблем станет достаточным.

2. При варианте сейсмических работ с одного корабля взрыв осуществляется с корабля, несущего регистрирующую аппаратуру. В этом случае заряды при помощи кольца, которое их связывает, скользят вдоль плавающего кабеля, вытравливаемого с сейсморазведочного корабля. Когда заряды дойдут до концевой части кабеля, их останавливает металлический крюк, соединенный через кабель с взрывной машиной.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН

Упругие волны распространяются в воде с очень слабым затуханием. Эта их особенность приводит к образованию в толще воды под влиянием последовательного отражения от поверхности и от дна системы волн, оказывающих тормозящее действие, потому что каждая волна, отраженная или преломленная, которая возвращается на поверхность, порождает множество повторных волн. Это явление еще более усиливается, если глубина воды такова, что продолжительность пробега волны в воде находится в простом соотношении с периодами этих отраженных или преломленных волн. В результате этого регистрирующая запись дает очень характерную синусоидальную кривую, называемую «фонограммой», которая должна быть исправлена. Этот вопрос будет рассмотрен дальше.

## ОБНАРУЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН. СЕЙСМОГРАФЫ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

На материке используется вертикальный инерционный сейсмограф. Электрическая интерпретация перемещений Земли, или, точнее, скорости этих перемещений, осуществляется путем смещения катушки в магнитном поле.

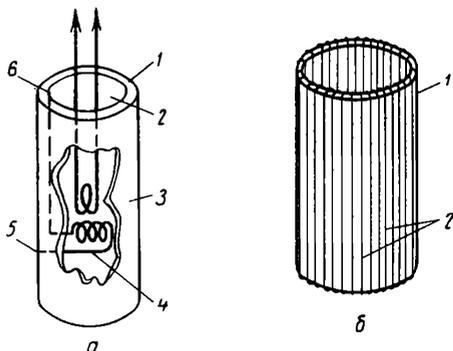
Для применения наземного сейсмографа в морских условиях вначале помещали его в герметичный предохранительный кожух, а для придания ему вертикального положения его подвешивали на карданном шарнире. Подобные аппараты, обычно в количестве двенадцати или восемнадцати, размещали вдоль кабеля длиной около 500 м, уложенном на дне. Это создавало затруднения для буксировки, не исключалась также опасность зацепления. Поэтому к 1950 г. начали постепенно появляться устройства на кабеле, плавающем по поверхности или погруженном в толщу воды, с детекторами, которые, не работая как инерционные, были чувствительны к изменениям давления, вызываемым сейсмическими волнами.

Применяются три принципиальные схемы таких устройств (рис. 4):

1. Пьезоэлектрические сейсмографы (рис. 4, а) состоят из пьезоэлектрического корпуса — кварцевого или из керамики титаната ба-

рия, заключенного в изолирующую эластичную оболочку. В пьезоэлектрическом корпусе развиваются электрические напряжения, пропорциональные давлению, которое на него действуют. Такой аппарат является простым и прочным, но требует или усиления на месте, а это сложно, или значительной изоляции, только еще создаваемой в варианте керамики.

2. Магнитострикционный сейсмограф (рис. 4, б). Известно, что стержень из никеля или никелевого сплава, пересекаемый магнитным потоком, является центром изменений индуктивности, пропорциональных действующим на него растягивающим или сжимающим усилиям.



Детектор такого типа состоит из магнитного кольцевого цилиндра; изменения потока преобразуются в электрические сигналы при помощи тороидальной обмотки, навитой на цилиндр.

3. Сейсмографы, действие которых основано на деформации диафрагмы. Эта диафрагма или связана с катушкой, перемещающейся в магнитном поле, — прибор очень близок к инерционному сейсмографу классического типа (рис. 4, в), или включена в магнитный контур, магнитное сопротивление которого изменяется с изменением кольцевых зазоров (рис. 4, г).

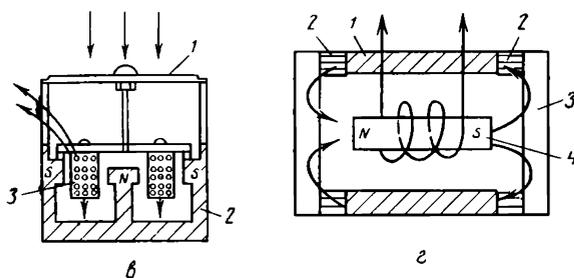


Рис. 4. Принципы устройства морских сейсмографов.  
 а — пьезоэлектрический сейсмограф: 1 — керамический цилиндр; 2 — внутренняя металлизация; 3 — наружная металлизация; 4 — трансформатор; 5 — наружное соединение цепи; б — магнитострикционный сейсмограф: 1 — цилиндр из кобальтовой стали; 2 — тороидальная обмотка; в — сейсмограф с подвижной катушкой: 1 — диафрагма; 2 — магнит; 3 — катушка; г — сейсмограф с меняющимся магнитным сопротивлением: 1 — цилиндр из мягкого железа; 2 — эластичные стыки; 3 — диафрагма; 4 — магнит.

Давление в воде изменяется пропорционально изменению скорости частиц воды, приводимых в движение сейсмическими волнами. Поэтому описанные детекторы являются скорее акселерометрами, чем измерителями кинетической энергии. Для измерения кинетической энергии обычно размещают низкочастотный фильтр перед входом усилительного устройства прибора.

Сейсмографы обычно соединяют с кабелем практически линейно, тогда как на земле сейсмографы часто размещают по поверхности.

Кабель может быть расположен следующим образом (рис. 5):

— подвешенным — сейсмографы связаны с кабелем, который подвешен на поплавках и удерживается погруженным на некоторую глубину;

— полуплавающим — сейсмографы также связаны с кабелем, который плавает на поверхности, когда он натянут кораблем, и частично погружается в воду, когда снимается натяжение; погружение в воду ускоряется резиновыми амортизаторами;

— плавающим — сейсмографы подвешиваются на кабеле, плаву-

честь которого создается пористой пластиковой оболочкой с малым удельным весом;

— погруженным на постоянную глубину — кабель, называемый в этом случае стримером, образован цилиндрической пластиковой оболочкой, внутри которой размещаются сейсмографы, соединительный электрический кабель и натягивающий трос, и заполнен легким углеводородом (бензином) такого сорта, чтобы все сооружение в целом

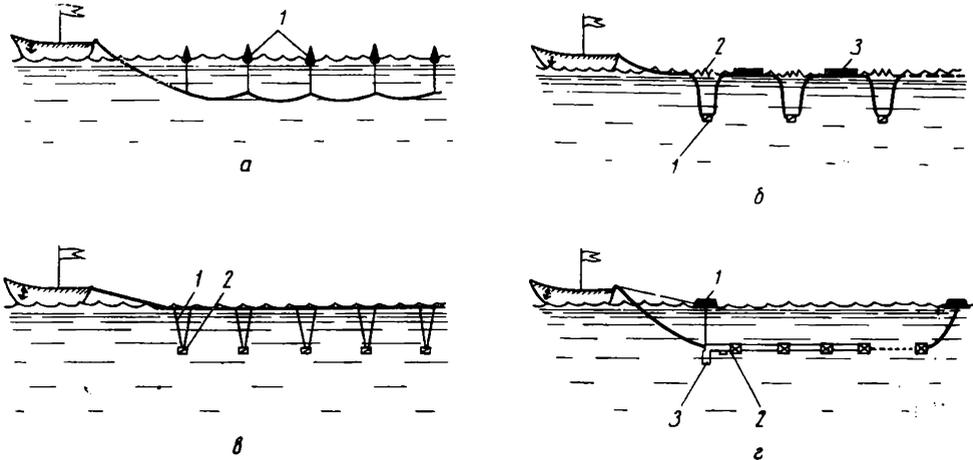


Рис. 5. Кабели для сейсмических исследований.

*а* — подвешенный: 1 — поплавки; *б* — полуплавающий: 1 — сейсмограф; 2 — амортизатор; 3 — поплавок; *в* — плавающий: 1 — подвески; 2 — сейсмограф; 2 — погруженный на постоянную глубину; 1 — поплавки; 2 — сейсмограф; 3 — грузы.

имело нулевую плавучесть. Стабилизация глубины погружения достигается при помощи закрепления спереди груза, подвешенного на буй, на который действует натяжение, обеспечиваемое кораблем, а сзади — подвеской конца кабеля на буй.

Стример теоретически является наиболее удовлетворяющим устройством. Он легко буксируется, относительно менее чувствителен к морскому волнению и его погружение практически постоянно, но производство его довольно сложное. Поэтому наибольшее применение имеет кабель полуплавающего типа.

Сейсмографы устанавливают на глубине от 3 до 5 м.

### УСИЛЕНИЕ И ЗАПИСЬ СЕЙСМОГРАФИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Этот вопрос решается аналогично в морских и наземных условиях. Выше отмечалась целесообразность применения фильтров для уменьшения влияния высоких частот.

Работы в море проводятся в быстром темпе, поэтому необходимо, чтобы самопишущее оборудование было приспособлено к подобной скорости. Этому требованию удовлетворяет применяемая в настоящее время магнитная запись.

### ОБРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Благодаря применению магнитной записи в сейсмической разведке информация, полученная при помощи сейсмографов, может быть при желании воспроизведена. Таким образом, становится возможным исправлять эту информацию с учетом локальных аномалий и геометрии прибора, чтобы, насколько возможно, исключить искажающие помехи и получить наиболее точные геологические сведения.

Полученная информация обрабатывается на поверхности с использованием аппаратуры для наземной сейсморазведки. Существенной особенностью обработки информации в морской сейсмике является необходимость устранения «фонограммы». При плоской волне устранить фонограмму можно простым наложением на сейсмограмму,

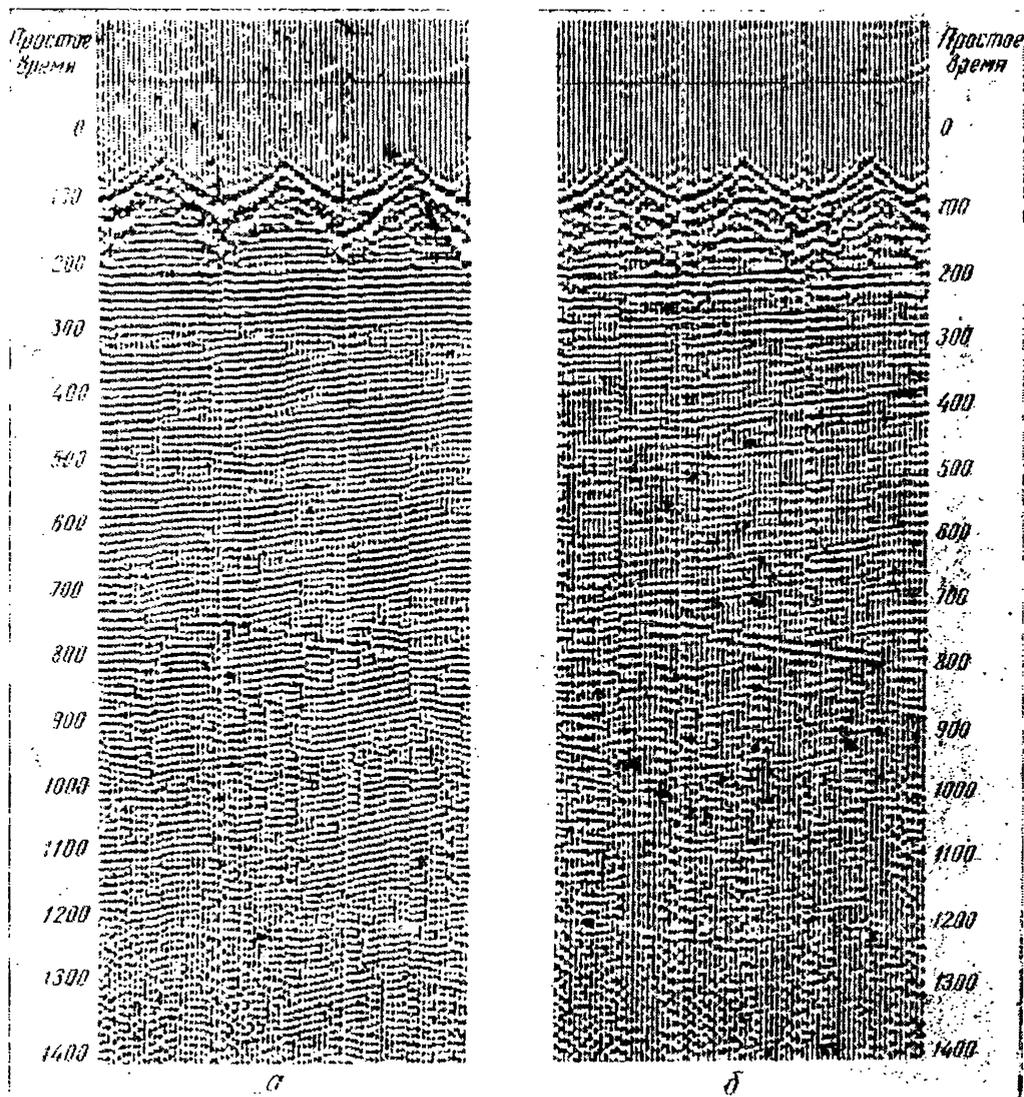


Рис. 6.  
а — оригинальная пленка; б — пленка с исправленной фонограммой.

записанную сейсмографом, такого же маршрута, запаздывающего на  $2h/v \div 4h/v$  (где  $h$  — высота слоя воды,  $v$  — скорость распространения волны в воде) (рис. 6). Каждый сдвинутый маршрут зависит от свойств дна. Эта зависимость выражается определенным коэффициентом.

Чтобы сдвинуть маршруты, удобно применять электронные линии задержки, которые благодаря использованию полупроводников эквивалентны самоемкостным фильтрам, но более экономичны и менее громоздки, чем фильтры.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Интерпретация записи морских сейсмических приборов не требует специальных пояснений. На рис. 7 показано, в каком виде представляются результаты сейсморазведки: последовательное наложение друг

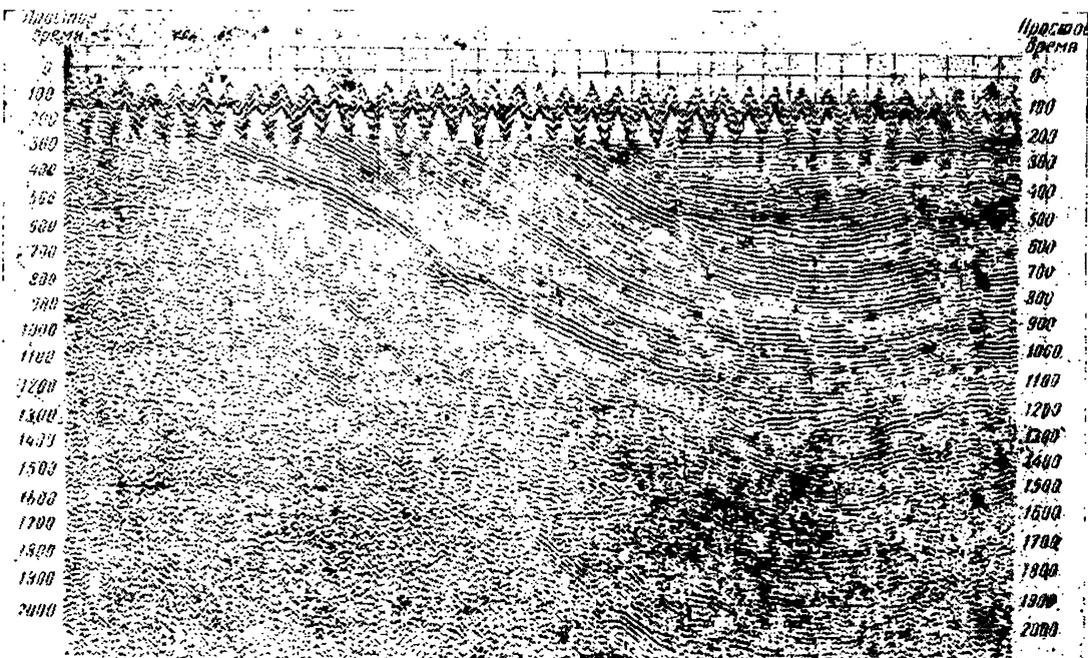


Рис. 7. Геологический разрез, полученный методом морской сейсмической разведки.

на друга скоррегированных записей дает картину отражающих горизонтов и, следовательно, геологических формаций, которые им соответствуют. В дальнейшем геолог должен согласовывать эти результаты с другой информацией, которой он располагает, чтобы наилучшим образом определить положение эксплуатационных скважин.

### ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА К МЕСТНОСТИ

На земле топография сейсмических приборов осуществляется классическими методами. В морских условиях это происходит иначе. В начале развития морской сейсморазведки, когда работы велись в непосредственной близости от берега и низкими темпами, можно было удовлетвориться или визированием реперов на земле, начиная с корабля, или засекать местоположение корабля посредством теодолитов, расположенных на материке. Позже происходит довольно быстрый переход к применению методов радиозлектрической локации.

Эти методы можно разделить на две большие категории:

импульсные системы — радар классического типа и радиолокационные отвечающие маяки (Шоран);

системы с незатухающими волнами с измерением фаз в высоких частотах (Декка) и с измерением фаз в низких частотах (Рана, Лоран, Рейди, Торан).

Практически используют главным образом системы с незатухающими волнами. При этой системе положение корабля определяется на карте, на которую нанесены гиперболические сетки, фокусами которых служат радиотехнические излучатели: два первых излучателя опреде-

ляют сетку, на которой отсчет по фазометру дает первое геометрическое местоположение корабля; два других излучателя определяют второе место, откуда прямой засечкой определяется искомое положение.

На рис. 8 приведен пример карты с гиперболическими сетками по Торану. В этой системе фокусные излучатели могут находиться на

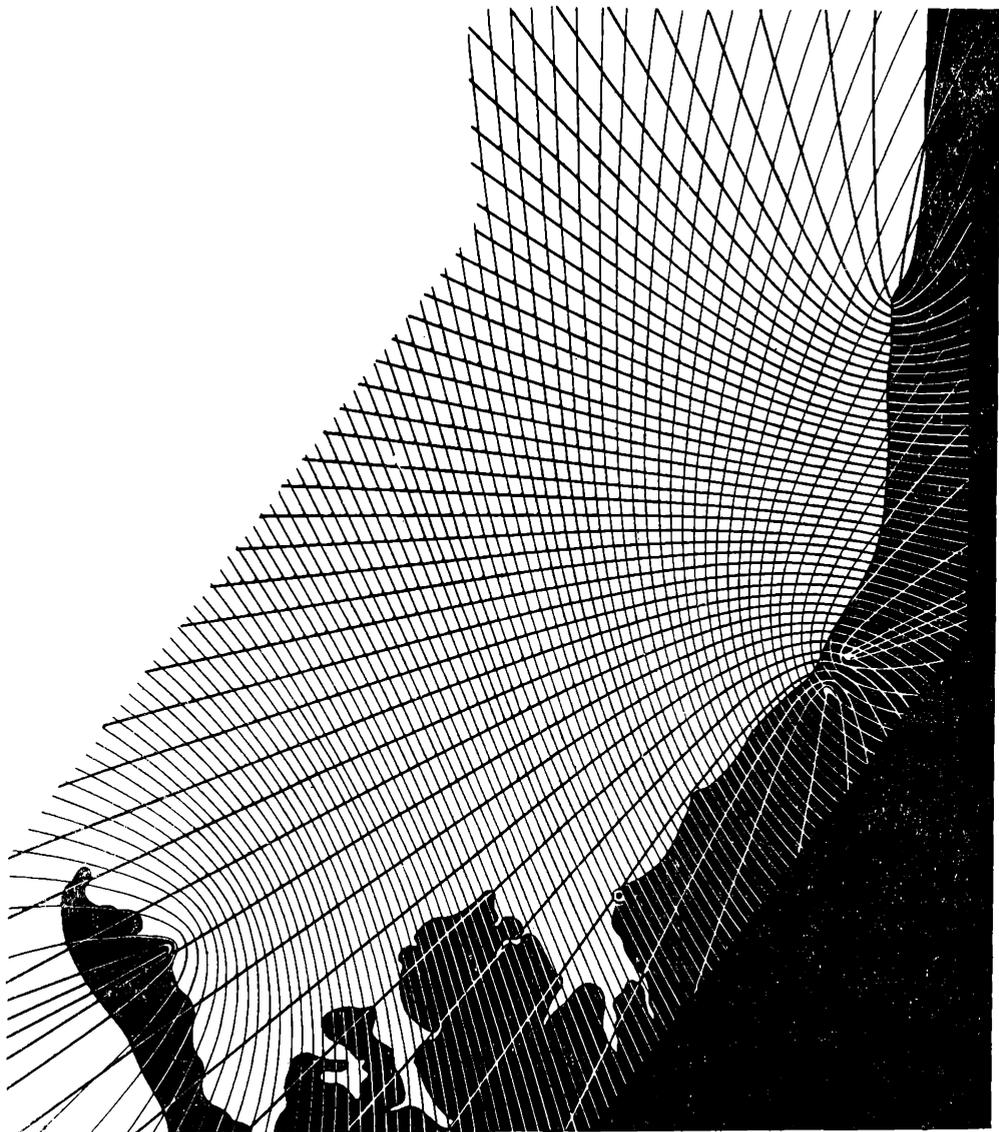


Рис. 8. Две пары сетей гипербол Торана.

расстоянии нескольких десятков километров, дальность действия такова, что можно удалиться от излучателей на несколько сотен километров, а точность в несколько метров на коротких расстояниях от излучателей достигает почти десятки метров на больших расстояниях.

#### РАБОТЫ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

Как же работает морская сейсмическая партия?

Прежде всего несколько слов о кораблях, типы которых довольно разнообразны: траулеры, парусно-моторные яхты, быстроходные ка-

тера. Грузоподъемность их от сотни тонн до более тысячи тонн при сейсморазведке с одного корабля, мощность — от 500 до 1500 л. с.

Они имеют высокую маневренность. Часто применяются реверс-редукторы, телеуправляемые с навигационного мостика. В связи с частыми остановками и запусками двигателя на них имеется значительный запас сжатого воздуха.

На катерах имеются каюты для экипажа и геофизиков (около десяти человек при работе в одну смену, около двадцати — при двух сменах). Специальное место отведено для радиолокационной аппаратуры, а рядом с навигационным мостиком расположен отсек для записывающего сейсмического оборудования. Ют достаточно просторен для размещения лебедки с барабаном большого диаметра, на который наматывается сейсмический кабель.

При работе с двумя кораблями второй из них имеет меньший размер и является кораблем-взрывником, который перевозит взрывчатое вещество и обеспечивает спуск на воду и взрывание зарядов по командам, передаваемым по радио с корабля-лаборатории. Чтобы исключить влияние радиоэлектрических излучений, манипуляции со взрывчатыми веществами производят на палубе, внутри кожуха Фарадея.

Представим себе начало рабочего дня. Радиолокационная аппаратура приведена в действие. Корабли покидают место ночной якорной стоянки и первой их операций обычно является перемещение в место непосредственной близости к намеченному пункту (например, к баке-ну), координаты которого в используемой радиолокационной системе уже известны. Корабль отмечает таким образом свое положение на карте и в дальнейшем знает свое положение в каждый момент. Затем корабль отправляется по профилю — прямолинейному пути, по которому он распределяет заряды, разворачивает сейсмический кабель и подходит к первому пункту взрыва. По прибытии в эту позицию корабль стопорит винт, часто даже дает задний ход, чтобы вызвать быструю остановку и нарушить натяжение кабеля с целью наиболее быстрого погружения сейсмографов. В это время корабль-взрывник, идя по инерции с застопоренным винтом, спускает на воду заряды по прямой от центра сейсмографического устройства и устанавливает контакты, необходимые для взрывания, вызываемого по радио с корабля-лаборатории, который тут же начинает сейсмографическую запись.

После взрыва корабль направляется к следующей точке, и операции повторяются.

Очень большое значение имеет регулярность в разворачивании этих операций. В морских условиях работать трудно, и малейшие случайности часто влекут серьезные последствия и всегда отражаются на точности операций. Морская сеймика — это по существу циклический график взрывов, следующих каждые две или три минуты.

При одном корабле (рис. 9) заряды, как мы уже видели, спускаются на воду с корабля-лаборатории, который в отличие от предыдущего случая не останавливается в момент взрывания. Чтобы обеспечить в этот момент приблизительную неподвижность сейсмического кабеля, снимают его натяжение. Сразу же после взрывания возобновляют натяжение и выбирают ту часть кабеля, которая успела смотаться. Излишне добавлять, что соблюдение регулярности операций в

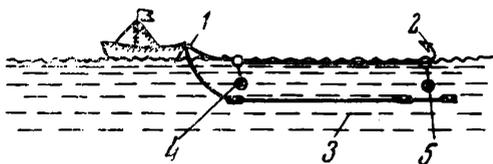


Рис. 9. Схема выполнения сейсмических операций с одного корабля.

1 — плавучий взрывной крюк; 2 — концевой крюк; 3 — кабель; 4 — заряд, скользящий вдоль взрывного кабеля; 5 — заряд, готовый к взрыванию.

этом случае еще более необходимо, чем при сейсмических работах с двух кораблей.

Морская сейсморазведка является таким образом скоростным методом. Приводимые ниже несколько цифр для сравнения с наземной сейсмикой подтверждают это определение. Допустим, на суше сейсмический отряд разведует в месяц от 50 до 120 км профилей, эти значения могут снизиться до 20 км или повыситься до 300 км в зависимости от местных условий. В море порядок величин резко меняется — здесь проходят в месяц от 500 до 2000 км. Хотя капиталовложения, необходимые для сейсмических работ в морских условиях, приблизительно в два раза превосходят капиталовложения в наземные работы, неудивительно, что стоимость километра морского профиля составляет около одной пятой соответствующей стоимости на материке.

Следовательно, морская сейсморазведка является относительно дешевым геофизическим методом, и если вспомнить, что разведочное и эксплуатационное бурение на континентальном шельфе обходится почти в шесть раз дороже, чем на земле, можно заключить о значительной выгоде сейсмической подготовки для любых подводных нефтяных разведываемых месторождений.

---

## **АЭРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РАЗВЕДКИ НА НЕФТЬ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ**

(Улучшения, достигнутые с помощью магнитометра с оптической «накачкой» — автоколебаниями)

*Р. Жире*<sup>1</sup>

Аэромагнитный метод позволяет осуществлять быструю, систематическую и наиболее экономичную съемку морской зоны. В настоящей статье приводятся несколько указаний относительно условий его применения и показаны результаты, которые можно от него ожидать.

### **УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОМАГНИТНОГО МЕТОДА**

Этот метод применяется для разведки по изолированным профилям или по группе профилей, а также для детальных исследований.

Выбор плана полетов зависит главным образом от бюджета, отпущенного на исследования, и систем навигации и интерпретации измерений, которые играют значительную роль в определении этого бюджета.

Если отсутствует радиолокационное оборудование и затраты на его приобретение нежелательны, полет следует выполнять на самолете, оборудованном «Допплером» — системой, которая не требует никакой наземной базы. Но эта аппаратура недостаточно точна, особенно при работе над морем, и точность интерпретации измерений уменьшается с удалением от берега. Погрешность составляет 1—3% от пройденного (маршрутного) расстояния в зависимости от условий, сведений о морских течениях и т. д. (рис. 1). Поэтому на расстоянии нескольких десятков километров от берега по существу можно выполнять съемку только отдельными профилями, но не производить магнитное картирование. Карты изогамм, которые будут получены на основе этих профилей, могут иметь только справочное значение.

<sup>1</sup> Всеобщая компания геофизической разведки. Париж. № 106.

Для получения точных результатов аэромагнитной съемки следует применять радионавигационную систему (Торан, Шоран, Декка и др.) или устанавливать ее, если она отсутствует. Если эта система используется только для воздушных исследований, общая стоимость исследований значительно повышается.

Так как роль геофизики в исследовании морских скважин очень значительна, для уменьшения стоимости и увеличения эффективности разведочного бурения желательно:

1) совмещать геофизические операции, выполняя различные измерения одновременно при помощи единой радиолокационной системы и при этом всегда следует объединять аэромагнитный метод и морские сейсмические методы; 2) производить детальную аэромагнитную съемку во всех зонах, которые могут представлять интерес; если поверхность незначительная, выгоднее ее снимать полностью, чтобы не пришлось возвращаться к ней впоследствии; если она очень

велика, можно выполнять операции в несколько стадий, оконтуривая прежде всего бассейны группами разведочных профилей, которые интерпретируются на месте, а потом детально исследуя зоны, представляющие наибольший интерес.

Трудно ограничить аэромагнитную разведку поверхностью разрешенного размера, если он мал. Тогда следует охватить обследованием и ее окрестности. В любом случае охват в десяток километров полезен, так как сведения о всех краевых аномалиях могут пригодиться.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОМАГНИТНОЙ РАЗВЕДКИ

Достоверность результатов зависит от применяемого инструмента и интерпретации.

Методы интерпретации могут быть следующие.

1. Прямая интерпретация по профилям (рис. 2). Этот метод, созданный около десятка лет назад, является приближенным, основанным на некоторых эмпирических правилах таких, например, как правило половинного градиента. Он широко применяется в аэромагнитной разведке, так как позволяет интерпретатору при измерениях работать непосредственно с непрерывным профилем и принимать во внимание наиболее тонкие его измерения. Таким образом, исключаются многочисленные искажения, которые могут возникнуть при последующей обработке материала.

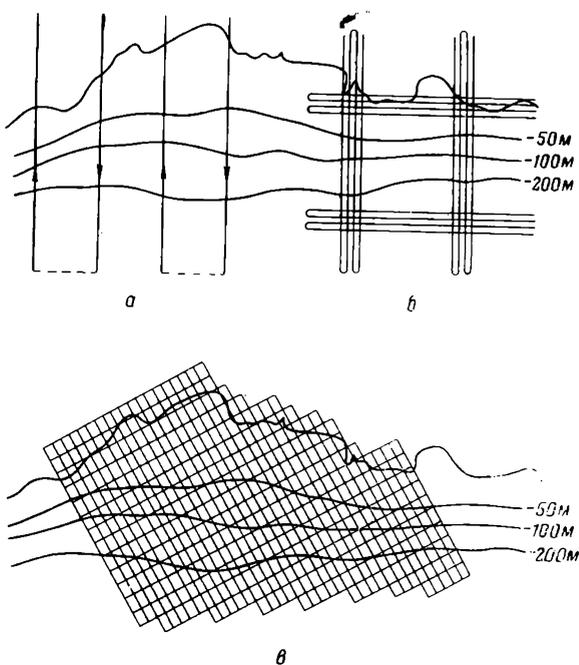


Рис. 1.

*a* — разведка изолированными профилями; навигация с аппаратурой Допплера; точность интерпретации 30%; *б* — разведка группой профилей; навигация по Торану, Шорану и т. д.; точность интерпретации глубин около 10–20%; *в* — детальное исследование; навигация по Торану, Шорану и т. д.; точность интерпретации глубин свыше 10% плюс информация о структурах по картам пзограмм.

Используемая методика была доложена на 6-м Мировом нефтяном конгрессе во Франкфурте. Она состоит главным образом в сравнении определенного числа признаков с соответственными индексами, полученными на теоретических кривых и перенесенными на логарифмические или двойные логарифмические палетки. Но результаты будут зависеть от амплитуды аномалии и чувствительности измерительной аппаратуры. Помимо этого, необходимо корригировать влияние наклона профиля к встречаемой структуре. При работе с изолированным профилем этого сделать невозможно, тогда ограничиваются определением глубины источника аномалии с погрешностью около 30%.

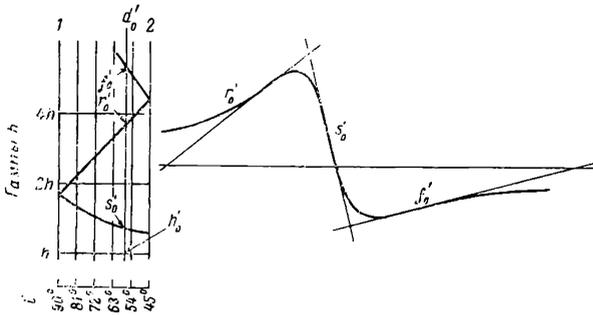


Рис. 2. Интерпретация по профилям.

$i'$  — кажущееся склонение (проекция на плоскость сечения справа от делений, направление плоскости намагничивания и нормального поля предполагаются совмещенными).

Если располагают несколькими параллельными профилями, относительное положение которых точно известно, можно определить восприимчивость, протяженность и глубину различных источников

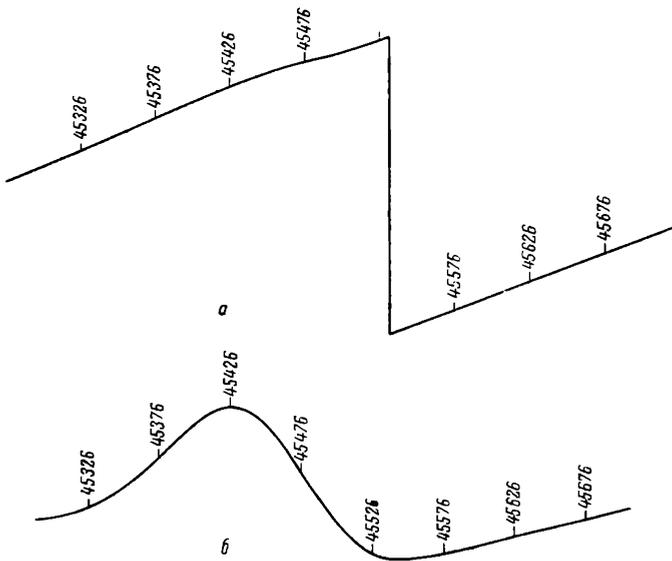


Рис. 3.

*a* — аналоговая первоначальная кривая; *б* — кривая, полученная путем воспроизведения дискретной записи при помощи счетчика-компаратора (калькомпа).

аномалий, причем глубину с погрешностью от 10 до 20% в зависимости от амплитуды аномалий.

2. Интерпретация по картам (рис. 3). Магнитные карты с кривыми изогамм позволяют определять крупные структурные линии с учетом градиентов смещения осей максимума и минимума и т. д.

Дополнительные методы, использующие карты вторых производных и карты приведения полюса, улучшают результаты интерпретации. Приведение полюса имеет то преимущество, что привязывает аномалии по вертикали к их источникам и облегчает этим интерпретацию,

устраняя влияние отклонения магнитного поля. Интерпретацию только по одним картам применяют редко, а сочетание двух методов — профилей и карт — позволяет получать карты изобат магнитных горизонтов с погрешностью менее 10%.

Хотя изобаты этих горизонтов можно определить точно, но характер и возраст этих горизонтов, а иногда связь между ними установить трудно. Большая часть ошибок интерпретации происходит из-за этих затруднений. В особенности слабые аномалии могут быть интерпретированы или как слабые волнистости поверхности магнитного подстилающего пласта, на которых отлагались осадки, или как промежуточные горизонты осадочных пород с незначительной магнитностью.

Сочетание сейсмических и аэромагнитных методов позволяет устранить эту неопределенность и улучшить качество интерпретации магнитных методов, тогда как эта интерпретация облегчает интерполяцию между сейсмическими профилями и часто дополняет глубинную разведку.

### НОВЫЙ МАГНИТОМЕТР С ОПТИЧЕСКОЙ «НАКАЧКОЙ»

Магнитометр, в котором используются цезиевые пары, применялся для научных работ и в нефтеразведке с апреля 1964 г. Исследователи Всеобщей компании геофизической разведки налетали с ним в 1964 г. около 100 000 км. Мы не будем описывать принцип оптической «накачки» цезиевых паров (конгресс Европейской ассоциации геофизических исследователей Е. А. Е. Г. в Страсбурге, июнь 1963 г.), остановимся лишь на том, что составляет оригинальность этого метода и какое это имеет значение.

Основной оригинальной характеристикой этого магнитометра является чувствительность. Шум фона аппарата ниже  $1/100$  гаммы (1 гамма =  $-10^{-5}$  эрстед), и общая чувствительность его в настоящее время ограничивается счетным устройством, так что фактическое значение всего поля равняется значению поля, измеренного до  $+0,03$ ,  $-0,01$  гаммы.

Подобная чувствительность может быть сохранена во всем диапазоне замеров (от 22.000 до 75.000 гамм) только благодаря дискретности. Этот аппарат выдает в качестве базовой документации дискретную запись на магнитной ленте по коду I. В. М.<sup>1</sup> с производительностью один замер в секунду. Кроме того, аналогичная запись, сходная с обычной регистрацией, но более чувствительная, обеспечивает получение с самолета профиля с чувствительностью в 0,5 гаммы на миллиметр. Эта запись позволяет контролировать работу аппаратуры и вести предварительную интерпретацию.

Чтобы использовать подобную чувствительность, необходимо:

а) исключать временные изменения магнитного поля, для того чтобы сохранить только пространственные изменения; действительно, амплитуды временных изменений могут достигать нескольких гамм за несколько минут; изменения магнитного поля регистрируются в определенной точке на земле и их значения вычитаются ежесекундно из замеров, сделанных с самолета;

б) ограничивать изменения высоты во время полета или их компенсировать; действительно, изменение высоты в 30 м может повлечь за собой изменение магнитного поля более чем на одну гамму. Полет, следовательно, проводится с допусками по высоте  $\pm 20$  м, и изменения высоты регистрируются с точностью в 1 м. Для такого полета должен применяться тяжелый и устойчивый самолет, оборудованный статоско-

<sup>1</sup> I. В. М. — Интернэшнл бизнесс мэшинс корпорейшн (International business machines corporation) — американская корпорация по производству счетных машин. — Прим. пер.

пом или компенсатором высоты. Всеобщая компания геофизической разведки применяет в настоящее время самолеты В-17;

в) выдерживать полеты, насколько возможно, по прямым линиям и точно знать местоположение этих линий; для создания магнитной карты необходимо с точностью определять пересечения между линиями и текущими маршрутами; над материком съемка дает эти точки пересечения, даже если маршрут не был прямолинейным; в морских условиях имеются только периодически регистрируемые данные радиолокации.

В предыдущем сообщении (Е.А.Е.Г., май 1962 г.) мы показали, что вероятная погрешность около аномалии близка к значению

$$dF = 0,4 \frac{M}{h} dx, \quad \text{или} \quad dx = 2,5 \frac{hdF}{M},$$

где  $M$  — амплитуда аномалии;  $h$  — глубина источника;  $dx$  — погрешность положения.

Для аномалии в 300 гамм, вызываемой влиянием массы, расположенной на расстоянии 3000 м под самолетом, погрешность положения, которая соответствует погрешности в 1 гамму, составляет 25 м.

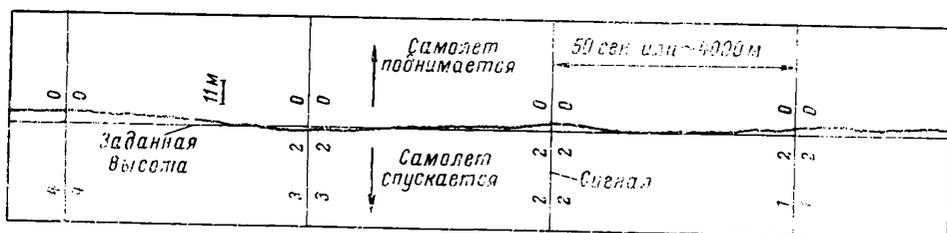


Рис. 4. Профиль полета.

Следовательно, чтобы получить карту с кривыми, расположенными на равном расстоянии в 1 гамму, ошибка в определении места не должна превышать 10 м.

Этого мы и достигли в сезон работ 1964 г., применяя систему Торана. Но какой бы ни была используемая система, для получения желаемой точности необходимы очень большая тщательность в работе и меры предосторожности.

1. Профили (рис. 4). В самолете нельзя получить высокую точность в связи с региональными изменениями магнитного поля, которые могут участить смену масштаба, что придает записи неясный характер. Но дискретная запись позволяет восстанавливать профиль в лаборатории с большой точностью при помощи вычислителя IBM, объединенного со счетчиком-компаратором (калькомпом), который исключает суточные и региональные изменения. Приведенные рисунки показывают, насколько может быть облегчена интерпретация по подобным профилям, текущий масштаб которых составляет от одной до двух гамм на сантиметр.

Методика интерпретации остается по существу прежней, но даже самые незначительные аномалии, которые интересуют нефтяников, имеют амплитуду, достаточную для их эффективного исследования, их точные траектории обеспечивают качественную интерпретацию, а число аномалий, которые могут быть проанализированы, почти в два раза больше, чем при использовании обычного магнитометра.

2. Карты (рис. 5). Чувствительность магнитометра позволяет вычерчивать карты, кривые которых имеют интервалы в 1 гамму или 0,5 гаммы вместо обычных 5 гамм. Но для получения точной карты необходимо, чтобы полет был хорошо выдержан по высоте и направле-

нию. Вначале представлялось, что запись абсолютных значений позволит избежать многочисленных секущих маршрутов, но опыт показал, что когда секущие маршруты разрежены, получаются карты такой же точности, как и снятые при помощи других магнитометров, т. е. допускающие разбивку кривых с интервалом в 5 гамм. Если хотят начертить карту с интервалами в 1 гамму, необходимо, наоборот, теснее располагать секущие маршруты, чтобы компенсация сетки составляла по меньшей мере 1 гамму.

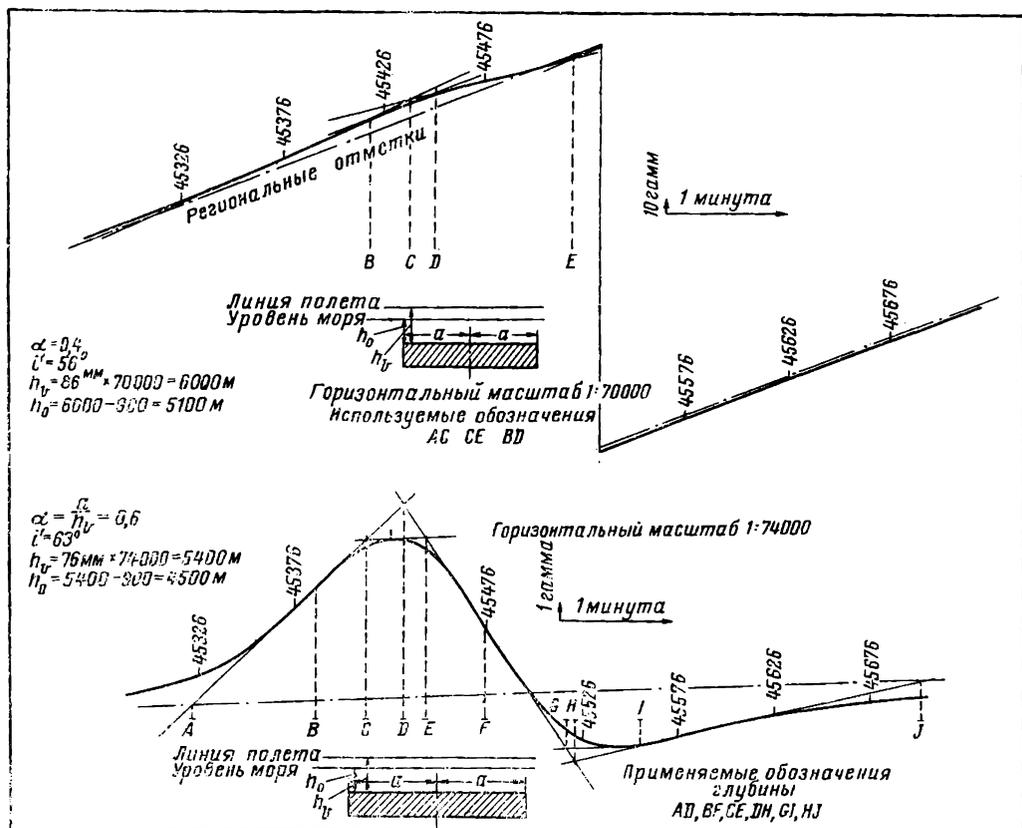


Рис. 5. Система карт.

На подобных картах (рис. 6) даже наиболее слабые колебания отчетливо проявляются и их структурная интерпретация не представляет затруднений. Вместе с тем аномалии в несколько гамм хорошо очерчиваются, что позволяет выявлять разрезы, к которым можно применять палетки, тогда как раньше это было возможно только при аномалиях в несколько десятков гамм.

Увеличение чувствительности прибора в 10 раз требует более тщательной обработки полетов, более длительных работ по программированию и интерпретации. Хотя при этом повышается себестоимость работ, но вместе с тем улучшается их качество, что иллюстрируется представленной документацией. Оценить всю эффективность применения нового прибора еще не представляется возможным из-за ограниченного числа исследовательских полетов с ним. При помощи этого прибора не только может быть уточнена информация, полученная на другой аппаратуре, но и зафиксированы дополнительные данные в виде отметок очень слабых аномалий, связанных с более или менее магнитными осадоч-

ными толщами, соленосными интрузиями и т. д. Это увеличение чувствительности значительно повысит эффективность аэромагнитного метода. Но для этого наземные операции, методы программирования и интерпретации должны быть полностью обновлены. Опыт и научная

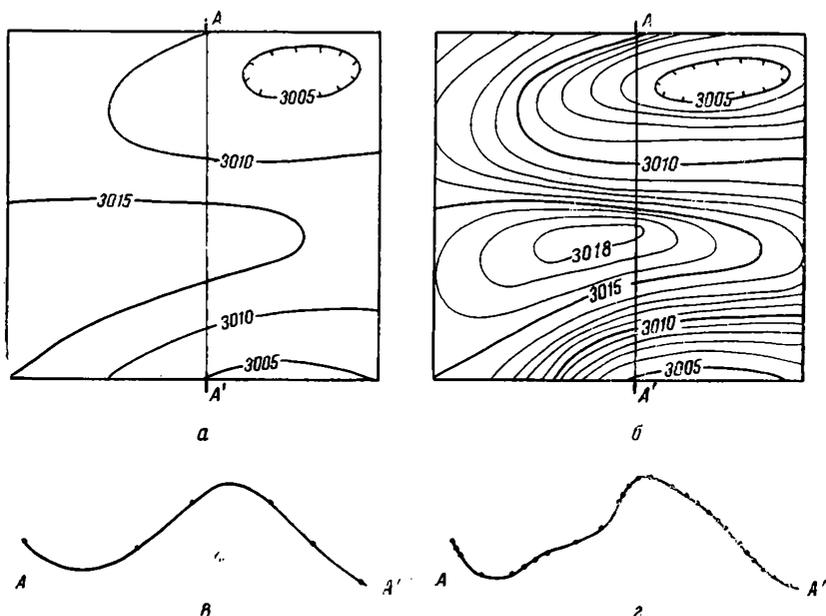


Рис. 6. Кривые изогамм.  
 а — интервал 5 гамм; б — интервал 1 гамма; в — разрез, соответствующий интервалу 5 гамм; г — разрез, соответствующий интервалу 1 гамма.

подготовка геофизиков, работающих как в поле, так и в лабораториях, настолько же важны, как и качество самого магнитметра.

Особый интерес эти улучшения представляют для разведки в морских условиях ввиду ограниченного числа применяемых здесь методов.

## ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ СУДАХ

К. Морелли<sup>1</sup>

### 1. ВВЕДЕНИЕ

При поисках минерального сырья и особенно при поисках нефти ускорение силы тяжести можно легко измерить на море до глубин континентального шельфа (приблизительно 200 м) управляемыми на расстоянии гравиметрами. Если приборы должным образом приспособлены и отрегулированы, точность измерений в морских условиях получается такая же, как на земле ( $\pm 0,1$  мгл), и стоимость соответствующей станции приблизительно та же самая. Преобразование наблюдаемых величин также процесс несложный.

Для локальных и региональных исследований применяются управ-

<sup>1</sup> № 107.

ляемые на расстоянии гравиметры. В качестве примеров региональных исследований можно привести в Европе Балтийское море (178 станций, 1956 г.), Северное (250 станций, 1955—1957 гг.) и Адриатическое моря и континентальный шельф вокруг Италии (3135 станций, 1953—1961 гг.).

Если морские или придонные условия не позволяют использовать управляемые на расстоянии гравиметры или если глубина превосходит глубину континентальных шельфов, гравиметры следует устанавливать на палубах судов.

В последние годы были сделаны многочисленные попытки повысить точность гравиметров и тщательно изучались причины погрешностей в измерениях и пересчетах.

При настоящем уровне знаний точность измерений в 2 *мгл* может быть сохранена также и в открытом море, если удовлетворяются необходимые условия (навигационная система, размер судна и др.).

Первым гравиметром, использованным в открытом море, был вибрирующий струнный инструмент, который успешно подвергся опробованию на борту подводной лодки в 1948 г. Однако последующие испытания в море не были удачными.

Наиболее полно были испытаны и использованы два гравиметра, устанавливаемые на судах: конструкции Граф-Аскания и Лакоста и Ромберга. Поэтому им в дальнейшем будет уделено особое внимание. В настоящее время в некоторых странах применяются другие морские гравиметры. Например, в Советском Союзе разработан Поповым гравиметр, хорошо демпфированный при помощи подвески в масле.

Попов (1959 г.) сообщает, что средние квадратичные ошибки замеров колебались в пределах от  $\pm 3,5$  до  $\pm 14,0$  *мгл* в зависимости от ускорения силы тяжести, неизбежного при волнении на море. Позднее (1962 г.) тот же автор отмечает, что при использовании от пяти до восьми гравиметров ГАЛ имеется возможность обнаружить с подводной лодки колебания ускорения силы тяжести в пределах от 1500 до до 2000 *мгл* через 3—4 месяца после первоначального замера. Можно считать, что при этих условиях, дающих надежную термоустойчивость инструментов, инструментальные погрешности не будут превышать  $\pm 2—3$  *мгл* даже в «слабых» замерах.

«Токийский гравиметр для поверхностных судов», сконструированный в 1960—1961 гг., представляет собой динамический гравиметр маятникового типа и в принципе подобен гравиметру, описанному Джильбертом. Он устанавливается на универсальных шарнирах, стабилизирующихся вертикальным гироскопом, и удерживается в вертикальном положении. Колебания вертикального ускорения преобразуются в частотные колебания через динамический гравиметр и записываются в виде цифр на перфорированных лентах. Колебания ускорения силы тяжести, вызванные движением корабля, не содержат коротких периодических составляющих, как колебания вертикальных ускорений, причиняемые морскими волнами. Чтобы избавиться от колебаний в ускорении силы тяжести, вызываемых этой причиной, применяют низкочастотный фильтр. В «токийском гравиметре» эта операция проводится при помощи электронной счетно-вычислительной машины.

Инструмент испытывался Японской гидрографической конторой; предельная точность получена в 3—5 *мгл*.

## 2. ПРИЧИНЫ ПОГРЕШНОСТИ

При измерениях ускорения силы тяжести с поверхностного судна основными трудностями являются следующие.

2.1. Вертикальные ускорения корабля, обычно достигающие 100 000 мгл. Но эти ускорения периодические, поэтому их можно устранить путем интегрирования по определенному периоду времени, в результате чего получается осреднение до 1 мгл.

Такое усовершенствование осуществлено в морском гравиметре Граф-Аскания путем сильного внутреннего демпфирования и дальнейшего сглаживания выхода на фотоэлементах, который записывается на компенсографе с уменьшением 180 000 : 1 для шестисекундного периода колебаний и 38 000 : 1 для десятисекундного: это порядок величин периодов качки корабля.

Недостатком этой системы является сильное искажение записи (рис. 1) по амплитуде и фазе. Поэтому необходимо применить новые методы преобразования сигнала, в которых учитываются искажения на выходе, создаваемые от-

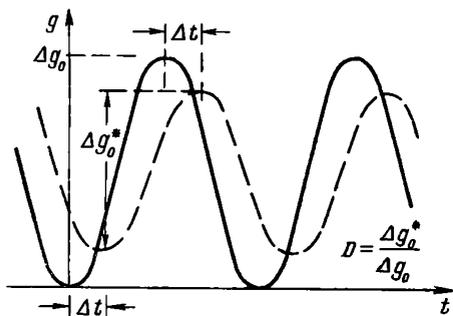


Рис. 1. Фактор затухания  $D$  и запаздывание времени  $\Delta t$  для синусоидальной кривой  $\Delta g_0$  как следствие демпфирования.

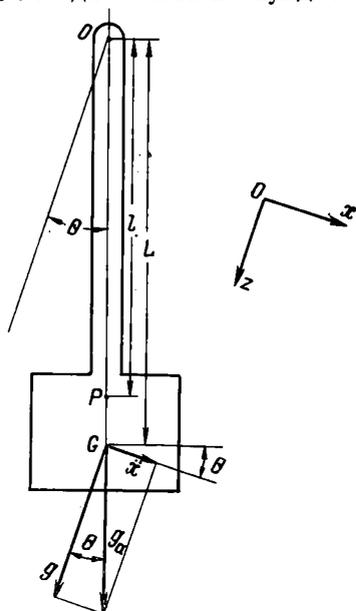


Рис. 2. В универсальной шарнирной подвеске наблюдаемое ускорение силы тяжести увеличивается под действием горизонтальных ускорений.

меченными свойствами инструмента, как функция этих свойств и типа записи  $\Delta g$  (мгновенная, линейная, синусоидальная и т. д.).

В гравиметре Лакоста и Ромберга предусмотрено также некоторое демпфирование против короткого периода вертикальных ускорений.

2.2. Горизонтальные ускорения корабля как следствие отклонения от вертикали и наклона корабля.

Эффект горизонтального ускорения и колебания корабля устраняется двумя независимыми методами.

2.2.1. Подвеска на универсальном шарнире. Эта система принята компанией Лакоста и Ромберга и в очень близком виде в некоторых других странах.

При колебании с углом  $\theta$  относительно вертикали вследствие действия горизонтальных ускорений  $\ddot{x}$  (рис. 2) и  $\ddot{y}$  наблюдаемое ускорение силы тяжести будет  $g_a$ , поэтому следует применять отрицательную поправку:

$$\Delta g_a = -g \frac{\theta^2}{2} = -\frac{h_1^2 + h_2^2}{4g} \quad (\text{эффект Брауна}),$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — амплитуды горизонтальных ускорений и  $h_0 = \sqrt{h_1^2 + h_2^2}$ .

Для  $h_0 = \pm 50\,000$  мгл эта поправка составляет уже 625 мгл, для  $h_0 = \pm 100\,000$  мгл она становится равной 2500 мгл; следовательно, для

получения требуемой точности до 1 мгл необходимо измерять  $h_0$  с очень высокой точностью. Обычно верхний предел горизонтального ускорения, при котором подвеска на универсальном шарнире еще возможна, составляет  $\pm 40\ 000$  мгл.

В морском гравиметре Лакоста и Ромберга горизонтальные ускорения отдельно замеряются измерителями ускорений (акселерометрами) и передаются на вычислительную машину непрерывного действия, которая рассчитывает действие этих ускорений. Эта поправка автоматически подается на считывающий механизм, который непосредственно измеряет точное значение  $g$ .

Однако прибор, отградуированный в лаборатории для ускорений в нормальном диапазоне периодов (1—10 сек), при волнении на море систематически показывал увеличенные значения (поправка Брауна 150—300 мгл) до 25 мгл. Установлено, что это явление обусловлено неодинаковыми требованиями, предъявляемыми к показаниям акселерометров для длиннопериодных компонентов движения судна.

Поэтому акселерометры были модифицированы путем уменьшения демпфирования приблизительно до 0,7 критического. Расчеты, в которых принимались оптимальные электрические константы времени, показали, что акселерометры, демпфированные на 0,7 критического состояния, позволяют вычислить поправку для горизонтальных ускорений с погрешностью, не превышающей 4% для периодов, близких к 1 мин.

Но, к сожалению, очень много документации с прежними замерами утеряно.

Для приборов S-9 Делингером и Юнгулом получена эмпирическая кривая относительных погрешностей в ускорении силы тяжести, приведенная к измеренной Брауном поправке. Эта кривая использовалась при поправках ускорения силы тяжести, записанного прибором «Гидальго»; исправленные записи имели точность до  $\pm 10$  мгл.

2.2.2. Стабилизированная платформа. Эта система принята в морском гравиметре Граф-Аскания (рис. 3). На неподвижной платформе (сконструированной Аншутцем Килем) установлен масляный гироскоп, управляемый на расстоянии, так что необходимая поправка вносится лишь за счет отклонения этой системы от истинной вертикали. С этой целью сигнал, пропорциональный углу между гироскопом и этой платформой, усиливается и подводится к сервомотору, который дополнительно регулирует платформу. Отклонение осей платформы от вертикали дает погрешности, указанные на рис. 4. Практически отклонение  $\theta_0$ , равное 5 дуговым минутам, вызывает погрешность в 1 мгл.

Постоянное отклонение гироскопа от истинной вертикали может быть обнаружено путем сравнения показаний установленных на платформе длиннопериодных уровней с высоковязкой жидкостью, компен-



Рис. 3. Морской гравиметр Граф-Аскания на неподвижной платформе Аншутца, которая имеет в нижней части замедляющий масляный гироскоп.

сированных при помощи электрического приспособления.

При периодических ускорениях маятник гравиметра испытывает два дополнительных влияния, если горизонтальные ускорения действуют на маятник всегда в момент максимального отклонения:

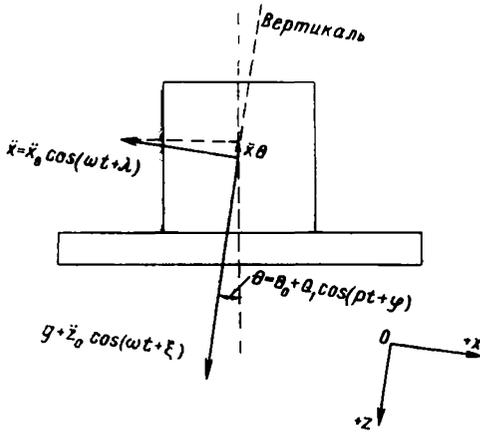


Рис. 4. Отклонение осей стабилизированной платформы от вертикали возможно только в узких пределах для исключения погрешностей показаний.

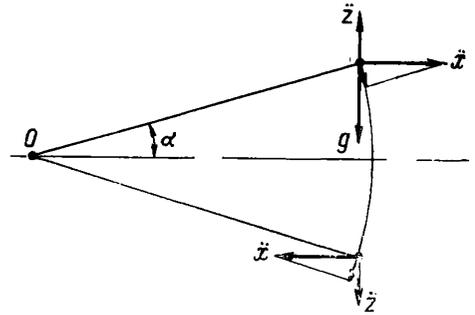


Рис. 5. Маятник гравиметра, выведенный вертикальными ускорениями  $\ddot{z}$  из положения равновесия, под действием горизонтальных ускорений  $\ddot{x}$  переменного типа дает систематическую погрешность  $a$  (переходный эффект).

1) эффект Харрисона, если отклонение обусловлено периодическими погрешностями стабилизации гироскопа; это составляет

$$\Delta g_H = \frac{1}{2} \theta_1 x_0 \cos(\lambda - \varphi);$$

2) переходный эффект, если отклонение вызвано горизонтальными ускорениями (рис. 5), действующими на отклоненный от горизонтального положения маятник при периодических вертикальных ускорениях  $\ddot{z}$ .

Если  $\ddot{z}$  обусловлено периодическим колебанием

$$a = a_0 + a_1 \cos(\omega t + \psi)$$

маятника гравиметра относительно горизонтального положения, то погрешность составит

$$\Delta g = \frac{S}{2F} x_0 y_0 \cos(\psi - \lambda) \text{ мгл},$$

где  $S$  — статическая чувствительность гравиметра в  $\text{рад/мгл}$ ;  $F$  — отношение статической чувствительности к динамической на частоте  $\omega$ .

Этот эффект будет максимальным при  $\psi = \lambda$ , что соответствует положению, в котором фаза маятника совпадает с фазой горизонтальных ускорений.

Заменив выражение  $\frac{S}{2F} x_0 y_0$  на  $k$ , можно написать

$$\Delta g = k \cos[(\psi - \epsilon) + (\epsilon - 1)] \text{ мгл}.$$

Для вращательного движения  $\epsilon - 1 = \frac{\pi}{2}$ . Тогда

$$\Delta g = k \sin(\psi - \epsilon) \text{ мгл}.$$

Следовательно, эффект будет равен 0, когда движение маятника находится в фазе, соответствующей или противоположной вертикаль-

ным ускорениям, и достигает максимального значения, когда это фазовое различие равно  $\frac{\pi}{2}$ . Как известно, фазовое различие составляет

$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ \frac{\pi}{2} \\ \pi \end{array} \right\}$ , когда период усиления отклонения  $\left\{ \begin{array}{l} \text{близок,} \\ \text{равен,} \\ \text{мало сравним} \end{array} \right\}$  по отно-

шению к периоду свободного колебания маятника гравиметра (недемпфированного); но до тех пор, пока демпфирование велико, фазовое запаздывание будет в действительности находиться в пределах  $\frac{\pi}{4}$  и  $\frac{3\pi}{4}$ .

Теоретически этот эффект горизонтальных ускорений может быть сильным в любое время, приближая период колебания волн к периоду колебаний недемпфированного маятника.

Если та часть периодической погрешности платформы, которая остается в фазе с горизонтальными ускорениями, меньше половины минуты дуги, получается около 1 *мгл* эффекта Харрисона. Если же оба ускорения совпадают по фазе, то переходный эффект составляет 10 *мгл*. Но даже в этом наиболее неблагоприятном случае одинаковых периодов запаздывание фазы между  $\ddot{x}$  и  $\ddot{z}$  будет изменяться, и указанная выше погрешность будет уменьшаться.

Другими словами, рассчитанное выше  $\Delta g$  должно являться устойчивой погрешностью для синусоидальных волн (амплитуда и период постоянны) в соединении с синусоидальными горизонтальными ускорениями того же периода и с постоянным фазовым отношением между ними. Так как морские условия неустойчивы, вычисленное выше  $\Delta g$  должно представлять максимальной погрешностью, вызванной изменением уровней, налагающейся на осредненное значение движения корабля вдоль одной из осей движения платформы.

Лабораторное испытание применительно к различным морским условиям было проведено Ламонтской геологической обсерваторией. Было обнаружено, что погрешность сигнала, вводимого в электронику системы Аншютц, адекватна измеренному отклонению стабилизированной платформы от истинной горизонтали, что ликовые точки колебаний платформы являются функцией амплитуды и периода собственных движений судна и находятся между 1 и 4 *мин* дуги. Было обнаружено также, что запаздывание фазы движения площадки в процессе движения «судна» не было постоянным и составляло от 180° до 270° в зависимости от периода и амплитуды движения. Девиация площадки была проанализирована в сравнении с собственными движениями судна. Было установлено, что на судне «Вэма» погрешность при колебаниях уровня в пределах 3 *мгл* могла быть результатом остаточных движений площадки при типичных морских условиях.

Другие серии испытаний проведены в лабораторных условиях Экспериментальной геофизической обсерваторией в Триесте (Италия). Результаты показывают, что переходный эффект существует и сопоставляется с наложенными ускорениями. Испытания выполнены пока только для максимальных значений эффекта как функции запаздывания фазы; найдена важная точка, до которой это запаздывание фазы является постоянным.

2.3. Дрейф нуля прибора. Ввиду того, что корабль может находиться в открытом море несколько недель или месяцев между портами, инструмент должен иметь незначительную или изменяющуюся линейно величину дрейфа нуля и не давать резких скачков в показаниях (тарировке).

Гравиметр Лакоста и Ромберга практически можно считать не имеющим дрейфа нуля при наземных измерениях, где остановки часты, но не при морских исследованиях. Например, в течение 15-месячной

работы морского гравиметра в Индийской океанической экспедиции в 1962—1963 гг. дрейф нуля в среднем за время всего плавания составлял — 0,072 мгл/сутки. В некоторой степени это связано и с тарировкой.

Наоборот, гравиметр Граф-Аскания имеет малые тарировочные погрешности, но несколько больший дрейф: в гравиметре GSS2 № 13 около +0,1 мгл/сутки. Поэтому (так как гравиметры всегда применяются с вариометрами) рекомендуется заходить в порты насколько возможно чаще.

2.4. Изменения центробежной силы (одного из компонентов ускорения силы тяжести) являются следствием изменения скорости судна по отношению к меридиональному направлению (эффект Этвеша). Этот эффект не является свойством прибора, а зависит лишь от скорости судна. По существу это вертикальный компонент силы Кориолиса. Количественно он может быть выражен в виде:

$$\delta g = 7,487s \sin \alpha \cos \varphi + \frac{s^2}{R},$$

где  $\alpha$  — азимут;  $\varphi$  — широта;  $s$  — скорость судна в узлах;  $R$  — земной радиус.

Эту величину следует добавлять к наблюдаемым величинам ускорения силы тяжести при движении к востоку. Например, для  $\varphi = 48^\circ$  и  $v = 18,5$  км/ч в направлении восток—запад ( $\alpha = 90^\circ$  или  $270^\circ$ ) поправка составляет  $\pm 50$  мгл. Следовательно, изменение скорости или ошибка в 0,37 км/ч, или отклонение курса судна на  $1^\circ$  от направления север—юг соответствует погрешности в 1 мгл вследствие эффекта Этвеша.

Измерения скорости и курса корабля обычно бывают неточными из-за сноса ветром и течениями. Следовательно, необходимо иметь хорошую навигационную систему ориентировки: если берегов не видно, то пользуются радионавигационными системами (в открытых морях системой Лоран С).

2.5. Ориентация. Ускорение силы тяжести согласно международной формуле изменяется в средних широтах примерно на 1,5 мгл на милю (1,8 км) изменения широты. Поэтому навигационная ошибка в 1 милю по широте эквивалентна погрешности в 1,5 мгл в определении гравитационной аномалии. Из этого следует, что необходима система точной ориентации.

### 3. ИСПЫТАНИЯ

С тех пор как теоретические исследования показали, что в особых условиях гравиметры могут давать погрешности, в 500 раз превосходящие необходимую точность, а эксперименты давали противоречивые результаты, были проведены многочисленные испытания с целью лучшего изучения степени точности морских гравиметров.

3.1. В первое время эти исследования были главным образом сравнительными: показания гравиметров сравнивались с показаниями маятника Венинга Мейнца или сравнивались данные различных приборов на одном и том же судне (при одних и тех же погрешностях, вызванных эффектом Этвеша).

3.1.1. Гравиметр Граф-Аскания. В Средиземном и Красном морях автор имел возможность, начиная с 1961 г., провести серию гравиметрических измерений на море, результаты которых сведены в таблицу.

Современное состояние гравиметрических исследований в Средиземном море приведено на рис. 6.

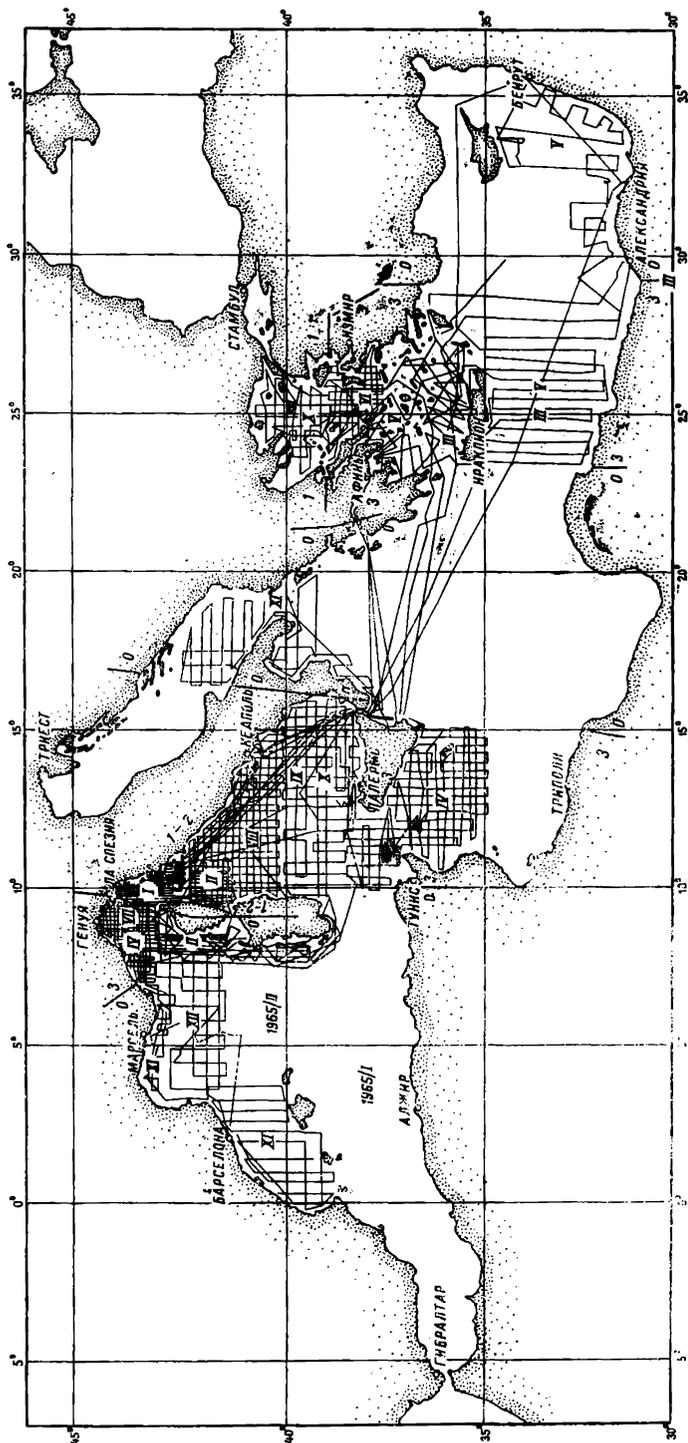


Рис. 6. Современное состояние гравиметрических измерений с поверхностных судов в Средиземном море (по данным Экспериментальной геофизической обсерватории в Триесте) с указанием стадии работы (см. таблицу).  
 0 — только исследуется; 1 — регулировочные профили; 2 — имеются неизученные участки; 3 — полностью исследованные.

## Гравиметрические профили, полученные в Средиземном и Красном морях

№ на рис. 6	Рейс	Год	Район	Система ориентации	Точность, ± мгл	Расстояние, км
I	«Коссак»	1961	Север Тирренского моря	Радар	} 3,0	6,2
II	«Корсар»	1961	Западная Сардиния и Корсика + + Восточная Сардиния	Радар		9,37
III	«Конкрет»	1961	Юг Эгейского моря и Крит + Красное море	Радар	} 3,8	23,5
IV	«Кодисил»	1962	Лигурийское море + Сицилийский пролив	Лоран С		12,5
V	«Коринф»	1962	Эгейское море + юг Крита + восток Средиземного моря	Радар		14,300
VI	«Конкорд»	1963	Центр Эгейского моря	Радар	} 4,4	4,09
VII	«Коран»	1963	Лигурийское море	Радар + Рана		7,9
VIII	«Корнет»	1963	Тирренское море	Лоран С	} 6,0	6,7
IX	«Коктейль»	1963	Юг Тирренского моря	Лоран С		10,0
X	«Коалеск»	1964	Юг Тирренского + север Эгейского морей	Лоран С + Радар		12,0
XI	«Бэби»	1964	Балеарские о-ва + юг Адриатики	Радар	} 6,0	5,75
XII	«Кобвеб»	1965	Лионский залив	Радар Лоран С		112,31

Графики расхождения суммарных ошибок на пересечениях профилей показаны на рис. 7. Можно видеть, что гравиметрические измерения в северной части Тирренского моря (рейс «Коссак») с хорошей системой радарной ориентации (со специальным электронным приспособлением точностью до ±18,5 м) и в центральной части Тирренского моря (рейс «Корнет») с системой Лоран С являются значительно более устойчивыми, чем другие: на 2/3 пересечений их расхождения составляют 3 мгл или менее и увеличиваются до 3,8 мгл для Сицилийского пролива (рейс «Кодисил») с системой Лоран С, которая плохо использовалась, до 4 мгл в Эгейском море (радарная ориентация) или до 6 мгл в Лионском заливе (рейс «Бэби» с радарной ориентацией).

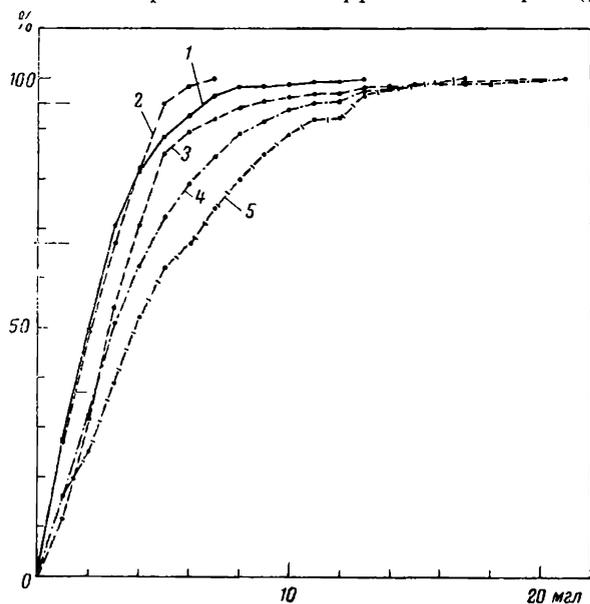


Рис. 7. Графики расхождения суммарных ошибок на пересечениях профилей (см. таблицу).

1 — Радар; север Тирренского моря («Коссак») — 162 пересечения; 2 — Лоран С; центр Тирренского моря («Корнет») — 127 пересечений; 3 — Лоран С; Сицилийский пролив («Кодисил») — 161 пересечение; 4 — Радар; Эгейское море («Конкорд», «Коринф», «Конкрет», «Коалеск») — 262 пересечения; 5 — Радар; Лионский залив, Балеарские острова, юг Адриатического моря — 61 пересечение. Всего 773 пересечения.

Можно сделать вывод, что ошибки в ориентации являются основной причиной погрешностей в морских гравиметрических измерениях и что при тщательном соблюдении необходимых условий работы точность гравиметрических измерений гравиметром Граф-Аскания с плавающих судов в настоящее время значительно выше ±3 мгл.

3.1.2. Гравиметр Лакоста и Ромберга. Были проведены обширные исследования на всем земном шаре при помощи гравиметра Лакоста и Ромберга на поверхностных судах. Совпадения измерений оценивались главным образом путем сравнения величин на пересечениях и соседних параллельных профилях.

Например, измерения Института геофизики и физики Земли Калифорнийского университета дали следующие результаты.

а. Для площади между островом Гваделупа и Пунктом Концептион, где с 1954 по 1962 г. было проведено более 3500 измерений по профилям длиной около 11 200 км с 231 пересечением профилей, расхождения на пересечениях составляют 6,8 *мгл* и менее 7 *мгл* на  $\frac{2}{3}$  пересечений. Исключение пересечений, на которых ошибка в определении положения судна составляла более 90 м, значительно улучшило картину. Следовательно, большие погрешности возникают из-за неточных оценок положения судна, курса и его скорости.

б. Для Индийского океана, где с мая 1962 г. по август 1963 г. было сделано 19 838 измерений, покрывших 73 495 км профилей, стандартное отклонение составляло от 10 до 18 *мгл*; с исключением пересечений, которые имели ускорения с большим периодом и большим градиентом, стандартное отклонение уменьшилось до 8 *мгл*. При сдвиге курса судна максимум на 3,5—4 км стандартное отклонение может быть уменьшено до 4 *мгл* при среднем разбросе в 2 *мгл*. Очевидно, что погрешность, обусловленная неточностью в определении положения судна, была большой.

в. В южной части Калифорнии, где с ноября 1963 г. по январь 1964 г. было совершено два рейса на борту судна «Дэвис» без электронного навигационного оборудования, разница в измерениях гравитационных аномалий для 86% пересечений была в пределах 10 *мгл*; наоборот, на сетке вблизи о. Св. Каталины среднее квадратичное отклонение для 27 пересечений составляло около 2,7 *мгл* и около 80% пересечений различались на 2 *мгл* или менее.

3.2. Лучшие результаты получаются при абсолютных испытаниях, осуществляемых путем сравнения данных с показаниями (более точными) гравиметров, установленных на дне.

3.2.1. Гравиметр Граф-Аскания. Испытания на точность были проведены Морской геофизической лабораторией и Бедфордским институтом океанографии. Первые измерения были проведены с борта корабля «Бэффин» в октябре 1963 г. морским гравиметром Граф-Аскания GSS2-17, в котором применен сервомеханический контроль маятника. Во время испытаний работали оба прибора. В одном случае судно (водоизмещением 3512 т) находилось в полосе шторма с ветрами до 152 км. Судно дрейфовало в течение 6 ч, но гиروطформа и гравиметр были оставлены незакрепленными и в рабочих условиях. Предварительные результаты выявили следующие стандартные отклонения: менее 2 *мгл* для 75% всех измерений; менее 3 *мгл* для 85% измерений и менее 4 *мгл* для всех стандартных отклонений.

Эти результаты показывают, что среднее квадратичные отклонения и, следовательно, действительная точность гравиметрических измерений в море обусловлены систематическими отклонениями, не зависящими от инструмента, техники измерения и способа преобразования данных. Это систематическое внешнее влияние на инструмент, по-видимому, обусловлено переходным эффектом от горизонтальных и вертикальных ускорений и, вероятно, будет устранено в дальнейшем, при лучшем изучении механизма и природы переходного эффекта.

Гравиметр Аскания применялся с сервомеханизмом и без него. Первый содержит устройство длительного контроля постоянства времени, которое поддерживает положение маятника близким к горизонтальному путем изменения напряжения на измеряющей пружине с

регистрацией его при помощи записывающего устройства Миникомп.

Если бы сервомеханизм контролировал положение маятника мгновенно, то погрешность, обусловленная переходным эффектом, могла бы быть уменьшена и, следовательно, повысилось бы качество измерения.

Чтобы проверить, улучшается ли точность измерений от применения сервомеханизма, все измерения были разделены на две группы: с механизмом и без него. Для 25 замеров с сервомеханизмом в 64% случаев среднеквадратичная погрешность составила менее 3 *мгл* и в 8% случаев менее 5 *мгл*. Для 48 замеров прибором без сервомеханизма 62,5% измерений дали среднеквадратичную погрешность 3 *мгл* и 83,5% менее 5 *мгл*. Все замеры во время шторма были выполнены без сервомеханизмов, и среднеквадратичная погрешность составила соответственно в 67,3% случаев до 3 *мгл* и в 90,6% случаев до 5 *мгл*. Отсюда можно заключить, что применение сервомеханизмов мало улучшает окончательные результаты.

Лонкаревик сделал также вывод, что для улучшения эксплуатационных удобств необходимо создать комплексную электронную аппаратуру на борту. Применение такой аппаратуры даст возможность не изменять установку измерительной пружины для компенсации эффекта широты на длинных меридиональных профилях и не компенсировать значительное изменение поправки Этвеша при смене вручную курса на обратный.

По поводу усовершенствования морского гравиметра Граф-Аскания Лонкаревик отмечает:

1) надежные результаты работы с морским гравиметром GSS могут быть получены в течение продолжительного периода времени, если обеспечен достаточно хороший навигационный контроль;

2) при современной технике морских измерений среднеквадратичная ошибка не должна превышать 3 *мгл*;

3) из п. 2 видно, что при исследованиях с целью составления гравиметрической карты с изолиниями через 5 *мгл* эта карта может быть воспроизведена со значительной достоверностью;

4) морской гравиметр и его подставка достаточно крепки, чтобы противостоять любой силе, действию которой может подвергнуться судно;

5) данные, получаемые на гравиметре, и аппаратура для их преобразования совместимы с современными электронными вычислительными машинами.

3.2.2. Гравиметр Лакоста и Ромберга. Первое сравнение гравиметра Лакоста и Ромберга для поверхностных судов было проведено в Калифорнийском заливе в 1959 г. во время Вермилонской морской экспедиции. Одновременно проводились измерения гравиметром Лакоста и Ромберга донного варианта на 27 заякоренных станциях. Поверхностные измерения выполнялись также на корабле «Хауризон», стоявшем на якоре вблизи берега, и одновременно на берегу при помощи наземного гравиметра. При этих измерениях погрешности из-за неправильной ориентации были исключены. Были получены следующие квадратичные ошибки: судно — берег  $-0,1 \pm \pm 2,6$  *мгл*; судно — дно моря  $-2,7 \pm 1,5$  *мгл*; дно моря — берег  $+0,1 \pm \pm 1,3$  *мгл*.

Для лучшего сравнения показаний этих приборов установили шкалу оценки на площади в Сан-Франциско. Площадь имеет протяженность около 5,5 *км*. Измерения выполнялись при помощи подводного гравиметра, данные приводились к уровню воды и заносились на карту. Значения силы тяжести в районах минимальных градиентов могут быть определены с точностью до  $\pm 2$  *мгл*. В течение июля 1963 г. суда «Пионер» и «Сервейер» испытывали гравиметры S-11 и S-12 в этом же районе. Испытания проходили по серии 16-километровых линий,

расположенных по радиусам. Два таких радиуса были исследованы обоими судами. Скорость движения и ориентация гравиметра менялись на каждой линии; каждая линия проводилась в обоих направлениях. Положение судна определялось через двух- и трехминутные интервалы по Шорану. Была также собрана дополнительная информация: амплитуда и периодичность волн, килевая качка, направление осей гироскопов, состояние моря, скорость ветра и др. Данные, полученные по одному из радиусов для гравиметра S-12 на борту «Сервейера», были изучены. Эталонный измеритель горизонтальных ускорений маятникового типа для гравиметра S-12 имел период около 2 мин и был демпфирован. Демпфирование составляло около 0,7 критического.

Обширное исследование надежности работы в море универсального шарнирно подвешенного гравиметра с измерителем горизонтальных ускорений, демпфированным на 0,7 критического, опубликовано Делингером (1964). Он сообщает, что испытание надежности гравиметра проводилось на платформе в открытом море, где сила тяжести была известна. Замеры сравнивались с предыдущими замерами, сделанными маятниковым гравиметром, которые выполнялись с подводной лодки; учитывались пересечения гравиметрических профилей по данным различных исследований. Измерения были проведены в Мексиканском заливе и в Тихом океане на четырех различных судах водоизмещением от 150 до 3000 т. Измерения считались достоверными, когда записи маятника прибора были прямыми и непрерывными, и недостоверными, когда они были кривыми и вибрирующими. Когда горизонтальное и вертикальное ускорения являются постоянными или почти синусоидальными, записи маятника линейны, и измерения достоверны. Когда горизонтальные или вертикальные ускорения импульсные или несинусоидальные, записи маятника получаются волнистыми и измерения обычно имеют погрешность +15 мгл или более. Критерием надежности измерений являются величина и постоянство ускорений независимо от размера судна или прямолинейности курса. Килевая качка является основным источником погрешностей при измерениях и поэтому большие суда предпочтительнее малых. Преимущество больших судов обусловлено большей устойчивостью их направления.

Без учета навигационных погрешностей точность измерений может составлять до 3 мгл при поправках Брауна до 300 мгл, в пределах до 5 мгл при поправках от 300 до 400 мгл и до 8 мгл от 400 до 500 мгл. Когда поправки Брауна увеличиваются, погрешности в приборе S-9 в основном положительны.

Вначале считалось, что неточность измерений вызывается колебаниями судна с большим периодом, обусловленными плохим управлением, или «рысканьем», судна. Исследования не подтвердили этой концепции. Во многих случаях неточные записи получались и при движении судна по прямому курсу и, наоборот, были получены хорошие записи, когда судно «рыскало». Это означает, что при движении судна компоненты с большим периодом так малы, что дают незначительные погрешности. Тем не менее иногда обнаруживаются значительные ускорения с большим периодом, как это следует из записей измерителя ускорений. Эти ускорения сильно влияют на записи гравиметров (прибор S-9). Природа ускорений с большим периодом неясна; их связывают с сильными неравномерными движениями судна, вызванными его неустойчивостью или сильными поперечными волнами.

Можно сделать вывод, что гравиметры, подвешенные на универсальном шарнире, имеют высокую точность, когда горизонтальные и вертикальные движения довольно однообразны и примерно синусоидальны, но они дают погрешности, когда горизонтальные или вертикальные ускорения импульсные или в высокой степени несинусоидальные. Более точные измерения могут быть получены при спокойном

море. Подвешенные на универсальном шарнире приборы — это также приборы «для хорошей погоды».

3.2.3. Выделение специальных мест для контроля аппаратуры. Наилучшим способом испытания и калибровки гравиметров для поверхностных судов является сравнение их показаний с показаниями донных приборов, полученными при необходимой точности измерений, а иногда с дистанционно управляемыми гравиметрами на мелководье. В некоторых районах такие площади имеются по всем континентальным шельфам.

В последние годы оборудованы специальные места в неглубоких водах для контроля аппаратуры морских судов, которые включают в свою программу гравиметрические наблюдения. В США они оборудованы на восточном и западном побережьях, где возможно провести прецизионный навигационный контроль; в Канаде такое же место оборудовано вблизи Галифакса.

#### 4. СОВРЕМЕННЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

4.1. Морской гравиметр Граф-Аскания. Наиболее важным усовершенствованием морского гравиметра Граф-Аскания является введение сервоконтроля для измерительной пружины, в связи с чем измерительная стрелка держится всегда в нулевом положении.

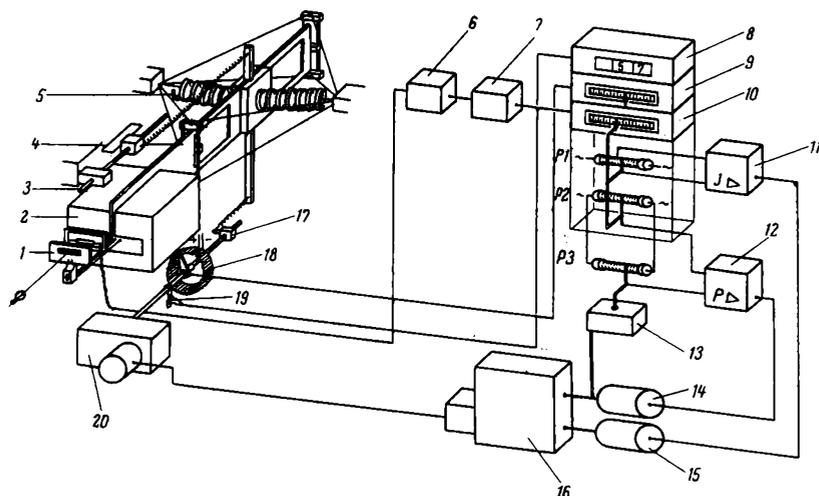


Рис. 8. Принцип измерения автоматически управляемым морским гравиметром Граф-Аскания.

1 — диафрагма со щелью; 2 — демпфирующий магнит; 3 — измерительная пружина ручного управления со шкалой; 4 — измерительная стрелка; 5 — скрученные многожильные пружины для успокоения измерительной стрелки; 6 — демпфирующее устройство на сопротивлениях и емкостях; 7 — электрическая линейаризация; 8 — измерительная стойка со счетчиком; 9 и 10 — каналы компенсирующего записывающего устройства; 11 — интегральный усилитель; 12 — пропорциональный усилитель; 13 — коробка передач; 14 — пропорциональный сервомотор; 15 — интегральный сервомотор; 16 — передающий сервомотор с преобразователем; 17 — автоматически регулируемый прецизионный измерительный шпиндель; 18 — потенциометр; 19 — выход потенциометра; 20 — принимающий сервомотор с преобразователем.

Положение измерительной пружины записывается при помощи потенциометра, записывающего устройства и счетчика. Таким путем пределы прямого измерения расширяются примерно до 7000 мгл. Запаздывание в записи, обусловленное сильным демпфированием, так же как и уменьшение амплитуды силы тяжести, почти полностью устраняются автоматическим сервоконтролем. Возможность превращения показаний в электрические сигналы способствует значительному упрощению работы и оценки данных.

Принцип измерения автоматически контролируемым гравиметром Граф-Аскания показан на рис. 8.

Другие усовершенствования гравиметра Граф-Аскания, сделанные за последние несколько лет, направлены на увеличение точности измерений при беспокойном море. Эти усовершенствования описываются ниже.

Испытаны электрические лампы для освещения фотоэлементов и сделан тщательный подбор их, позволяющий менять лампы даже в открытом море. Это потребовало усиления системы крепления элементов. В связи с этим при повторном креплении маятник будет показывать то же значение силы тяжести.

Линеаризация достигается теперь электрическим способом и поэтому значительно упростилась.

Электрические фотоэлементы достаточно долговечны и надежно работают в течение нескольких лет. Благодаря новому методу регулирования показываемые значения практически не зависимы от флуктуаций силы освещения ламп.

Искажения, обусловленные магнитными полями, устраняются экранами из мягкого железа.

Термостат усовершенствован настолько, что даже внезапные изменения температуры окружающей среды почти не оказывают влияния на результаты измерений.

Возможность повторной установки прибора испытана различными способами, в том числе путем сильной механической нагрузки на оси вращения измерительной системы. При помощи максимально чувствительной схемы с гальванометром возможно обнаруживать даже мгновенные неточности.

4. 2. Гироустановка. В последние годы некоторые важные усовершенствования претерпела гироустановка. Для хорошего сохранения морским гравиметром горизонтального положения в морских условиях Аншутц (Киль) разработал новый электрически управляемый гироскоп. Впервые он был испытан в октябре 1963 г. Лонкаревиком.

В дополнение к своим стабилизирующим функциям гироустановка подает сигналы, указывающие углы бортовой и килевой качки, погрешности площадки сервомеханизмов, а также горизонтальные ускорения, которые измеряются акселерометрами, установленными на платформе.

В конструкции платформы усовершенствованы регулирующая аппаратура для установки нужного наклона платформы, устройства для наблюдения за уровнем моря, многие детали для упрощения и улучшения обслуживания, электрического контроля за состоянием платформы, повышена надежность гиро- и электронного оборудования. Вместо потенциометров новая регулирующая аппаратура использует синхронизаторы, имеющие неограниченные пределы.

Двойные уровни, связанные с аппаратурой и заполненные точно подобранной жидкостью, позволяют определять географическую широту платформы даже при беспокойном море.

Обслуживание облегчается возможностью питания регулировки аппаратуры со стороны, устройством многочисленных клемм на платформе для измерений и др. Механически прочно сконструированные сервоусилители и надежные системы связи обеспечивают безотказность работы электроники. Усилением вращающихся осей и созданием вакуумной камеры решены все проблемы надежности гироскопов, возникавшие иногда в прошлом.

Именно поэтому влияние изменения курса корабля и его скорости на погрешности измерений сведено к минимуму. Погрешности гироскопов гидравлически скорректированы до нескольких *мгЛ* в обычных условиях открытого моря. С новым электрически управляемым гироскопом горизонта эти ошибки могут быть уменьшены менее чем до 10%.

Влияние изменения курса и скорости может быть устранено временным выключением выпрямительной системы. Выключение может контролироваться автоматически гирокомпасом судна, так что ручное управление выключением стало необходимым лишь при изменении скорости судна. Во время периода выключения вертикальный гироскоп будет иметь дрейф максимум  $5^\circ$  в час, включая действие всех компонентов ускорения. Новая гироустановка позволяет оборудовать два сервоусилителя и стартер для вращения конвертера в одной обойме, которая устанавливается в 482-мм стойке. Таким путем могут быть сконцентрированы все виды контроля гироустановки.

4. 3. Морской гравиметр Лакоста и Ромберга. Последняя работа по усовершенствованию гравиметра Лакоста и Ромберга для поверхностных судов, согласно сообщению доктора Лакоста, направлена по двум линиям. Одна из них — продолжение попыток уменьшить погрешности путем подвески на универсальном шарнире. В 1965 г. один из этих приборов был использован Международной геофизической ассоциацией при нефтяных исследованиях. Прибор использовался в условиях хорошей навигации.

В результате многих небольших усовершенствований постепенно была улучшена универсальная шарнирная подвеска гравиметра.

Так как гравиметры, укрепленные при помощи универсального шарнира, по-видимому, менее приспособлены для работы в условиях беспокойного моря (ускорения более  $\pm 0,05$  г), чем гравиметры, установленные на стабилизированной платформе, второе направление работы над гравиметрами состояло в конструировании стабилизированной платформы с целью установки гравиметров для работы на судах.

На стабилизированной платформе установлены гироскопы и двигатели управления. Эксплуатационная точность платформ — 1 дуговая секунда; она отличается более высокой чувствительностью в отношении периода морских волн. Первое испытание показало точность, сравнимую с прибором на универсальной шарнирной подвеске, и гравиметр действовал при плохих условиях погоды почти также, как прибор на универсальном шарнире. Стабилизированная платформа работала нормально при вертикальных ускорениях  $\pm 0,5$  г и горизонтальных ускорителях  $\pm 0,2$  г. Причина, почему гравиметрическая аппаратура не работает при этих ускорениях, заключается в том, что она не рассчитана на горизонтальные ускорения такой величины. В гравиметре с шарнирной подвеской силы всегда направлены точно вдоль осей прибора и равны нулю в боковых направлениях.

Так как было нежелательно менять модель Лакоста и Ромберга на модель со стабилизированной платформой пока не достигнуто определенное преимущество ее, была введена более жесткая подвеска аппаратуры с дополнительными ребрами и отрегулирована ее линейность по отношению к вертикальным ускорениям. В результате этого погрешность свелась к минимуму даже при вертикальных ускорениях, значительно превышающих  $\pm 1$  г. Прибор может выдерживать пики в  $\pm 0,5$  г без резких остановок.

Прибор с более жесткой подвеской в настоящее время проходит лабораторные испытания, затем будет испытываться на судах.

Вычислитель переходного эффекта используется для внесения переходных поправок между горизонтальными и вертикальными ускорениями. Он должен пройти лабораторные испытания. Трудно сказать с полной уверенностью, нужна ли поправка на переходный эффект при работе на судах. Однако первые испытания гравиметра Лакоста и Ромберга с неподвижной платформой на малых судах выявили такую необходимость.

4. 4. Применение вычислительных машин. В гравиметрии на море одной из трудных проблем является интерпретация

данных, на которую затрачивается обычно несколько месяцев работы и которая связана со многими погрешностями. Поэтому необходимы автоматическая обработка данных и соответствующие программы для вычислительных машин.

Впервые морской гравиметр Граф-Аскания автоматизирован Лонкаревиком.

Для морского гравиметра Лакоста и Ромберга система для автоматической обработки и вычислений гравиметрических данных на море испытана и теперь используется на борту исследовательского судна «Чэйн» Океанографического института. Это первый пример интерпретации гравиметрических данных при помощи электронной вычислительной системы. Вычисление выполняется в одну минуту машинного времени; при этом определяются значение силы тяжести, аномалии силы тяжести и навигационное положение в момент определения.

Система состоит из аппаратуры для ввода данных в машину, совмещенную с гравиметром, гирокомпаса судна, измерителя скорости судна, контрольной системы IBM1710 модели 1 (комбинация вычислительной машины 1620 и преобразователя данных для цифрового ввода 1711), печатающего устройства и бумажной ленты аппаратуры выхода и входа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На настоящей стадии развития навигационной аппаратуры могут быть сделаны следующие выводы.

Если морские гравиметры на поверхностных судах соответствующим образом откалиброваны и содержатся в порядке, а система ориентации может гарантировать определение широты по крайней мере в пределах 0,8 км, истинную скорость в пределах 0,16 км/ч и курс в пределах 1°, то все современные системы гравиметров могут давать значения силы тяжести с точностью до  $\pm 2$  мгл при величине горизонтальных ускорений около 50 000 мгл.

Дальнейшему усовершенствованию может быть подвергнут морской гравиметр Граф-Аскания. Из личного сообщения д-ра Ворзеля следует, что ему, кажется, удалось путем применения дополнительного приспособления полностью устранить разностные переходные погрешности (которые оцениваются в несколько мгл), тогда эффективная точность измерений составит  $\pm 1$  мгл.

То, что переходный эффект может быть измерен весьма просто, было уже показано д-ром Карником на сентябрьском заседании Международной гравиметрической комиссии в 1962 г.

Два фактора, слагающих величину  $\Delta g$ , практически зависят от измерителя горизонтальных ускорений и выхода гравиметра (пропорционального отклонению маятника от горизонтального положения). Эти две величины усиливаются и умножаются, давая таким образом измеримую величину переходного эффекта, которая может быть записана.

Гравиметры, установленные на поверхностных судах, работающие с эффективной точностью до  $\pm 1$  мгл, полезны для геофизических исследований в море.

## АППАРАТУРА БОКОВОГО ЭХОЛОТИРОВАНИЯ «АСДИК»

Т. Ф. Гаскелл<sup>1</sup>

Для того чтобы геологи могли проследить направление залегания пластов горных пород и характер строения территории, покрытой водой, разработано несколько простых приборов. Наклон пластов на побережье может быть определен на основании наблюдений за обнажениями, по данным неглубоких скважин и геофизическими методами. Полная геологическая картина на материке может быть сведена в региональные карты, охватывающие более широкие площади, включающие и удаленные от берега (морские) провинции. Наилучшие результаты может дать тщательное построение карт изолиний глубин морского дна. Единственным прибором, необходимым для выполнения этой работы, является эхолот. Результаты его применения могут быть достаточно наглядными. Например, многие подводные структуры в Персидском заливе выявляются в слабых, еле заметных региональных поднятиях морского дна, подобно таким же структурам в некоторых районах на материке, например в Кувейте.

К сожалению, нет возможности дополнять профили эхолотирования морского дна аэрофотоснимками, которые используются во многих частях мира для выявления структур и залегания пород. Морские воды слишком мутные и обычный предел видимости в них составляет лишь несколько десятков метров.

Интересную работу проделала в Калифорнии группа геологов, снабженных аквалангами.

Свободно плавающие водолазы могут отбирать образцы пород из обнажений на морском дне. Водолазы в аквалангах имеют преимущество перед водолазами, одетыми в старые водолазные костюмы, в том, что они могут плавать на несколько метров выше морского дна и не взмучивают мельчайших осадков, что ухудшает видимость. В Калифорнии водолазы обследовали значительные морские площади и подавали сигналы на поверхность, когда надо было отметить интересные явления или отобрать пробы. Несколько лет назад образцы пород для предварительного изучения были собраны на морской площади Абу Даби. Обнажения на дне моря изучались с помощью пловцов-подводников.

Пролив Ла-Манш свободен от современных осадков благодаря действию приливо-отливных течений и является наиболее удобным местом для визуальных наблюдений подводной геологии.

В тех местах, где морское дно скрыто под толщей мягких осадков в несколько метров или более, сведения о подстилающих пластах пород могут быть получены при помощи модифицированного эхолота. Мощные звуковые импульсы возбуждаются в воде электрическими разрядами, взрывом небольшого количества газа, электромагнитными колебаниями или сжатым воздухом. Звуковые волны проникают в рыхлый слой и дают картину поверхности нижележащих пластов пород. Искровые разрядники и подобные им изобретения представляют значительную ценность для предварительных морских исследований. Они используются также с целью определения поправок для разных мощностей осадков при низкой скорости распространения звуковых волн в сейсмических исследованиях методом отраженных волн.

Новый прибор бокового эхолотирования «асдик», применяемый геологами в подводных исследованиях, был изобретен несколько лет назад Британским национальным институтом океанографии «асдик» передает узкий пучок высокочастотных импульсов и записывает эхо,

<sup>1</sup> Научный консультант Британской нефтяной компании. № 103.

полученное при их отражении от морского дна. Пучок направляется в сторону от корабля в форме веера, так что звуковые импульсы попадают на морское дно на расстоянии от 100 до 1000 м от корабля. Первое эхо возвращается к приемнику (приемник такой же, как и передатчик) от ближайшей части морского дна, затем от все более удаленных частей. Все эхо записываются на записывающем аппарате Муфакса, подобно тому, как при точном эхолотировании. Плотные породы дают сильное эхо и четко отмечаются на записи, а рыхлые илистые породы, имеющие слабую отражающую способность, дают слабую запись. Если дно волнистое, то склоны, обращенные к кораблю, дают эхо сильнее, чем склоны, обращенные в обратную от корабля сторону. Запись в этом случае рисует картину, которая является характеристикой площади морского дна под прямым углом к кораблю. По мере движения судна вперед звуковыми импульсами освещаются все новые участки морского дна, и звукозаписывающий аппарат постепенно строит карту морского дна по площади, захватываемой пучком импульсов по курсу судна. Эта карта выявляет не только плотные и рыхлые породы и складки на морском дне, но также и места нарушений, ясно показывая горизонтальные смещения пород. Однако случайные препятствия, такие, как следы кораблекрушения или мины, затемняют картину. В руках опытного оператора «асдик» может давать значительную информацию об изменениях в строении морского дна и может быть применен, например, для поиска значительных скоплений гравия.

В приборе, созданном Национальным институтом океанографии для использования на различных судах, подводный приемник был заключен в буксируемый корпус.

Подводная часть буксируемого исследовательского «асдика» состоит из 27-элементного приемника, помещенного в негерметичный фиброгласовый корпус обтекаемой формы. Приемник может вращаться вокруг оси в горизонтальной плоскости на  $180^\circ$ . Передняя часть приемника может быть приведена к требуемому углу наклона ниже горизонтали. Нижняя половина буксируемого корпуса звукопроводная. Буксирный трос пропускается через верхнюю часть корпуса, а на заднем конце закрепляются стабилизаторы. Общие размеры вместе со стабилизаторами: ширина 81,3 см, длина 185,4 см, высота 111,8 см.

Буксируемый прибор помещают на 10 м ниже поверхности воды, а для того чтобы избежать слишком большого сопротивления, кабелю придается обтекаемая форма. В первых моделях прибора кабель был бронированным, затем его заменили многожильным. Это создало возможность подавать сигналы двигателю, который может изменять угол наклона ниже горизонтали, пока «асдик» буксируют, облегчило регистрацию оптимального сигнала и позволило изменять угол пучка импульсов в соответствии с изменением отражающих условий морского дна.

Приемник действует на частоте 48 кГц. Он изготовлен из решетчатых пластин, установленных в трех параллельных секциях. Ширина пучка импульсов в основной части при половине мощности составляет  $7,5^\circ$  в вертикальной плоскости и  $1,6^\circ$  в горизонтальной.

Опытным путем найдено, что наилучшие результаты могут быть получены при усилении боковых пучков импульсов и сравнительно узкого основного пучка в вертикальной плоскости. Чтобы получить необходимое «сужение» для достижения этого эффекта, уменьшив амплитуду вибрации центральной секции по отношению к двум другим секциям. Энергия вибрации боковых секций при необходимости может быть изменена регулированием расстояния между тремя секциями приемника.

Записывающая система состоит из вмонтированного в стол аппарата «Муфакс», специально переделанного Келвином Хьюджесом для использования с мощным передатчиком и приемником. В этой системе

объединены обычная записывающая аппаратура и усилитель на 48 кгц. Прямолинейная запись получается при соприкосновении неподвижного пера с вращающимся валиком.

Ниже приводятся некоторые данные этой системы.

Шкала глубин, м . . . . .	0—366; 0—732; 0—1464
Масштаб записи . . . . .	1:96
Скорость вращения валика, об/мин . . . . .	30; 60; 120
Ширина бумажной ленты, см . . . . .	45,7
Длина бумажной ленты, м . . . . .	30,48
Скорость движения ленты (при 60 об/мин), см/мин . . . . .	1,6

Буксируемый корпус причиняет некоторые хлопоты из-за своего змееобразного движения в воде, но это может быть успешно устранено регулировкой хвостовых стабилизаторов.

Аппаратуру можно легко снимать с одного судна и устанавливать на другое.

Описанные аппараты используются в Ла-Манше, Персидском заливе, Северном и Средиземном морях. Во многих частях мира полученные результаты неинтересны, так как морское дно состоит из однообразных осадков. Картина хорошего обнажения пород получена в Ла-Манше (см. рисунок). Площадь в окрестностях Лулворта интересна по двум причинам: это был один из первых подводных участков, исследованных Страйдом и его коллегами, и здесь была пробурена первая в британских водах разведочная скважина. Испытания прибора были проведены Британской нефтяной компанией, и на основании структуры обнажения, полученной при помощи бокового эхолота «асдик», было выбрано местоположение скважины.

Большая работа проделана в Гонконгском университете под активным руководством проф. Честермана с комплектом другого оборудования. Интересный эффект, полученный в некоторых гонконгских записях, представляет типичный образец интерференционной каймы Ллойда, обусловленной комбинацией отраженной от поверхности и прямой звуковых волн. Обусловлен ли наблюдаемый вид записи этим типом интерференции или прямым отражением от морского дна, обнаружить очень просто. Для этого необходимо только поднять или опустить приемник в воде: картина интерференции изменится, в то время как картина отражения от морского дна останется постоянной.

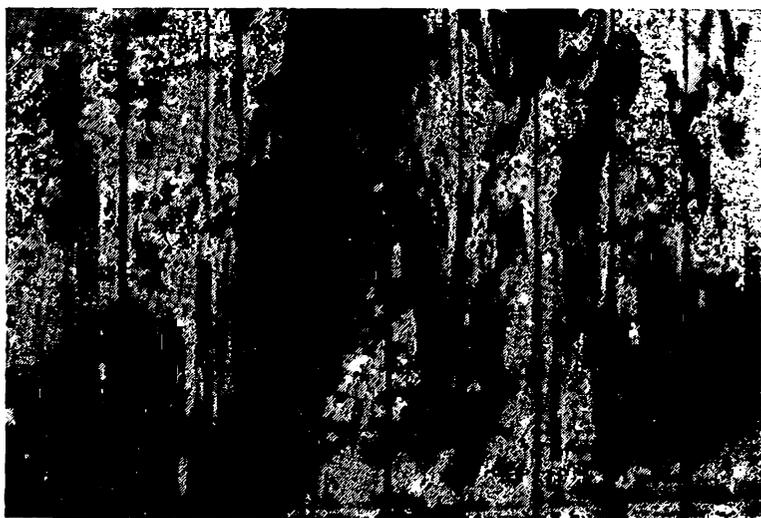
Хотя многие участки морского дна покрыты толщей осадков, достаточной, чтобы скрыть обнажения, имеются и такие места, где боковое эхолотирование аппаратурой «асдик» может дать полезные геологические результаты. Так, «асдик» может быть использован для выяснения изменений в топографии морского дна, например для выявления небольших впадин, как это отмечено в некоторых частях Персидского залива. Такие впадины могут влиять на прокладку трубопроводов. Там, где имеются обнажения пород, «асдик» быстро дает геологическую карту морского дна, сходную с аэрофотоснимком.

В местах, где на морском дне ожидается передвижение песка, периодические исследования боковым эхолотом могут оказаться неоценимыми для планирования бурения в море. Так как эта система дает возможность наблюдать основные черты изменения морского дна, то, пользуясь ею, можно предвидеть занос песками якорей и оснований платформ.

Некоторое беспокойство обычно вызывает несущая способность морского дна при установке больших буровых платформ. Изучение при помощи системы «асдик» предполагаемой площади бурения должно показать, где наблюдаются изменения качества дна. Последующие испытания с пробоотборником покажут характер этих изменений. На-

конец, расположение опор может быть выбрано так, чтобы избежать мягкого неоднородного грунта.

При сооружении морских платформ и прокладке подводных трубопроводов очень важно установить, не угрожает ли работам какая-ни-



Запись структуры морского дна в Ла-Манше.

будь подводная опасность. Система бокового эхолотирования «асдик» является бесценным инструментом для «обозрения» территории с целью

регистрации любых препятствий. При прокладке трубопровода может быть изучена полоса в 1000 м шириной вдоль предполагаемой трассы и выявлены места наиболее вероятных препятствий. После этой предварительной рекогносцировки особенно интересные места могут быть проверены в помощь аквалангистов, бурением, подводной кино съемкой или с применением телевидения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аппаратура бокового эхолотирования, разработанная несколько лет назад Британским национальным институтом океанографии, оказалась полезной для геологов и инженеров, занимающихся морскими исследованиями. Первоначальная аппаратура переделана так, что она может буксироваться любым маленьким судном. Аппаратура «асдик» во многих случаях дополнена такими приборами, как «разрядник», который позволяет просвечивать ил, покрывающий дно моря. Система «асдик» наиболее полезна для геологов на тех участках морского дна, которые очищены морскими течениями от мягких осадков. Даже в местах, где есть осадки, «асдик» может обнаружить участки, где мягкий материал уступает место плотным пескам. Могут быть выявлены ценные отложения, например гравий. При размещении буровых платформ в море рекогносцировка мест заложения опор или якорей при помощи «асдика» может сэкономить значительное время и средства. Применение «асдика» неocenимо при регистрации возможных опасностей вдоль предполагаемой трассы подводного трубопровода.

---

## ПОДВОДНЫЙ БУРОВОЙ СТАНОК ДЛЯ ОТБОРА КЕРНА ИЗ ОБНАЖЕНИЙ НА ГЛУБИНЕ ДО 400 м

*М. Ж. Лиото*<sup>1</sup>

Геологические подводные исследования обнажений пород, проведенные в Гибралтарском проливе путем колонкового бурения, показали, что применение специально разработанного для этой цели подводного оборудования позволило свести к минимуму затраты средств и времени. Однако размеры проведенных работ были очень относительно, и на материке, вероятно, было бы достаточно одного заступа или одного кайла для их выполнения.

Компания СЕГАНС<sup>2</sup> поставила перед Национальным синдикатом Мареп задачу отобрать керны длиной до метра в зонах вероятной скалистости, природу которых надо было уточнить.

Так как эти исследования были предназначены для уточнения трассы будущего газопровода, пересекающего пролив, отбор керна должен был производиться на глубине 400 м под поперечными и переменными течениями, имеющими скорость более 3,5 км.

С самого начала исследований было решено исключить насколько возможно влияние случайных условий с поверхности и ориентироваться на полностью погруженный аппарат, работающий под водой.

---

<sup>1</sup> Доверенное лицо Исследовательского и конструкторского бюро Национального синдиката Мареп, № 102.

<sup>2</sup> S. E. G. A. N. S.— Исследовательская компания по транспортировке и обогащению природного газа Сахары.

Была спроектирована маленькая буровая машина с электрическим телеуправлением, способная действовать на глубине 400 м под водой и связанная с поверхностью кабелем.

На основании подводной фотосъемки, проводившейся в большом масштабе для выявления различных возможных трасс, можно было предположить, что в местах, где намечалось бурение, дно было относительно ровным, по крайней мере, в интервале 2 м.

Вместе с тем ввиду сравнительной обширности зоны, намеченной к геологическим исследованиям, предусматривалась возможность перемещения буровой установки, если место ее первоначального расположения имело наклон, неблагоприятный для ее функционирования. Следовательно, можно было избежать применения сложной системы подвески для придания буровому инструменту вертикального положения и ограничиться размещением внутри машины небольшого простого инклинометра, передающего на поверхность сигнал в случае неправильного положения машины.

Характер пород, намеченных к исследованию, был совершенно неизвестен, и никакие из существующих средств не позволяли отобрать достаточно показательные образцы. Поэтому из предосторожности надо было оборудовать станок буровым инструментом, способным проникнуть в очень крепкие породы и вместе с тем обеспечивающим получение достоверных образцов менее плотных осадочных отложений.

Предназначенное для исследований судно «Амальтея» обладало хорошей устойчивостью и имело на борту полное электронное оборудование, позволявшее определять местоположение с большой точностью. Помимо того, на кормовой платформе корабля находился гидравлический качающийся подъемник высотой в 4 м и достаточной грузоподъемности. Кормовая платформа, используемая для различного назначения, могла выдвигаться под подъемником, образуя рабочую площадку размером приблизительно 4×3 м.

Таким образом, погружение буровой установки и извлечение ее обратно были подготовлены; оставалось внести некоторые изменения в подъемник, добавив для удобства спуска установки несколько блоков.

Серьезным вопросом, который нельзя было обойти при подготовке к исследованиям, явилась неизбежность дрейфа корабля. «Амальтея», оборудованная электрическим поперечным винтом в дополнение к ее обычной системе тяги, могла прекрасно маневрировать, тем не менее не исключалась опасность значительного дрейфа по отношению к вертикали места работы при попытке пользоваться динамической системой стабилизации.

При отдаче якоря и работе на брошенном якорю на предусмотренной глубине в 400 м дрейф был еще большим и мог достигать сотни метров. Необходимо было избавить погруженную бурильную машину от натяжения кабеля, вызываемого дрейфом. Этот вопрос стал одним из важнейших пунктов проекта.

Предполагалось, что бурильная машина с основанием будет весить в воде около полутора тонн. Нельзя было рассчитывать, чтобы при таком небольшом весе она могла служить неподвижным якорем для восьмисоттонной «Амальтеи». Необходимо было также избавить буровой станок в процессе работы от толчков, передаваемых ему кабелем. Было решено снабдить буровой станок балластом, достаточным для выполнения роли якоря; кроме того, было принято, что в продолжение всего процесса отбора керна кабель будет соединен не с кораблем, а с катером, на котором должен разместиться электрогенератор. Между катером и балластом помещается буй, поддерживающий первые 500 м кабеля.

Бурильная установка имеет трехногую раму и телеуправляемый с

поверхности механизм, который должен работать под давлением  $40 \text{ кг/см}^2$ . Его механическая часть должна раздвигаться в вертикальном направлении на величину около 1 м для того, чтобы приспособляться к неровностям почвы. Для выбранного диаметра бурения нагрузка на алмазный инструмент и скорость его вращения должны обеспечивать в крепких скальных породах наивысшую теоретическую скорость бурения, которая сообщается системой подачи.

Габарит буровой установки не должен превышать 4 м во всех измерениях.

Последовательность подготовительных операций и эксплуатационных работ следующая.

1. Взять буровой станок с палубы и выдвинуть его на кормовой платформе.

2. Спустить его на несколько метров в воду, затем поместить на кабеле балласт, так как его невозможно закрепить раньше, чем место закрепления пройдет через ролики на раме.

3. Спустить затем буровую установку на глубину воды, не достигающую нескольких метров до дна, и остановиться на некоторое время для выполнения подготовительных работ на поверхности, позволяющих быстро перебросить кабель с «Амальтеи» на катер. Хотя бортовой эхолот позволял определять положение буровой установки относительно дна, было решено снабдить ее шаровым датчиком, посылающим сигнал на поверхность по достижении заданной глубины.

К подготовительным работам относятся также закрепление кабеля, еще натянутого на бую, предназначенном поддерживать в воде основную часть кабеля, и приближение катера, чтобы он мог в наилучших условиях принять конец кабеля в ненапрянутом состоянии.

4. Быстро опустить станок на дно и передать кабель на катер, не подвергая его натяжению, убедившись прежде всего в том, что инклинометр не подал сигнала о неправильном положении станка.

5. Запустить электрогенераторную группу и через пульт телеуправления привести в действие буровой станок и установить контроль за его работой.

Прежде чем организовать отбор проб в виде серии полностью автоматизированных действий, надо было разбить их на несколько простых операций, начало и конец которых осуществлялись по сигналу аппарата, а на переход к следующему действию команда давалась с поверхности.

6. В конце рейса поднять оборудование в порядке, обратном спуску: передать кабель на борт «Амальтеи», отвязать буй, смотать кабель, отсоединить балласт и, наконец, извлечь бурильную машину и разместить на платформе.

Правило простоты, примененное к конструкции бурового станка, заключалось в том, что его детали должны выполнять два независимых движения: вращение и подачу.

Электрический двигатель, способный работать в масле, одним концом своего вала приводит в действие буровой станок, а другим нагнетательный насос, работающий на морской воде. Все механизмы заключены в цилиндрический корпус диаметром не более 70 см, кроме выходящей из корпуса через скользящий уплотняющий сальник колонковой трубы с алмазным наконечником. Вращение двигателя в обратную сторону, подобно колесу со свободным ходом, предотвращает работу насоса в противоположную сторону и позволяет извлекать пробу из скважины.

Две компенсаторные мембраны обеспечивают постоянное равновесие между наружным давлением и давлением масла, омывающего механизм и двигатель, и создают небольшое избыточное внутреннее давление.

Два концевых контакта передают на поверхностный пульт управления сигналы о выполнении той или иной фазы отбора проб, а электрическая система внутренней блокировки, расположенная на этом пульте, предотвращает малейшие ошибочные действия.

Цилиндрический корпус, заключающий все механизмы, смонтирован на салазках трехногой конструкции. Система стопоров, управляемых пальцами, расположенными под каждой балкой основания, применена для того, чтобы удерживать корпус на салазках в верхнем положении, пока не произойдет соприкосновения с дном. Этот контакт происходящий в момент, когда тренога становится на дно, освобождает запоры, воздействуя на пальцы. Корпус с механизмами получает возможность скользить до столкновения своим основанием с дном, и алмазный наконечник, предохранявшийся до этого амортизирующей муфтой, охватывающей основание, оказывается в положении, необходимом для начала работы.

Как видно из этого описания, успех спуска бурового станка существенно зависит от благоприятного хода всех фаз спускных операций, до столкновения амортизирующей муфты с дном. Начиная с этого момента работа колонкового алмазного инструмента может протекать благополучно и без помех, по программе, заданной на поверхности.

Расчетное время всех операций следующее:

Расчетное время всех операций следующее;	
Спуск на воду бурильной машины и балласта . . . . .	0 ч 30 мин
Спуск на 400 м и переброска кабеля с борта корабля на катер . . . . .	0 ч 40 мин
Продолжительность отбора керна . . . . .	2 ч 20 мин
Подъем на 400 м и переброска кабеля . . . . .	0 ч 55 мин
Подъем из воды и установка на платформу . . . . .	0 ч 35 мин
Итого . . . . .	5 ч

В действительности эти затраты времени оказались несколько преувеличенными, большинство рейсов ограничивалось четырьмя с половиной часами.

Практически подтвердилось, что удачный результат зависит от успешной установки бурового станка на дно и что все предусмотренные операции не представляют никаких особых трудностей.

Следует избегать работы в плохую погоду. Но когда во время одного из рейсов резко ухудшались поверхностные условия, оборудование и керны были извлечены без значительных затруднений.

Несколько слов об оборудовании.

Усовершенствованные конструкции электрических соединений, лучшее взаимное расположение различных кабелей, улучшенные конструкции быстроразъемных безопасных креплений — все это впоследствии оказалось очень полезным.

Само собою разумеется, что никогда нельзя спускать подводную машину в море без тщательной предварительной проверки на поверхности ее хорошей работоспособности, а также всех ее приспособлений.

Успешные работы, проведенные в Гибралтаре с прототипом описанной машины, указывают на большие возможности развития этой техники.

В настоящее время изготавливаются два станка, один из которых будет бурить на глубину 20 м, другой до 100 м. Их применение должно существенно улучшить колонковое бурение в море и открыть дорогу новым методам бурения.

## ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОТБОРОМ ОБРАЗЦОВ В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРЯ

*В. Романовский*<sup>1</sup>

Проблема изучения природы осадочных отложений, покрывающих дно морей и океанов, и определения характеристик вод, находящихся непосредственно над этим слоем осадочных пород, трудноразрешима. Она представляет новую область науки, которую можно было бы назвать «океанографией дна глубоких морей».

Действительно, судно, занимающееся подобными исследованиями, находится на поверхности моря, т. е. почти все время удалено на несколько километров по вертикали от того места, где нужно взять образцы или сделать измерение. К тому же судно не стоит на месте, а перемещается под действием волн и ветра. Оно не остается неподвижным и во время спуска приборов и, что еще более усложняет дело, продолжает свое движение и в тот момент, когда прибор достигает дна. Если измерение длится некоторое время, то возникает опасность того, что находящееся на дне и погружившееся в породу устройство займет лежащее положение, будет смещено или начнет волочиться. Чтобы уменьшить эту опасность, можно прикрепить верхний конец троса к поплавку, дрейф которого будет меньше дрейфа судна, однако полностью устранить ее невозможно. Для устранения этой опасности надо использовать трос из пластичного материала, но он из-за эластичности непригоден при выполнении некоторых операций, например при отборе керна или регистрации температуры осадочных отложений.

Проблему могло бы разрешить применение автономных аппаратов — батискафов или водолазных «блюдца». Но хотя в настоящее время лишь батискафам доступны абиссальные области, таких аппаратов немного и их использование связано с большими расходами, так как необходимо создание наземных сооружений вблизи места проведения исследования. До сих пор подводные аппараты не давали возможности достаточно точно определить характеристики вод, находящихся непосредственно над отложениями, так как уже самое их присутствие вызывает волнение водной среды. Усилия, таким образом, должны быть, очевидно, направлены на разработку автономных приборов, которые могли бы свободно опускаться на дно и после отбора проб или измерения, освободившись от балласта, подниматься на поверхность. Последнюю операцию можно было бы осуществлять при помощи автономного средства (регулятора выдержки времени, регулятора коррозии магниевого стержня и т. п.) или посредством ультразвуковой системы дистанционного управления. Тем не менее отбор образцов, требующий применения значительного отрывающего усилия, еще долгое время будет связан с использованием судов и стального троса.

Ниже рассматриваются различные методы и приборы и отмечено, в каком направлении в настоящее время может идти их усовершенствование и какие возможности оно открывает.

### УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОТБОРА ПРОБ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Такие устройства существуют с давних пор, и последние достижения в этой области не представляют большой ценности.

В настоящее время океанография больших глубин располагает целым арсеналом устройств, ни одно из которых, однако, не является вполне удовлетворительным. По принципу действия их можно разделить на несколько категорий.

<sup>1</sup> Директор Центра океанографических исследований и разведки, Франция. № 101.

а. Ковши (грейферы) являются довольно старым и наиболее широко распространенным средством. Они основаны на том же принципе, что и классические промышленные ковши. Их спускают на дно в открытом положении, при контакте с дном они закрываются, захватывая некоторое количество частиц породы. Размеры и тип ковшей различны в зависимости от замысла изобретателя и желаний потребителя. Одни из них, трехчелюстные, приводятся в действие пружиной, другие имеют только две челюсти, и их закрытие обеспечивается освобождением обыкновенного стержня в момент контакта с дном. Для более эффективного проникновения в осадочную породу некоторые из них снабжаются заслонками, устанавливаемыми в верхней части и открывающимися вверх. Существуют и очень сложные ковши с запирающим механизмом, срабатывающим в момент натяжения подъемного троса.

При работах на очень больших глубинах все они независимо от типа обладают тремя серьезными недостатками, заключающимися в опасности преждевременного закрытия при спуске в результате перемещения судна, в возможности углового контакта с дном (в том и другом случае отбор проб полностью исключен) и, наконец, в вымывании образца во время длительного подъема, несмотря на все принятые меры для обеспечения герметичности.

б. Драги одинаково успешно применяются и биологами и геологами. Принцип их действия чрезвычайно прост: судно тащит за собой на некотором расстоянии мешок, снабженный в передней части металлическим каркасом с режущими краями в виде ножа. Этот каркас по форме может быть круглым или прямоугольным и иметь различные размеры в зависимости от желания потребителя. Совершенно очевидно, что это устройство очень примитивно, однако оно было единственным средством, позволившим геологам отрывать частицы породы от дна и поднимать их на борт судна.

В некоторых областях, например при отборе образцов пород или в бактериологии, драги почти незаменимы, если почему-либо не применяются совершенно отличные от них технические средства, на которых мы остановимся в дальнейшем.

в. Конусы представляют собой очень простые устройства, которые в основном используются на небольших глубинах. Они бывают двух типов. Конусы первого типа применяются только на малых глубинах, конусы второго типа в крайнем случае могут быть использованы и на больших глубинах. Конус первого типа выполнен из листовой стали, он движется открытой частью вперед и заполняется обломками породы, но если глубина превышает несколько десятков метров, то при подъеме они вымываются. Конус второго типа имеет крышку, которая приподнимается, когда конус вертикально входит в породу, и, опускаясь под действием собственного веса, закрывает конус при подъеме.

г. Пробоотборники с вращающимся цилиндром, по-видимому, лучше всех других современных устройств приспособлены для работы на большой глубине. Они изготавливаются в нескольких вариантах. Наиболее интересный из них был предложен в 1949 г. англичанином Н. А. Холмом. Принцип его действия прост и вместе с тем очень остроумен. Натяжение троса, предшествующее подъему, заставляет цилиндр с горизонтальной осью повернуться на  $180^\circ$ , вызывая тем самым отделение слоя породы толщиной 20 см. В момент подъема вторая половина цилиндра, остающаяся неподвижной, защищает образец от вымывания. Автор усовершенствовал это устройство, заботясь главным образом о герметизации обеих половин цилиндра, и ему удалось получить совершенно нетронутые образцы породы с глубины 5000 м. В новом варианте размеры образца сравнительно невелики — всего  $20 \times 80$  см, но можно создать и устройства большего размера для отбора образца площадью до половины квадратного метра при толщине 50 см.

Масса пробоотборника должна быть рассчитана, очевидно, в соответствии с весом образца, так как он будет весить около полутонны.

Существуют и другие устройства, которые нельзя отнести ни к одной из указанных выше категорий.

Рассмотрим вкратце лишь уловитель, захватывающий небольшое количество частиц породы при движении судна. Он устроен таким образом, что скорость движения судна заставляет его опускаться на дно и в конце своего движения проникать в породу. Частицы породы попадают в трубу, которая после этого закрывается, а автоматическое изменение натяжения троса останавливает спуск устройства, и остается лишь поднять его на поверхность. Такой уловитель никогда не применялся на больших глубинах, и едва ли он может принести значительную пользу при подобных исследованиях

Таким образом, хотя число имеющихся в настоящее время устройств для отбора образцов пород и является значительным, только один из них, основанный на принципе вращения полуцилиндра, дает неразрушенный образец осадочных отложений. Этого, однако, нельзя сказать о воде, находящейся непосредственно над отложениями, тогда как для физических, химических и микробиологических исследований необходимо поднять на борт образец объемом не менее  $1 \text{ м}^3$ , включающий нетронутую породу и воду с ее первоначальной стратификацией. Трудно представить себе возможность разрешения этой проблемы одними только механическими средствами. Необходимо, очевидно, рассмотреть возможность применения способа сверхбыстрого замораживания, что позволило бы поднять на борт ледяную глыбу, состоящую из породы и лежащего над ней слоя воды.

Что касается отбора образцов пород, то современная драга является вполне приемлемым средством, и проблема заключается лишь в применении взрывчатых веществ для разрушения породы. Отделенные таким образом от дна или вертикальной поверхности обломки породы можно было бы собрать в установленные на дне сети.

Наши представления о характере морского дна, особенно скалистого, еще очень примитивны. Иначе и быть не может при тех средствах разведки, которыми мы располагаем. Подобные геологические исследования можно сравнить с исследованиями, которые могли бы осуществлять воздухоплаватели на свободном аэростате, забрасывающие на поверхность Земли драги или ковши и стремящиеся затем на основании полученных таким способом данных составить геологическую карту земной поверхности.

### КОЛОНКОВЫЕ ТРУБЫ

Для проникновения внутрь осадочного отложения или скальной породы необходимо использовать колонковые трубы.

а. Колонковые трубы для отбора керна в осадочных отложениях предназначены для рыхлого грунта. Первые, очень несложные образцы представляли собой трубы, в верхней части которых находился балласт, а в нижней — устройство для удержания породы с клапаном наверху, также предназначенным для предотвращения выпадения керна при подъеме. Первые модели, применявшиеся в конце прошлого века во время памятной кампании «Челленджер», просто спускались на дно на конце стального троса. Впоследствии принцип их действия был усовершенствован. Над колонковой трубой помещалось сбрасывающее устройство, вызывавшее свободное падение колонковой трубы с высоты нескольких метров над дном. Щуп, подвешенный к сбрасывающему устройству, освобождал колонковую трубу, застрахованную при помощи троса, намотанного вокруг ее верхней части. То же самое устройство применяется в настоящее время на современных колонковых тру-

бах. Наиболее широкое распространение получили колонковые трубы, основанные на принципе действия силы тяжести, конструкции Эмери, Дайбетца, Шепарда и Стетсена.

Предметом особого внимания изобретателей явились устройства, препятствующие выпадению образца из нижней части трубы при подъеме. Их можно разделить на четыре категории: наружные зажимы, перегородки, по принципу своего действия напоминающие черпак, зубья и скручивающиеся перегородки.

Наружные зажимы расположены в верхней части трубы на наружной поверхности; в момент натяжения троса они освобождаются, соскальзывают по трубе вниз и, достигнув ее нижнего конца, смыкаются и перекрывают отверстие.

Принцип действия устройства, напоминающего черпак, состоит в перекрытии нижней части трубы при помощи пластины, которая входит во внутреннюю перегородку трубы при заполнении колонковой трубы керном и затем снова опускается, закрывая отверстие в момент подъема.

Зубья, выполняемые из упругого металла или пластичного материала, как только керн вошел в трубу, смыкаются и не дают частицам породы выпасть из нее.

Скручивающаяся перегородка была недавно предложена Делозом и Кермабомом. Она представляет собой рукав из прочного холста, помещаемый внутри колонковой трубы. Рукав в момент натяжения троса и под действием вращательного движения закрывает нижний конец трубы подобно резиновому кисету для табака. Это средство, по-видимому, наиболее эффективно.

В течение многих лет океанавты использовали колонковые трубы, основанные на принципе действия силы тяжести, усовершенствуя их; в ряде случаев они находят применение и в настоящее время.

Прежде чем перейти к рассмотрению колонковых труб, конструкция которых основана на новых принципах, небесполезно упомянуть об устройстве, недавно созданном Баума и Маршаллом в Киле. Оно позволяет получать керн прямоугольной формы с основанием  $20 \times 30$  см и длиной 45 см. Керн оказывается совершенно нетронутым, так как нож, приводимый в действие в момент натяжения троса, перекрывает нижнее отверстие колонковой трубы, разрезая породу на этом уровне. Пользуясь этим устройством, можно также получать ориентированные образцы, необходимые для исследований в области палеомагнетизма.

Попытка применить новую технику была предпринята в 1941 г. Петерсоном и Кулленбергом, которые создали и испытали колонковую трубу, проникновению керна в которую способствовало устройство камеры с давлением, равным атмосферному; в момент контакта колонковой трубы с дном давление приводило в движение поршень. Изобретателям удалось получить 9-метровые образцы с глубины 240 м. Таким образом, впервые длина керна превысила 2 м, что было характерно для колонковых труб, основанных на принципе действия силы тяжести. Но это устройство было слишком грубым и портило керн. Его также нельзя было использовать на больших глубинах вследствие огромной разности давлений и необходимости создания таких труб, которые могли бы выдержать высокое давление.

В равной степени, хотя и по другой причине, пришлось отказаться от вакуумных колонковых труб. Шесть лет спустя, в 1947 г., Кулленберг опубликовал описание знаменитой поршневой колонковой трубы, которая в наши дни в нескольких вариантах используется всеми океанавтами.

Принцип действия новой колонковой трубы заключается в следующем. Поршень удерживается на расстоянии нескольких сантимет-

ров от дна, в то время как труба погружается в отложения. Положение поршня фиксируется при помощи троса, непосредственно связывающего его с судном. Проникновению керна в трубу способствует положение поршня, так как силы трения компенсируются разностью давления вследствие неподвижности поршня. Подобный эффект достигается посредством сбрасывающего устройства, которое освобождает колонковую трубу, когда поршень оказывается вблизи дна; лебедка в момент освобождения трубы останавливается, а труба продолжает опускаться и входит в отложения.

Во время кампании «Скагеррак» в Средиземном море и кругосветного путешествия «Альбатроса» Г. Петерсон и его команда получили настолько крупные образцы, что длина некоторых из них достигала 19 м. Современный инструмент был, наконец, создан.

Отбор керна облегчала помещенная внутри колонковой трубы труба из пластика, которая также предназначалась для сохранения керна.

В течение 18 лет океанографы всего мира успешно применяли поршневые колонковые трубы, и в наши дни в лабораториях крупных океанографических институтов еще хранятся тысячи образцов, так как лишь немногие из них были подвергнуты всестороннему анализу.

Однако теперь океанография движется вперед семимильными шагами, и образцы длиной 20 м, полученные при помощи поршневой колонковой трубы, уже больше не удовлетворяют исследователей. С другой стороны, предел возможностей инструментов, основанных на этом принципе, очевидно, уже достигнут. Следовательно, надо искать нечто другое, используя новые технические средства и особенно принципиально новые решения.

По-видимому, существует три возможности разрешения проблемы: вибрация, разность давления и взрыв.

Используя вибрацию в сочетании с действием поршня, очевидно, можно будет получить образцы длиной 50 м. Необходимо изучить период колебаний, поскольку а priori нельзя утверждать, что он будет одинаков независимо от вида отложения. Количество затрачиваемой энергии, безусловно, будет различно в зависимости от того, идет ли речь о песке или об иле. В иле погружение вибрационной колонковой трубы должно быть превосходным, так как ил, обладающий свойством тиксотропии, будет иметь тенденцию разжижаться под действием вибрации. Тем не менее исследования должны показать, не вызывает ли вибрация нарушения отложений, образующих керна. Чтобы результат полностью оправдывал затраченные средства, необходимо будет, видимо, получать керн большого диаметра; впрочем, для 50-метровых труб трудно представить себе диаметр, составляющий всего 60—80 см, характерный для классических поршневых колонковых труб. Такие колонковые трубы будут очень тяжелыми, и их применение будет возможно лишь при наличии крупных океанографических судов, поскольку кроме длинной трубы эти инструменты должны быть снабжены генератором, вырабатывающим необходимую для создания колебаний энергию. Убедительные результаты в этой области, по-видимому, еще не получены.

Использование разности между атмосферным давлением и давлением на глубине, где должен быть произведен отбор керна, может оказаться весьма рациональным, даже если этот метод обладает единственным преимуществом, заключающимся в отсутствии необходимости подачи энергии от внешнего источника. До сих пор все попытки заканчивались неудачей, так как оказывалось невозможным обуздать ту огромную энергию, с которой приходится иметь дело исследователю, энергию, величина которой зависит от глубины отбора керна. Целост-

ность колонок керн неизбежно нарушалась вследствие слишком быстрого проникновения отложений в колонковую трубу. И все-таки недавно Кермабон из исследовательского центра Секлент в Ла Специа достиг обнадеживающих результатов. Он создал экспериментальную колонковую трубу длиной всего 2 м, действующую следующим образом. Когда электронный щуп касается дна, происходит небольшой силы взрыв, в результате которого поршень проникает в камеру с атмосферным давлением. В силу противодействия, поскольку лебедка остановлена и удерживающий трос натянут, труба делает мощный рывок вниз и подобно метательному снаряду погружается в отложения: керн оказывается заключенным в трубе. Совершенно очевидно, что этот принцип отличается от принципа, который был использован Кулленбергом в 1941 г. Прежде чем оценить пригодность этой новой колонковой трубы для отбора керн на большой глубине, следует дождаться новых данных о результатах ее испытания. Этот метод заслуживает того, чтобы стать объектом дальнейших исследований.

Преимущество использования взрывчатого вещества состоит в возможности располагать вдали от поверхности значительной энергией в малом объеме. Первое опытное применение этого метода было осуществлено в 1936 г. американцем Пиготом, который создал настоящую подводную пушку, о чем будет сказано в разделе, посвященном колонковым трубам для отбора керн в скальных породах. Вторая попытка, датированная 1964 г., была предпринята норвежцами Андерсеном и Штоллом совместно с американцем Ричардсом. Они сконструировали колонковую трубу, пробивную силу которой обеспечивали газы, образующиеся в результате взрыва ракеты. Глубина проникновения трубы в грунт составила 9,70 м; исследователи надеются достичь глубины 20 м. По-видимому, за колонковыми трубами, основанными на этом принципе, следует признать определенное будущее и возможно, что при использовании этого метода глубина проникновения превысит 100 м.

Для получения керн длиной до 500 м нужно будет, вероятно, обратиться к методам, связанным с бурением по проекту Мохол, и рассмотреть возможности бурения скважин при помощи вращающейся колонковой трубы, используя для этого либо специальное судно, либо автономные подводные буровые установки.

б. Колонковые трубы для отбора керн в скальных породах не отличаются таким многообразием, как трубы, которые применяются для отбора керн в рыхлых осадочных отложениях. Первая такая труба была сконструирована Пиготом и использована им для отбора целой серии колонок керн вдоль одного из меридианов в Атлантическом океане. Глубина проникновения составляла в крепких породах около 1 м. При соприкосновении конца колонковой трубы с дном происходил взрыв, заставивший трубу углубиться в породу; обратному движению вверх препятствовал большой горизонтальный диск, а сопротивление воды служило таким образом опорой. Несколько образцов устройств этого типа было создано во Франции обществом Шлюмберже, но использовались они очень мало.

Сосьетэ Сеган предложило новую колонковую трубу для отбора керн в скальных породах, которая была испытана в Гибралтарском проливе и показала очень хорошие результаты.

Французский институт нефти также провел испытания подобного устройства.

Существует еще небольшая колонковая труба длиной 1 м, созданная Сосьетэ де Марсей для малых глубин.

Однако проблема создания подводных колонковых труб для отбора керн в скальных породах еще полностью не разрешена.

## НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ТОЛЩЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

До настоящего времени в слое осадочных пород проводилось очень мало непосредственных измерений, и только два из них заслуживают внимания.

а. Измерение температурного градиента представляет чрезвычайно большой интерес, так как позволяет определить тепловой поток, создаваемый пластом осадочных пород и влияющий на лежащий выше слой воды. Некоторые океанографы: Джерард (США), Булард (Великобритания), Лида и Хора (Япония), Сысоев (Советский Союз) и другие изготовили штанги, снабженные термосопротивлениями и имеющие в верхней части регистрирующее устройство. Полученные ими градиенты вновь ставят под сомнение все наши представления о притоке тепла к дну океана. Автор настоящей статьи использовал поршневую колонковую трубу длиной 10 м, снабженную термисторами, изменения электрического сопротивления которых записывались герметизированным прибором, установленным в верхней части трубы. Первые результаты были получены в 1964 г. в Гасконском заливе.

Усовершенствование этих методов не представляет значительных трудностей, так как любую колонковую трубу, за исключением, может быть, тех, которые слишком резко погружаются в отложения, можно снабдить термосопротивлениями, а техника записи в наше время находится на высоте. Чем больше будет длина колонковых труб, тем совершеннее будут наши представления о тепловом потоке.

б. Первые опыты с использованием прессиометра Менара были предприняты с борта батискафа «Архимед», но современная техника требует непосредственного наблюдения. Выполнить это условие при помощи автономного прибора без присоединения прессиометра к подводной камере невозможно. Такая попытка будет предпринята в ближайшие годы.

В Средиземном море автор применил конический пенетромтр — твердомер, но полученные результаты имеют лишь опытное значение (для сравнения различного характера дна) и не представляют большой научной ценности.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД, НАХОДЯЩИХСЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО НАД ДНОМ

Для изучения явлений, происходящих на поверхности контакта вода—дно, необходимо знать, с одной стороны, скорость и направление движения вод, контактирующих с дном, и, с другой, — характеристики этих вод на протяжении нескольких десятков метров от поверхности дна.

а. Воды, контактирующие с дном, обычно подвержены настолько незначительному движению, что его совершенно невозможно определить при помощи приборов, спущенных с судна, так как вследствие своего собственного движения оно вызывало бы волнение водной среды и искажало результаты. Необходимо таким образом применять автономные приборы, установленные на дне и заключенные в соответствующие рамки или в герметизированные оболочки. Для определения течений, скорость которых превышает 2 см/сек, применялись измерительные приборы или регистрирующие устройства, которые можно поместить внутри опоры, установленной на дне. Таким способом удалось измерить скорость течений на расстоянии от 30 см до нескольких метров над поверхностью контакта. Но если желательно приблизиться к этой поверхности или если скорость течения менее 2 см/сек, необходимо обратиться к новым техническим средствам, так как вертушки, маятники и крыльчатки являются слишком объемистыми и не отличаются высокой чувствительностью. Можно использовать фотографический ме-

тод, заключающийся в получении через равные промежутки времени снимков перемещения пятна красящего вещества, но это даст возможность выявить скорее турбулентность течения, чем его скорость. Преимущество применения нагреваемых термосопротивлений заключается в точном и мгновенном измерении даже при самых незначительных перемещениях частиц жидкости, но и этим способом можно обнаружить лишь турбулентность. Можно использовать и другие методы, например радиоактивные изотопы. И все же до сих пор нет ни одного средства, которое помогло бы определить скорость и направление очень слабых потоков на поверхности контакта.

б. На расстоянии нескольких метров от дна вода отличается очень своеобразными характеристиками, и для некоторых из них, например для содержания в воде растворенного кислорода, вертикальный градиент очень высок. Эта особенность представляет значительный интерес с точки зрения биологии, а также коррозии металлических предметов, установленных на дне или частично погруженных в ил на больших глубинах. Устройства для отбора проб воды по тем же самым причинам, что и измерители скорости течения, не могут быть подвешены к судну. Необходимо, следовательно, спускать большие рамы с укрепленными на них бутылками для отбора проб, но опускать бутылки открытыми нельзя, так как если турбулентность вблизи дна отсутствует или очень незначительна, то водообмена в бутылках не произойдет, и полученная проба будет представлять собой неопределенную смесь воды различных слоев. Значит, нужно располагать приборами, устроенными таким образом, чтобы они могли вызывать принудительную циркуляцию и обмен между водой, остающейся в бутылках, и водой, действительно находящейся на глубине отбора проб. Проблема эта очень сложна. Автор пришел к довольно упрощенному ее разрешению механическим способом, но он вызывает значительное волнение водной среды и поэтому должен быть усовершенствован.

Если бы можно было использовать метод мгновенного замораживания кубического метра осадочных отложений и лежащего сверху слоя воды, то проблема была бы разрешена, однако от подобного решения мы еще далеки, о чем уже говорилось выше.

Может быть, потребуется получить большой объем смешанной (в силу необходимости) морской воды, находящейся между поверхностью контакта и определенным уровнем от дна. Эта проблема представляется разрешимой, если использовать большие пластмассовые мешки, открывающиеся подобно японскому фонарю. По-видимому, таким способом можно будет поднять на поверхность несколько кубометров воды. Для сбора твердых частиц (мертвого и живого планктона и частиц неорганических веществ), находящихся на незначительном расстоянии от дна, можно применить погружные насосы, дополнив их фильтрами и счетчиками. Подобные устройства уже существуют.

Имеется немало различных устройств, которыми пользуются океанографы для изучения осадочных отложений и вышележащего слоя воды на большой глубине, но одни из них, созданные очень давно, устарели, в то время как другие, более современные, несут в себе черты тех приборов, которыми мы будем располагать через несколько лет.

Изучение поверхности контакта глубоких морей, т. е. стометрового слоя осадочных отложений и лежащего над ним стометрового слоя воды, имеет очень важное значение, так как оно должно расширить круг наших знаний о способах обмена между дном и толщами океанских вод не только в настоящее время, но и в прошлом, в различные геологические эпохи.

# ПЕРИОДИЧЕСКИЙ И СЛУЧАЙНЫЙ ПЕРЕНОС ПЕСКА В СЕВЕРНОМ МОРЕ

А. Х. Страйд<sup>1</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

Знание того, что происходит на дне Северного моря, важно как для практических, так и для теоретических целей. Для практических нужд в большинстве случаев желательно, чтобы дно было ровным и стабильным. Ежегодно затрачиваются значительные средства на очистку дна, изучение, а местами повторные исследования миграции донных наносов судоходных каналов. Подверженность дна значительным размывам или наносам может привести к провисанию и даже разрыву кабелей и трубопроводов. Для исследователей, интересующихся процессами эрозии, переноса и накопления осадков, а также природой их формирования, южная часть Северного моря может служить как бы большой и хорошей моделью, так как о движении воды здесь многое известно. Если бы осадки могли быть сопоставлены с осадками геологического прошлого, то это дало бы возможность сделать более точные выводы о положении с осадконакоплением.

Предварительные исследования рыхлых отложений на континентальных шельфах показали, что следовало бы найти аналоги для многих типов мелководных осадков геологического прошлого. Многие неясности при исследованиях объяснялись плохим качеством опробования. Лишь в течение последних 10 лет достаточно достоверно установлено, что древние осадки были распространены на площадях, занимавших менее половины существующих континентальных шельфов, и были очень неоднородны. Кроме того, практически трудно установить различие между древними осадками, отлагавшимися при определенных условиях, и осадками, отлагающимися при современных условиях. Не исключена также возможность спутать древние осадки с современными, когда и те и другие являются результатами сходных условий, но для наших целей необходимо рассмотреть лишь первую трудность. В этой статье дается сводка того, что известно о современных осадках южной части Северного моря. Хотя эти данные в известной степени обобщены, они имеют большую ценность, чем множество детальных исследований отложений, которые не могут быть с полной уверенностью датированы как современные. В плейстоценовой истории района мощное оледенение обусловило пересеченный рельеф и пестроту передвигаемого материала. Последующая история района, по крайней мере в южной и западной частях, представляет интенсивную переработку более древних отложений для передвижения и переотложения. Изобилие рыхлого материала, силы потоков, детально изученных, дают возможность понять кое-что в процессах седиментации и таким образом отличить современные осадки сравнительно достоверно.

## ПУТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ОСАДКОВ

Лучшим местом изучения современных осадков является конец пути, вдоль которого передвигается материал. Обычно сила потока достаточна, чтобы четко проявились два признака наличия донного переноса по большой площади шельфа. Первым признаком являются гряды песка около 3 км длиной, около сотни метров шириной и высотой до 1 м, которые сочленяются друг с другом и располагаются вдоль пути

<sup>1</sup> № 111.

передвижения. Вторым признаком являются песчаные волны (подводные дюны, поперечная рябь и большие поперечные гряды), состоящие в основном из песка, располагающиеся обычно на расстоянии около 270 м друг от друга при высоте приблизительно 4,5 м, со сравнительно крутым уклоном в направлении переноса. Песчаные гряды и волны имеют постоянную ориентацию по отношению друг к другу и к направлению наиболее сильных приливо-отливных течений. Направление передвижения песчаных волн совпадает с направлением приливо-отливных течений. На рис. 1 показана карта донного передвижения осадков в районах северо-запада Европы.

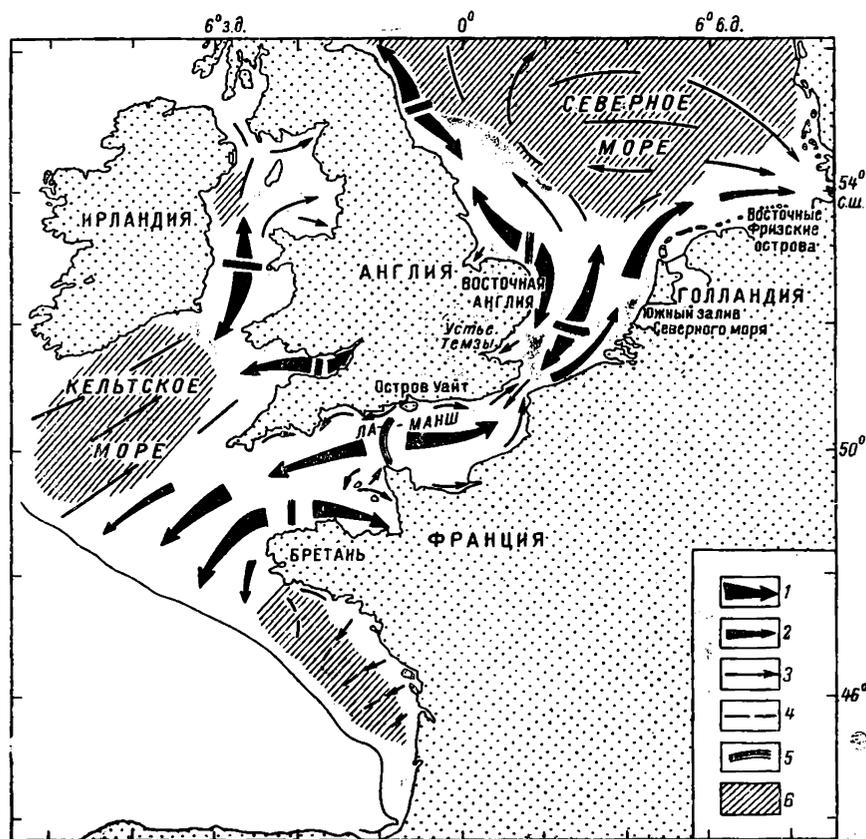


Рис. 1. Пути переноса донных осадков на северо-западе Европы.

1 — направление основных путей донного переноса; 2 — направление второстепенных путей донного переноса; 3 — направление путей местного донного переноса; 4 — пути движения осадков; 5 — разветвление потока увлекаемого материала; 6 — площади ограниченного донного переноса.

В этих более или менее закрытых (эпиконтинентальных) морях придонной формы переноса не ожидается по двум причинам. Во-первых, увлекаемый материал движется большей частью параллельно берегу, так что некоторые осадочные структуры, например косослоистые, должны залегать под прямым углом к большей части побережья. Во-вторых, такое направление переноса не выдерживается для всего моря. В одном районе оно может определяться приливным течением, а в другом — отливным. Траектория пути переноса может быть охарактеризована как разветвление путей движения увлекаемого материала. Она в какой-то мере похожа на разветвление водных потоков на суше, но здесь нет уклона, который бы обеспечивал движение материала только в одном направлении.

Эти разветвления найдены на ограниченных территориях в средних частях моря (например, в Южном заливе Северного моря), попадают в сужения (например, между островами Уайт и Котентин) или могут быть ограничены до небольших участков вблизи одного из берегов (например, север Бретани). На этих разветвлениях встречается и грубый материал, хотя в основном увлекаемый материал эрозионного происхождения. На большинстве разветвлений количество подвижных осадков ограниченное. Их положение в большей мере определяется размерами и формой моря, чем приуроченностью к местам впадения рек.

Очевидно, что в противоположность эпиконтинентальным морям на внутренней части Атлантического шельфа Франции приливо-отливные течения должны были бы передвигать материал от берега. Это явствует из рассмотрения подобного переноса на банке Джорджа (северо-восточная часть США), но не совсем ясно, типична ли такая форма переноса для некоторых других континентальных побережий.

### ГОЛОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Отложения значительной мощности известны в конечных пунктах путей переноса в Ирландском, Кельтском и Северном морях. По результатам замеров известно также, что пески мощностью около 6 м покрывают большие площади внешней части шельфа к западу от Бретани. Так как у этих осадков отмечается достаточное соответствие между размерами частиц и скоростями приливо-отливных течений, можно считать, что они являются современными, даже если они разрознены и обнаруживаются лишь локально в наиболее глубоких частях континентального шельфа. Можно предположить, что если приток осадков идет непрерывно, то распределение гравия, песка и ила в открытой части шельфа будет иметь такой характер, как показано на рис. 2. Так, будут выделяться небольшие площади распространения гравия, связанные с сильными течениями, более крупные площади песка и очень большая область илов. Это — простая картина, к которой нас приводит изучение морских осадочных пород прошлого. Однако следует помнить, что в эпиконтинентальных морях наклон слоистости в косослоистых песках направлен под прямым углом к границам раздела по сортировке материала.

Намечаются три основных типа осадков, причем каждый обособлен географически. Наиболее важным представляется случай, когда слои ила и песка находятся на большой площади открытого моря (рис. 3). Пески хорошо отсортированы, крупность их зерна уменьшается в направлении переноса. Их структура рассматривается ниже.

В заливах отложения песков имеют форму мелей, вытянутых почти параллельно наиболее сильным приливо-отливным течениям. Например, в устье Темзы имеется шесть групп мелей, разделенных между собой плоскими участками дна шириной до 8 км. Мели могут быть до 40 км в длину, 6,5 км в ширину и подниматься к уровню моря с глубины около 24 м; склоны их пологие, а углы наклона колеблются от менее чем 1° до величины, несколько большей 4°.

О внутренней структуре мелей известно мало, хотя вероятно, что некоторые мели имеют косое напластование, параллельное одной стороне, например банка Смита, и небольшой угол наклона слоев вдоль мели, где имеются песчаные волны, передвигающиеся вдоль нее. Дополнительно к этим структурам должны, очевидно, существовать небольшие каналы около 1,6 км шириной, которые прорезают мели на всю ширину и высоту со следами их заполнения и миграции. Напластование, связанное с каналами, является точно таким же, как у мелей вообще, хотя и повернуто почти под прямым углом. Эдинбургский ка-

нал может служить лучшим примером такого явления в устье Темзы. В сторону берега от мелей найдены илистые осадки. Песчаные мели подобных размеров (некоторые из них можно считать однородными и залегающими на более древних осадках) отмечаются и в более открытых водах примыкающего Южного залива Северного моря, но еще

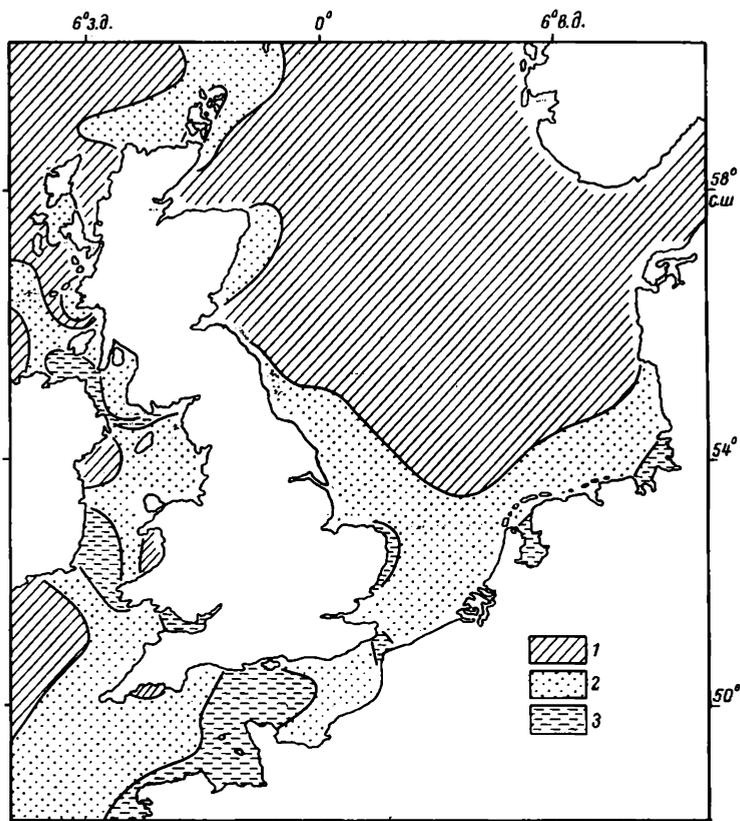


Рис. 2. Предполагаемое размещение голоценовых отложений с различной крупностью частиц для морей северо-запада Европы.  
1 — ил; 2 — песок; 3 — гравий.

не известно, представляют ли они собой постоянные песчаные образования. Такие образования, особенно вблизи восточной части Англии, встречаются у выступов побережья, где происходит разветвление увлекаемого по дну материала; о некоторых из них известно, что они движутся. В соответствии с этим можно полагать, что они будут существовать до тех пор, пока не прекратится пополняющий их убыль приток материала с соседних побережий (которые, как известно, подвержены значительной эрозии), если они представляют собой остаточные отложения или связаны с ледниковыми отложениями.

Осадки третьего типа найдены в приливо-отливной полосе, представляющей собой комплекс приливо-отливных каналов и островов, типичный для выступа голландского побережья. Здесь пески, прослой ракушняка, илы, лигниты и диагностические текстуры найдены в прибрежной зоне шириной около 80 км с максимальной мощностью около 21 м. В верхней части они более молодые, что объясняется поднятием уровня моря в раннее послеледниковое время. На обращенной к морю стороне Восточных Фризских островов косое напластование представляет обычное явление и имеет следы как приливногo, так и отливногo

переноса параллельно и диагонально побережью, в то время как перенос под прямыми углами отмечается между островами.

Современные пески богаты кварцем, но поскольку основные реки Западной Европы выносят только тонкий материал, следует ожидать, что в дальнейшем в морских осадках будет постепенно увеличиваться содержание карбонатного обломочного материала, так как приток ма-

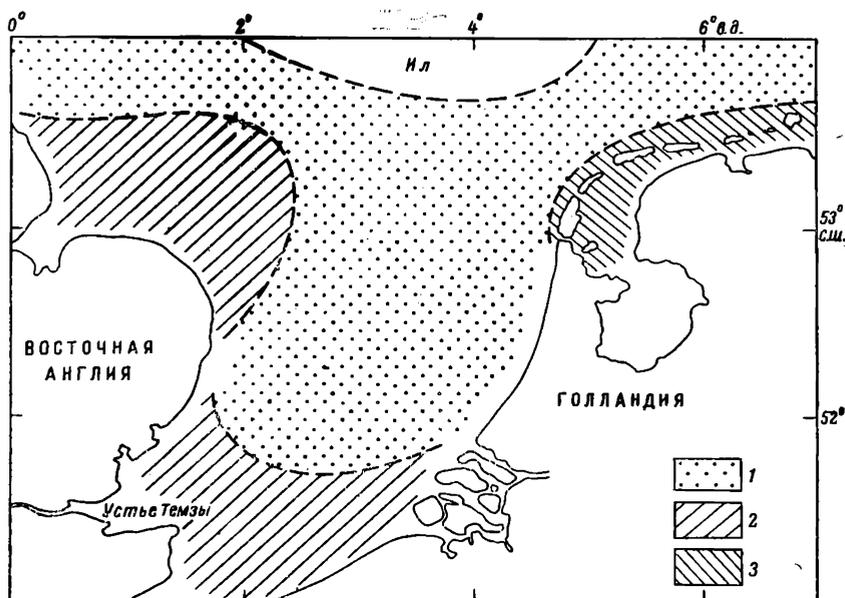


Рис. 3. Примерное распределение трех основных фаций в южной части Северного моря.  
1 — слоистые пески; 2 — прямолинейные песчаные мели; 3 — преграждающие острова, приливо-отливная полоса и каналы.

териала древних отложений истощается. Ракушняки будут богаты кораллами вдоль северо-западного побережья Франции и фораминиферами в западной части Кельтского моря. Возможно, что в Ла Манше известковистые пески станут широко распространеными отложениями раньше, чем в Северном море. Далее, интенсивная береговая эрозия рыхлых четвертичных отложений в Холдернесе и восточной части Англии должна обеспечить принос кварцевых песков даже после их осадения в Южном заливе Северного моря.

### РЕГУЛЯРНЫЙ И СЛУЧАЙНЫЙ ПЕРЕНОС ПЕСКОВ

Недавние наблюдения позволили установить причины передвижения песка, а также количество переносимого материала. В настоящей статье основное внимание будет уделено предварительной оценке данных для двух потоков песка в южной половине Северного моря, направленных на север. Первый из них расположен у голландского побережья и отличается значительным избытком песка, в то время как второй находится вблизи западного побережья Северного моря — между восточной частью Англии и окрестностями мыса Флембаре и характеризуется сравнительно небольшим количеством песка для переноса.

Объем материала, переносимого от голландского побережья, можно определить наблюдением за скоростью передвижения к северу песчаных волн известных размеров. Они движутся медленно и мало

изменяются за значительный промежуток времени под влиянием приливо-отливных течений, так что могут дать представление об общей величине переноса. К сожалению, таких данных для всего Северного моря еще нет, хотя средняя скорость передвижения около 1,5 см в сутки, определенная водолазами за период в 64 дня в Ирландском море, может быть вполне реальной. Несколько меньшие скорости, основанные на экстраполяции наблюдений, проведенных в дельте р. Луары, предполагаются для песчаных волн у голландского побережья. Однако эта оценка не учитывает сравнительно большой подверженности дна южной части Северного моря действию штормовых волн, поэтому можно ожидать намного большую скорость передвижения. Было определено, что в одном случае даже без участия этих сил песчаные гряды высотой около 3 м в Ирландском море передвигались на 1,2 м за один приливо-отливный цикл.

Трудность определения объема переносимого материала состоит еще в том, что смежные гряды очень различны по высоте, и можно предполагать, что мелкие гряды будут передвигаться быстрее, чем большие, так как они несут меньшее количество материала. Однако такое же допущение может быть сделано и для более высоких песчаных волн, достигающих участков быстро движущейся воды, в то время как они также оказывают экранирующее действие на менее высокие волны, находящиеся между ними.

Дальнейшая информация о количестве передвигающегося материала может быть получена путем изучения поперечного профиля песчаных волн в голландской части Северного моря. На северной части пути переноса они имеют четко выраженную асимметрию, указывающую на перенос только в северном направлении. К югу изменение симметрии профиля отмечается на разветвлении потоков увлекаемого материала, расположенном на широте около 52°. Промежуточные профили показывают, что хотя отмечается преобладающее направление переноса, идущие на юг течения способны возратить часть этого материала к местам, откуда он перенесен. Это явление обуславливает колебания гребней, как это наблюдалось водолазами в Ирландском море.

Северная граница распространения песчаных волн в основном четкая, с хорошо сформированными волнами, движущимися по почти плоскому дну.

Успешное эхолотирование, проведенное вкрест границы, показало, что эта граница передвигается в соответствии с изменениями силы течений, хотя все детали еще не выяснены.

В полосе шириной около 100 км, протягивающейся от Норфолка до мыса Флембаре, приливо-отливные течения, по-видимому, достаточно сильны для возможности образования песчаных волн. Однако песчаные образования представляют собой изолированные ряды, вытянутые вдоль пути переноса на расстояние около 16 км и разделенные друг от друга промежутками в 3—8 км. Учитывая вероятную скорость миграции, можно полагать, что эти ряды могут передвигаться к северу со скоростью около 1,6 км в 30 лет. Таким образом, они достигнут места отложения таких песков примерно через 50—450 лет. Считают, что в восточном направлении отлагается преимущественно материал, принесенный с прибрежных мелей и даже со смежного побережья Норфолк. Удаленные песчаные волны, по-видимому, слагаются из более тонкого материала и поэтому могут быть перенесены с мелей, лежащих дальше от берега, или из Южного залива Северного моря. Размер рядов песчаных волн и, следовательно, объем песка, по-видимому, указывает на действием случайных штормов и, возможно, связан со штормовыми волнами исключительной силы.

Пока еще нет опубликованной сводки относительно песчаных отложений вблизи голландского побережья, тем не менее сто́ит попытаться сделать выводы об их структуре на основании сведений о способах передвижения песка.

В области осаждения песчаные волны движутся к северу, к ровному дну. Как известно, асимметрия профиля песчаной волны указывает на то, что эти структуры передвигаются вперед путем разрушения пологого склона. Таким образом, можно предположить, что косая слоистость в открытом море образуется так же, как это наблюдается в каналах или на мелких участках в дельтах. Множество песчаных волн, направленных к концу пути переноса на существующем дне моря, и косослоистые морские пески геологического прошлого позволяют допустить наличие генетической связи между ними. Изучение таких косослоистых пород дало возможность определить механизм захоронения осадков. Теоретически считается, что каждый прослой в косом напластовании представляет собой часть материала отдельной песчаной волны, а ряд песчаных волн создает вертикальную последовательность напластования, так как ряд передвигается вперед. Таким образом, можно заключить, что хотя прослой лежат один под другим, поверхности напластования не одновременны по возрасту — более молодые располагаются в направлении переноса материала. По наблюдениям за возникновением и разрушением песчаных волн в 730-километровой полосе Северного моря возможен и другой вариант напластования, зависящий от изменений силы течения и характеризующийся косослоистыми отложениями более молодого возраста в вертикальном разрезе. Этот механизм уже описан, но следует несколько его детализировать. Песчаные волны, образовавшиеся при критических условиях или при сизигийных приливах, частично разрушаются более слабыми течениями, как это можно наблюдать в малых масштабах в дельтах рек, которые не имеют больше устойчивой донной формы. Разрушение песчаных волн здесь или в открытом море происходит неполно из-за меньшей силы течений при квадратурных приливах и только приводит к сглаживанию гребней и заполнению углублений (предположительно) осадками с горизонтальной или рябой слоистостью. Во время следующих сизигийных приливов будет принесено большее количество осадков и вновь образуются песчаные волны, но если эти течения не сильнее течений предыдущего периода сизигийных приливов, они не в состоянии ассимилировать полностью прежние осадки. В соответствии с этим можно предположить, что в районе быстрого осаждения каждый период сизигийных приливов будет представлен прослоем косо́го напластования и каждый период квадратурных приливов будет отмечен эрозионной поверхностью со следами горизонтального напластования. Возможно, что на практике будут несколько иные результаты, потому что размеры песчаных волн, глубина среза во время сизигийных приливов и величина сглаживания во время квадратурных приливов изменятся как во времени, так и в пространстве. Результатом этого процесса будет пространственный комплекс косослоистых линз со случайными пропластками песков горизонтальной или рябой слоистости, более молодых вверх по разрезу. Вероятно, линзы будут иметь наибольшие размеры вдоль простира́ния косо́го напластования (поскольку длина гребней песчаных волн примерно в 5 раз больше ширины волны) и их мощность будет значительно менее 4 м — максимальной наблюдавшейся высоты в этой зоне. Однако вероятно, что косое напластование, вызванное критическими движениями воды, может быть определено как обычный случай. Это явление может иметь

место дальше по пути переноса, чем комплекс косослоистых линз, описанных выше, и косое напластование может быть сохранено между горизонтально-слоистыми песками той же крупности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее широко распространенные позднеголоценовые морские отложения южной половины Северного моря встречаются в виде прослоев ила и песков. Последние присутствуют вблизи берега, хорошо отсортированы, могут уменьшаться по крупности зерна в направлении переноса и, вероятно, частично косослоистые. Направление переноса песков определяется в основном приливо-отливными течениями. Количество переносимого материала, вероятно, наибольшее во время сизигийных приливов и штормов. Соответствующие изменения в рельефе морского дна, по-видимому, поддаются оценке.

---

## ГЕОЛОГИЯ МОРСКИХ ПЛОЩАДЕЙ АБУ ДАБИ

*С. Элдер, К. Ф. С. Гривес<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Территория разработок морских площадей Абу Даби охватывает 30 000 км<sup>2</sup> и располагается вдоль берега в юго-восточной части Аравийского залива.

С марта 1953 г. в этом районе проводились интенсивные исследования, в результате которых было открыто нефтяное месторождение Умм Шейф, дающее в настоящее время нефти 5 млн. т/год, и перспективное нефтяное месторождение Закум, находящееся в ранней стадии предварительной разведки и оконтуривания. На третьей структуре — Эль Бандак, выявленной сейсмической разведкой, так же как Умм Шейф и Закум, в первой же пробуренной скважине получены интересные данные. Месторождение Умм Шейф расположено в 35,2 км восточнее небольшого острова Дас, где сосредоточено все управление работами; площадь Закум находится в 89,6 км к восток-юго-востоку от о. Дас, а Эль Бандак — в 27,2 км к запад-юго-западу от острова. Закум отстоит на 115,2 км к восток-юго-востоку от Эль Бандака (рис. 1).

На месторождении Умм Шейф нефть обнаружена в трех зонах (рис. 2): 1) в свите Тамама в нижнем мелу, 2) в свите Араб Дарб в нижнем мелу, 3) в свите Эрей в юре. В Закуме нефть содержится в свите Тамама, а в Эль Бандаке эта толща известняков оказалась обводненной и признаки нефти обнаружены лишь в свите Араб Дарб.

Бурение ведется главным образом в нефтеносных пластах мелового и юрского возраста и поэтому стратиграфия отложений изучена не глубже формации Изхара в юре.

---

<sup>1</sup> № 127.

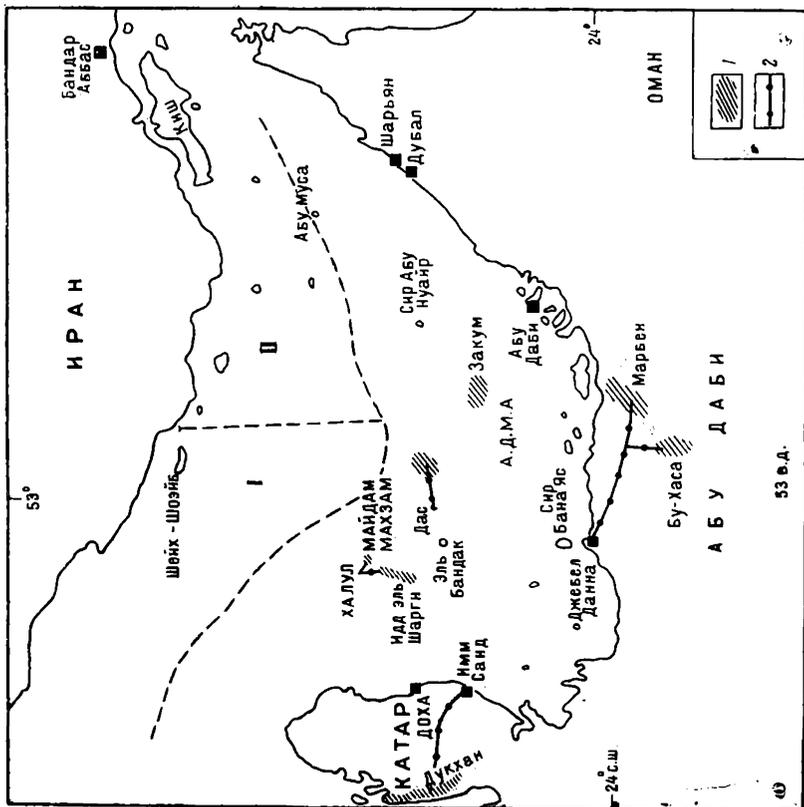


Рис. 1. Карта расположения месторождений на площадях Дбу Даби.

I — район I; II — район II.

1 — нефтяные месторождения; 2 — нефтепроводы.

Средняя мощность, м	Возраст отложений	Формация
290	Современный миоцен (олигоцен занимает в восточной части)	нижний фарс
743	Средний — верхний эоцен	Даммам
104	Нижний — средний эоцен	Рус
473	Палеоцен — нижний эоцен	Ум Эр Радхума
107	Верхний мел	Арума
84	Средний мел	Вазия
92		
29		
296	Средний мел	Вазия
122	Нижний мел	Тамма
625		
92	Юра	Хис
351		Араб Дарб и Дийаб
229	Юра	Арэ
30		Израи

Рис. 2. Стратиграфический разрез структуры на площади Умм-Шейф территории АДМА.

1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — ангидриты; 4 — глинистые сланцы; 5 — мергели.

## СТРАТИГРАФИЯ

### Четвертные отложения

Исследование морского дна, проведенное водолазами-аквалангистами организации КАЛИПСО, показало, что на дне моря не обнажаются породы древнее плейстоценового возраста. Современные отложения рыхлых известковых и кварцевых песков, илов, ракушечных и фораминиферовых неуплотненных песков, ракушечников и коралловых известняков (обнаруженных только в одном месте) залегают в небольших эрозионных впадинках на почти ненарушенной поверхности плейстоценовых известняков. Породы плейстоценового возраста, изученные не только по обнажениям, но и по данным из скважин, представлены очень крепкими пористыми известняками, состоящими из обломков раковин с небольшим количеством массивных известняков, и маломощными пропластками известковистых глин.

Отличить современные отложения от плейстоценовых в буровых скважинах очень трудно, так как на ранней стадии бурения было отобрано недостаточно образцов керна и определить достоверно мощности можно только для всей толщи четвертичных пород, залегающих под уровнем морского дна; мощности колеблются от 21,7 м в скважинах, пробуренных в своде структуры Умм Шейф, и 42,7 м на крыльях этой структуры до 55,5 м в скважине № 1 структуры Закум.

На площади Умм Шейф мощности четвертичных пород увеличиваются от свода к крыльям во всех направлениях, причем увеличение мощности к югу достигает 100%.

### Миоценовые отложения

Породы миоценового возраста имеют значительные мощности на всех трех разбуренных структурах. На площади Умм Шейф они представлены ангидритами, доломитами, известняками и мергелями мощностью от 275 до 297 м, залегающими между отложениями четвертичного возраста и известняково-доломитовой толщей, относимой к эоцену. И нижняя и верхняя границы залегают несогласно. Литология пород хорошо сопоставляется с Нижним Фарсом Ирана и других районов Среднего Востока и поэтому это название принимается и для указанной формации.

Отношение толщи ангидритов к известняково-доломитовой толще в разных частях формации неодинаково. На Умм Шейфе, например, в нижней и верхней частях Нижнего Фарса преобладают известняки, а в средней части мощная толща доломитов с подчиненными маломощными прослоями известняков. Известняки нижней зоны обычно опесчанены и пиритизированы, а на площади Закум включают фауну Бурдигальской формы *Taberina malabarica*.

На месторождении Умм Шейф мощность пород Нижнего Фарса обычно увеличивается от свода к крыльям, осложненным небольшим нарушением в северной части площади (рис. 3). То, что на Эль Бандаке мощность отложений Нижнего Фарса меньше на 198 м, чем на Умм Шейфе, где в свою очередь мощность меньше, чем в Закуме на 366 м, является убедительным доказательством регионального увеличения мощности с запада на восток.

### Олигоценые отложения

В Закуме олигоценые отложения представлены 30-метровой толщей илистых, ракушечных и доломитизированных известняков, в которых установлены ниже-среднеолигоценые формы *Nummulites fichteli*. На Умм Шейфе и Эль Бандаке олигоценые отложения отсутствуют.

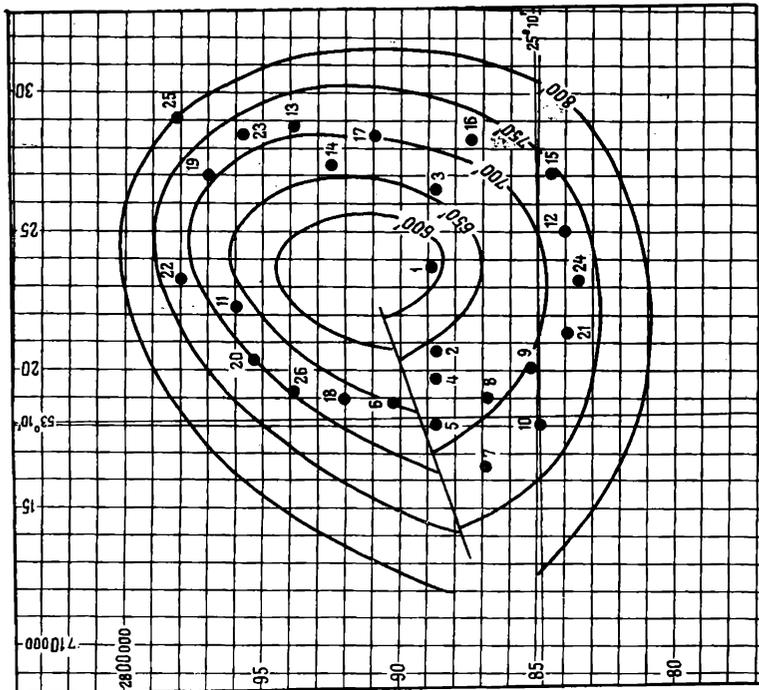


Рис. 4. Карта изопакит структуры Умм Шейф по кровле формации Даммам. Изопакиты проведены через 15,25 м.

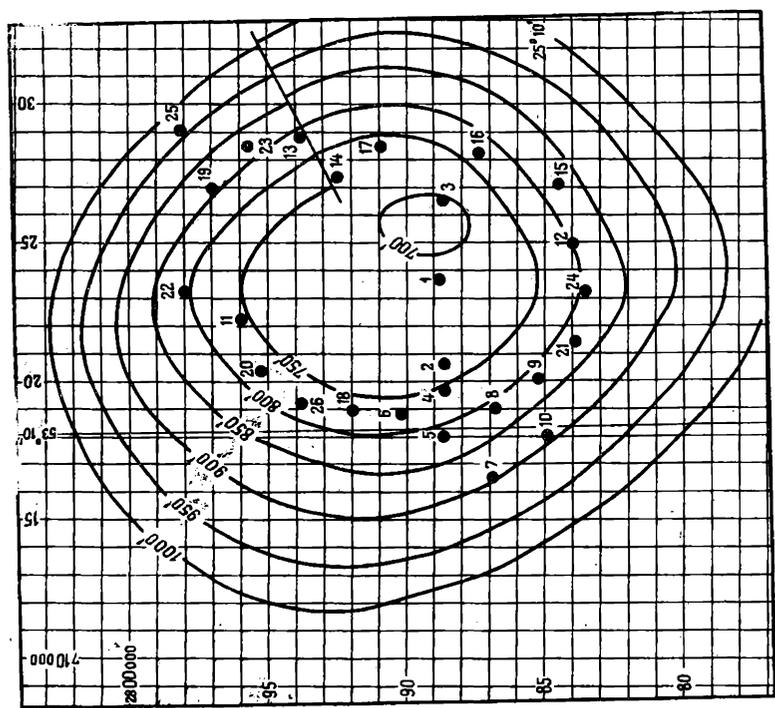


Рис. 3. Карта изопакит структуры Умм Шейф по кровле отложений нижнего Фарса. Изопакиты проведены через 15,25 м.

## Эоцен-палеоценовые отложения

Эоцен-палеоценовые отложения встречаются во всех скважинах и структурах, разбуренных на достаточную глубину. Мощности изменяются от минимальной в 710 м на Умм Шейфе до 885,0 м в Закуме с промежуточной между ними в Эль Бандаке. Для эоцен-палеоценовых отложений нет точного разграничения в мощностях. Отложения могут быть довольно четко разделены на три литологические толщи в соответствии с принятой практикой в странах юго-запада Аравийского залива от юга Ирака до побережья Трасиел.

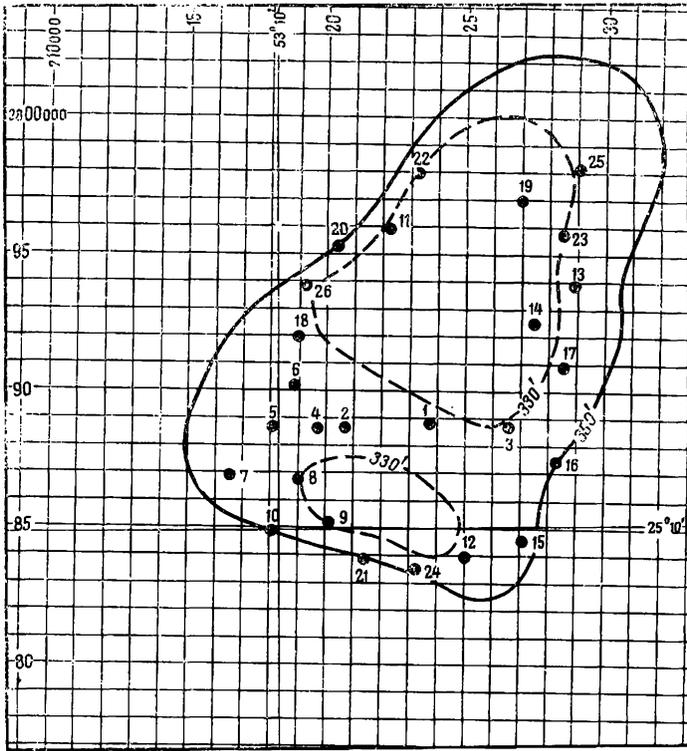


Рис. 5. Карта изобат структуры Умм Шейф по кровле формации Рус.  
Изабаты проведены через 15,25 м; промежуточные изобаты показаны пунктирной линией.

Самая верхняя толща (рис. 4) состоит из известняков и доломитов с редкими маломощными прослоями мергелей. Средневерхнеэоценовый возраст отложений устанавливается как по фауне, представленной формами *Nummulites subdiscorbinus*, *N. laevigatus*, *N. hormoensis*, *N. lamarcki*, *Assilina pulchra*, *Dictyoconus aegyptiaca*, *Linderina buranensis*, *Alveolina oblonga*, *Dictyoconoides cooki*, так и по литологическому сопоставлению со свитой Даммам в Аравии.

Средняя толща состоит из ангидритов и маломощных подчиненных прослоев доломитов и доломитизированных известняков, местами илистых. Карбонатные пласты не содержат фауны, и эта формация рассматривается как переходная между нижним и средним эоценом. Эта толща по стратиграфическому положению почти точно соответствует формации Рус на континенте.

На Умм Шейфе мощности отличаются постоянством, и в 26 пробуренных скважинах максимальный предел колебаний составляет от

98 до 110 м (рис. 5). Минимальные мощности в Закуме и Эль Бандаке не намного меньше 95 м.

*Нижняя толща* включает известняки, кое-где ангидритовые или аргиллитовые, доломиты и редкие маломощные прослои мергелей; мощность толщи колеблется от 436 до 512,5 м на Умм Шейфе. В скважинах, пробуренных в сводах структур Закум и Эль Бандак, мощности этих отложений немного меньше максимального значения их на Умм Шейфе, но региональные данные о мощностях еще не по-

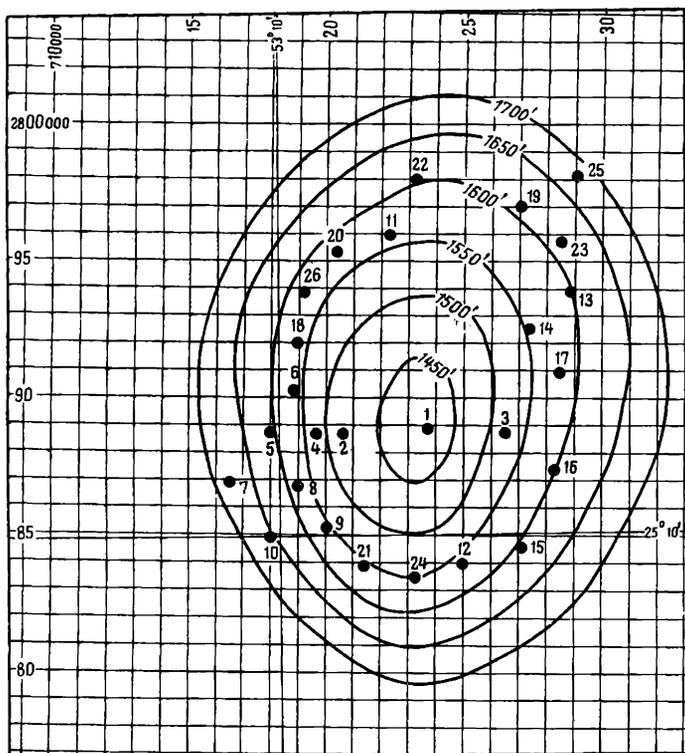


Рис. 6. Карта изобахит структуры Умм Шейф по кровле формации Радхума. Изобахиты проведены через 15,25 м.

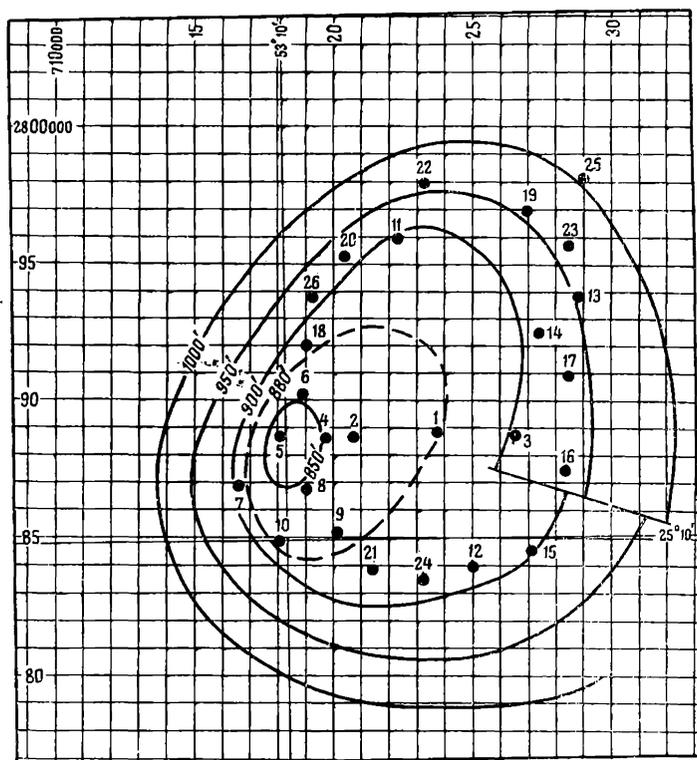
лучены. На Умм Шейфе, однако, имеются хорошо выраженные единичные доказательства постепенного увеличения мощностей от свода к периферийным частям структуры (рис. 6). Фауна представлена формами *Lockhartia hunti*, *L. haemei*, *L. prehaemei*, *L. tipperi*, *L. pustolosa*, *Sakesaria dukhani* var. *cordata*, *S. cotteri*, *Operculinoides thalicus*, *Lepidorbitoides socialis*, *Nummulites lamarcki*, *Coskinolina* sp., *Daviesina* sp., *Alveolina* sp. Пласты датируются как нижний эоцен-палеоцен и хорошо сопоставляются со свитой Умм эр Радхума на континенте.

### МЕЛОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Меловые отложения мощностью до 1830 м вскрыты на всех трех структурах, разбуренных в АДМА. Деление меловых отложений на три отдела: верхний (маастрихт—сенон), средний (турон—альб) и нижний (апт—неоком), установленное на основе литологической характеристики пород, принимается и для меловых отложений АДМА, хотя для этого здесь нет достаточных оснований.

## Верхнемеловые отложения

Верхнемеловые отложения представлены известняками, доломитами, мергелями, содержащими большое количество разнообразной фауны, которая включает формы *Globotruncana stuartiformis*, *G. tricarinata*, *G. cf. lamellosa*, *G. linneiam bulloides*, *G. ackermanni*, *G. bollii*, *G. fornicata*, *Lepidorbitoides socialis*, *Trinitella cf. scotti*, *T. Beldini subornata*, *Heterohelix atriatra*, *Rugoblobigerina adinaria*, *Anomalinoidea* sp., *Nodosaria* sp., *Lima (Promantellum) spp.* Такое обилие фауны позволило успешно сопоставлять эту толщу с формацией Арума на континенте.



**Рис. 7.** Карта изопакит структуры Умм Шейф по кровле формации Арума.  
Изопакиты проведены через 15,25 м; промежуточные изопакиты показаны пунктирной линией.

На площади Умм Шейф, где мощность верхнемеловых отложений колеблется от 256 до 305 м (рис. 7), по литологической характеристике пласты подразделяются на три зоны: верхняя зона (около 106,7 м мощности) известняков, аргиллитов и местами илов; средняя зона (84 м) илистых мергелей с подчиненными прослоями известняков и нижняя зона (91,5 м) доломитов. Такое трехчленное подразделение формации Арума может быть принято и для Закума и Бандака, но мощности для них весьма различны.

В Закуме вся формация Арума имеет мощность около 457,5 м, из которых средняя мергелевая зона составляет около 183 м и нижняя— около 91,5 м. В Эль Бандаке полная мощность достигает всего лишь 213,5 м, а мощность нижней зоны— не более 23 м. Несмотря на то, что по всем имеющимся признакам наблюдается региональное увеличение мощностей свиты Арума с запада на восток, точных значений

мощностей и величины их колебаний дать нельзя, потому что граница между эоцен-палеоценом и мелом еще точно не установлена из-за недостатка руководящих форм ископаемой фауны вблизи этой границы.

### Среднемеловые отложения

Верхняя часть среднемеловых отложений состоит из характерных серых и бурых глинистых сланцев, содержащих *Cythereis* spp., *Cythereella* spp., *Thalmaninella* cf. *reicheli*, *Laevinarinea requieni*. Мощность глинистых сланцев, относимых к суронскому ярусу, сильно колеблется: от 15—33,5 м в Умм Шейфе до 85,4 м в Закуме и 63 м в Эль Бандаке.

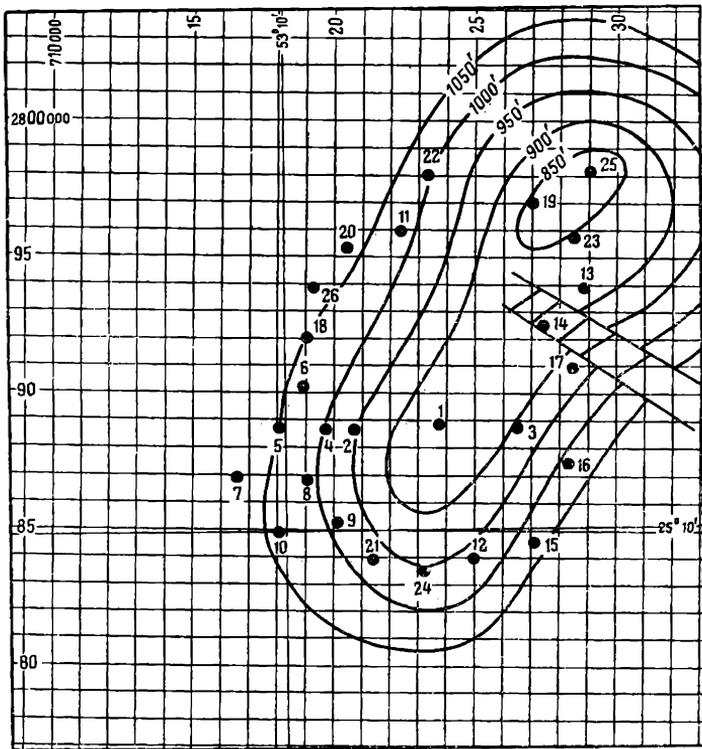


Рис. 8. Карта изопахит структуры Умм Шейф по кровле известняков группы Вазия. Изопахиты проведены через 15,25 м.

Серые и бурые глинистые сланцы на Умм Шейфе подстилаются светлыми и темными известняками, иногда битуминозными или аргиллистыми, мощностью от 259 до 332,5 м. Граница между ними имеет стратиграфическое несогласие, что связано с крупным перерывом в осадконакоплении.

Фауна известняков включает такие формы, как *Hedbergina washitensis*, *H. seminolensis*, *H. planispira*, *Bolivinopsis* sp., *Terebratulina lata*, *Exogyra conica*, *Plicatula* sp. В Закуме эта толща известняков не превышает по мощности 183 м, а в Эль Бандаке мощность ее достигает уже 396,5 м. На карте изопахит месторождения Умм Шейф хорошо видно, что зона минимальных мощностей смещается к северной части структуры по сравнению с вышележащими отложениями (рис. 8).

Под известняками залегают серые, зеленые и бурые бутиминовые неизвестковистые и известковистые сланцы с редкими песчаными линзами и тонкими пропластками известняка. По фауне можно отнести эти пласты к сеноманскому ярусу. Она представлена *Haplophragmoides* sp., *Litueola* sp., *Cythereis* sp., *Cytherella* sp., *Macrocypris* sp., *Protocythere* sp., *Pycnodonte vesicularis*, *Isurus mantelli*, «*Cardita*» *forgemoli*, *Orbitolina concava*, *O. discoidea*, *Spathiceras*, *Nucula sorianoi*, *Modiolus reversus*. Мощности варьируют от 106 до 140 м на Умм Шейф-

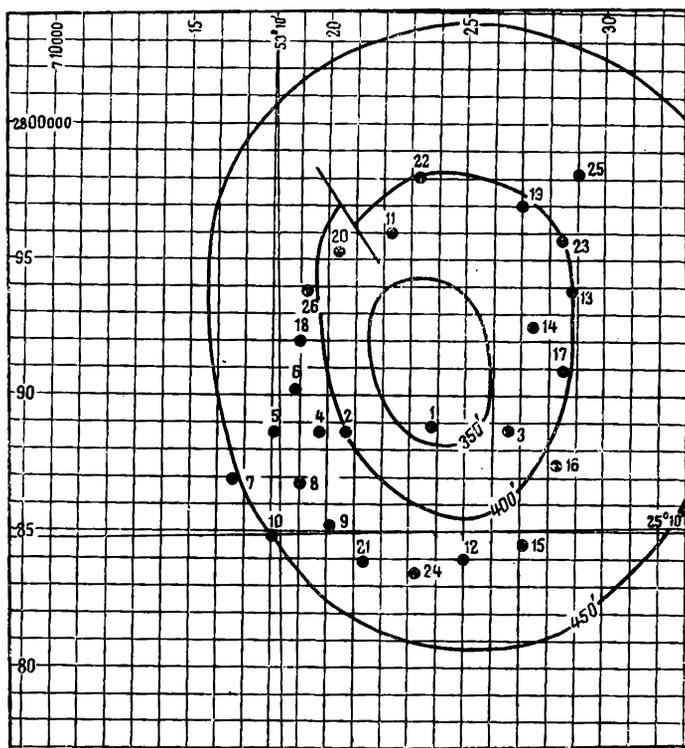


Рис. 9. Карта изопахит структуры Умм Шейф по кровле Нахр Умр (группа Вазия).  
Изопахиты проведены через 15,25 м.

фе; наблюдается увеличение мощностей к крыльям (рис. 9). В Закуме мощности меняются от 127 до 135 м и в Эль Бандаке максимальная мощность сланцев достигает 156,8 м.

Зоны сланцев в верхней и нижней частях среднего мела в АДМА и заключенная между ними толща известняков известны под общим названием «группа Вазия» по аналогии с отложениями на континенте.

Региональное увеличение мощностей группы Вазия отмечается с востока на запад; в более молодых формациях наблюдается обратное направление; мощность группы в Эль Бандаке 603 м, в Умм Шейфе 424 м и 342 м в Закуме.

### Нижнемеловые отложения

Отложения нижнего мела представлены серыми и бурыми известняками (химического происхождения, чистые или аргиллитистые, детритовые или сформированные из обломков раковин и т. д.) и доломитами с подчиненными прослоями глинистых сланцев и ангидритов;

распространены также маломощные зоны известняков, содержащих конкреции кремнистых сланцев. Стратиграфия этих отложений, имеющих мощность 1037—1098 м, достаточно полно описана Ф. Т. Бэннером и Г. В. Вудом, которые к тому же провели сопоставление ее со стратиграфией ряда окружающих площадей.

В АДМА нижнемеловые отложения можно подразделить на три зоны: верхняя — известняков с подчиненными прослоями доломитов, средняя — ангидритов и доломитов и нижняя — доломитов и известняков.

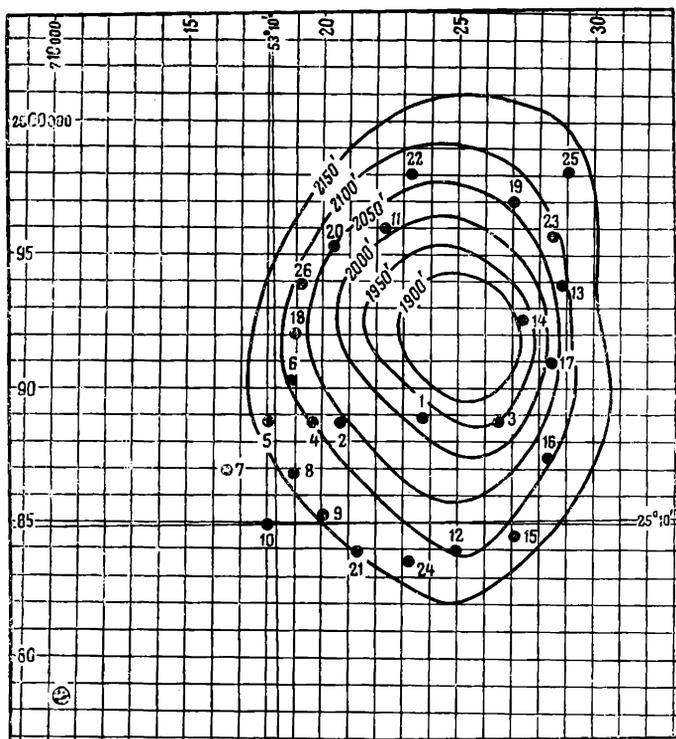


Рис. 10. Карта изобахт структуры Умм Шейф по кровле формации Тамама.  
Изобахты проведены через 15,25 м.

Верхняя зона мощностью от 580 до 670 м очень хорошо сопоставляется по литологии и фауне со свитой Тамама на континенте и, следовательно, ей может быть присвоено то же название. Средняя зона мощностью от 82 до 104 м на Умм Шейфе, вероятно, соответствует широко известной формации Хис, но нижележащие нижнемеловые известняки и доломиты в окружающих районах не обнаружены.

Свита Тамама аналогична формациям среднего мела на Умм Шейфе, где ее мощность постепенно возрастает от свода к крыльям во все стороны (рис. 10); небольшой сброс в северной части структуры немного усложняет картину.

Мощность нижнемеловых отложений на Эль Бандаке — около 1037 м, на Умм Шейфе 1055—1125,5 м и в Закуме 1159 м. Такое распределение указывает на региональное увеличение мощностей в пределах АДМА с запада на восток, т. е. обратно направлению изменения мощностей группы Вазия, но согласуется с вышележащими отложениями. Мощности увеличиваются главным образом в пластах основания свиты Тамама и непосредственно подстилающей формации Хис.

Разрез нижнемеловых отложений по литологическим свойствам довольно однообразен на всей территории концессии, но на западе в формации Хис преобладают ангидриты с подчиненными прослоями доломитов, тогда как на востоке отмечается преобладание доломитов с подчиненными прослоями ангидритов, и ничто не препятствует вертикальной миграции нефти.

## ЮРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Юрские отложения встречаются на каждой структуре, разбуренной в АДМА, но нет ни одной скважины, которая бы целиком вскрыла весь разрез отложений этого возраста. В Закуме разрез юры вскрыт на 288,2 м, в Эль Бандаке на 236,4 м и Умм Шейфе на 244 м.

Бэннер и Вуд довольно детально описали стратиграфию юрских отложений на Умм Шейфе. Это описание можно охарактеризовать следующим образом. Юрские породы подразделяются на три части: верхняя представлена кристаллическими известняками с подчиненными прослоями микрокристаллических известняков, частично доломитизированными, переполненными ископаемыми организмами. Они залегают на частично биокластических, пористых, в основном «чистых» микрокристаллических известняках, которые в свою очередь перекрывают пелитоморфные кристаллические известняки и плотные, иногда доломитизированные микрокристаллические известняки. Это описание и литологическое подразделение относятся и к юрским отложениям в Эль Бандаке и Закуме.

Юрский разрез хорошо сопоставляется по фауне и литологии с разрезом скважин в Духане, где верхнеюрские отложения известны под названием свиты Эрей, и, следовательно, можно применить это название и к верхнеюрским отложениям на территории АДМА.

Одна скважина в Умм Шейфе, одна в Эль Бандаке и одна в Закуме, пройдя свиту Эрей, описанную выше, вошли в пелитоморфные фораминиферовые известняки, переслаивающиеся с подчиненными прослоями глинистых сланцев, которым по сопоставлению с разрезом Духана было дано название Изхара. В Закуме эти пласты вскрыты на 68,3 м, в Эль Бандаке почти на 27,5 м и в Умм Шейфе на 33,5 м.

Верхнеюрская формация Эрей вскрыта небольшим количеством скважин, поэтому четкая картина регионального изменения мощностей не выяснена, но можно предполагать, что мощность формации увеличивается с запада на восток от 236,4 м в Эль Бандаке до 274,5 м в Закуме.

## СТРОЕНИЕ

### Общее описание

Из трех антиклиналей, на которых проводится разведочное бурение в АДМА, только одна, Умм Шейф, разбурена в достаточной степени. Наши знания о двух остальных структурах — Эль Бандак и Закум — базируются в основном на сейсмических данных и той небольшой дополнительной информации, которая получена из нескольких скважин, пробуренных на них.

Площадь Умм Шейф, как она изображена в изолиниях подошвы формации Хис (рис. 11), представляет собой овальную структуру субмеридионального простиранья; максимальный уклон в 6° отмечается на восточном крыле, т. е. складка слегка асимметрична вкрест простиранью. На северном крыле имеется нарушение, вероятно сброс, которое прослеживается лишь в некоторых формациях.

Три скважины, пробуренные на структуре Закум, и сейсмические

данные показывают, что складка протягивается в широтном направлении, а не в меридиональном, как Умм Шейф. Но структура Эль Бандак сходна с Умм Шейф по простирианию (свв—ююз), хотя по сейсмическим данным представляет собой широкую складку продолговатой формы со сводом, смещенным в северном направлении. И Закум и Эль Бандак, как показывают имеющиеся данные, представляют собой простые, спокойные структуры, не имеющие крутых углов наклона и не осложненные крупными нарушениями.

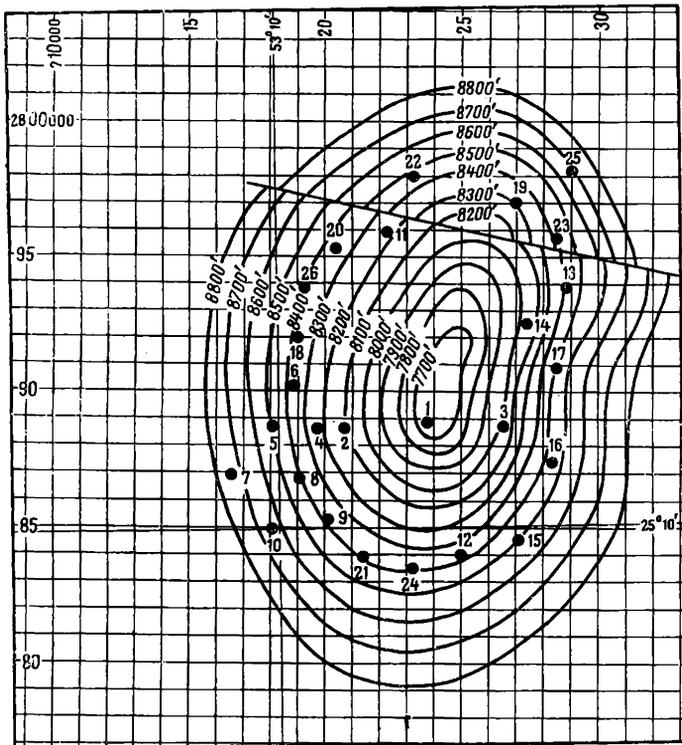


Рис. 11. Карта изопакит структуры Умм Шейф по подошве формации Хис.  
Изопакиты проведены через 15,25 м.

В результате бурения получены весьма ценные данные о строении структур и стратиграфии послеюрских формаций в АДМА. Одним из наиболее специфических стратиграфических признаков является сходство литологического состава во всех трех разбуренных складках. По всему разрезу формации, определенные литологически (и фаунистически) в Умм Шейфе, легко и четко могут быть узнаны по одной лишь литологии в любой скважине на двух остальных структурах. Это литологическое постоянство кажется еще более интересным и достойным внимания, если принять во внимание, что площадь Закум отстоит от Эль Бандака на 115 км.

Другим достойным внимания фактом является общая тенденция увеличения мощностей с запада на восток миоценовых, верхне- и нижнемеловых отложений (пластов), отмеченная выше.

Все эти явления указывают на то, что в истории развития территории, начиная с юрского времени, наблюдалось общее устойчивое погружение и осадконакопление. На рис. 12 и 13 показано на примере Умм Шейфа, что существовали, однако, периоды, когда погружение и осадконакопление были более интенсивны, и периоды, когда терри-

тория оказывалась приподнятой над уровнем моря, — например, периоды среднего мела и эоцена.

Увеличение мощностей определенных формаций в направлении с запада на восток указывает на то, что для большего периода геологической истории, когда наблюдалось активное осадконакопление, ось

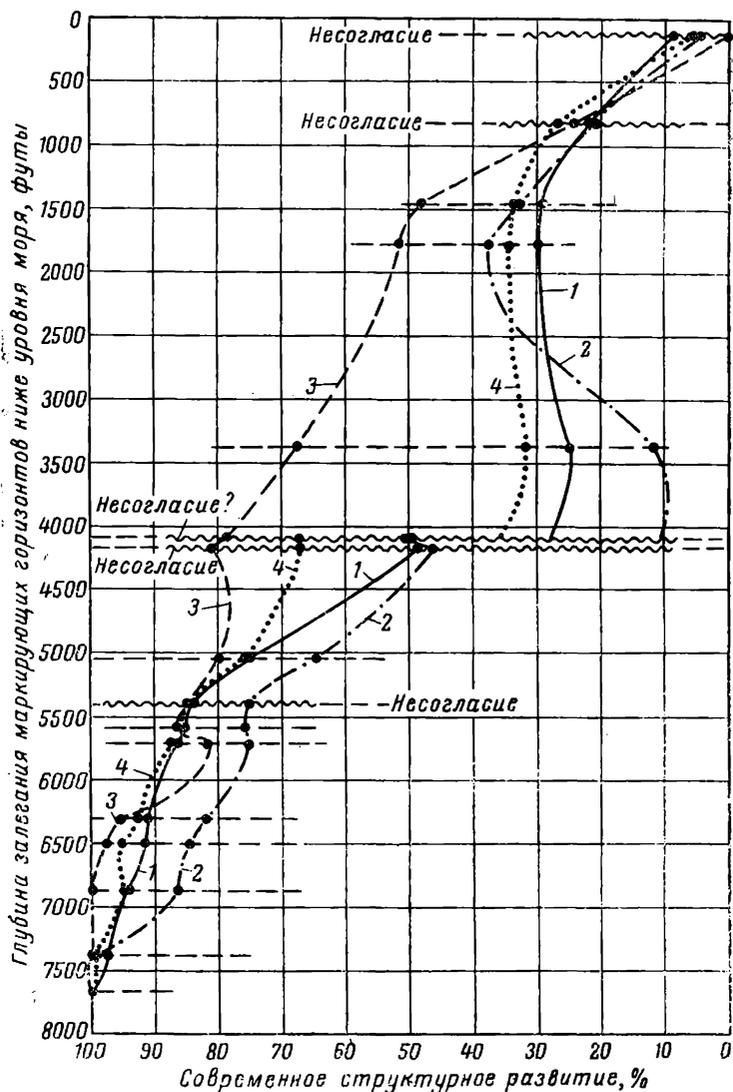


Рис. 12. Развитие структуры Умм Шейф в направлении северо-запад, юго-запад, северо-восток и юго-восток в зависимости от глубин залегания маркирующих горизонтов.

1 — кривая северо-западного квадранта; 2 — кривая юго-восточного квадранта; 3 — кривая северо-восточного квадранта; 4 — кривая юго-западного квадранта; ---- маркирующие горизонты.

бассейна осадконакопления проходила в восточной части изученной территории. Несомненно, положение оси на востоке в течение периода нижнего и верхнего мела сохранялось и для олигоцен-миоценового времени, что доказывается наличием олигоценовых отложений в Закуме и отсутствием их в Умм Шейфе и Эль Бандаке, а также изменением мощностей других формаций, описанных выше.

Обратное направление общего увеличения мощностей, которое отмечается для отложений группы Вазия, может быть вызвано вре-

менным усилением тектонической деятельности в районе Омана на востоке.

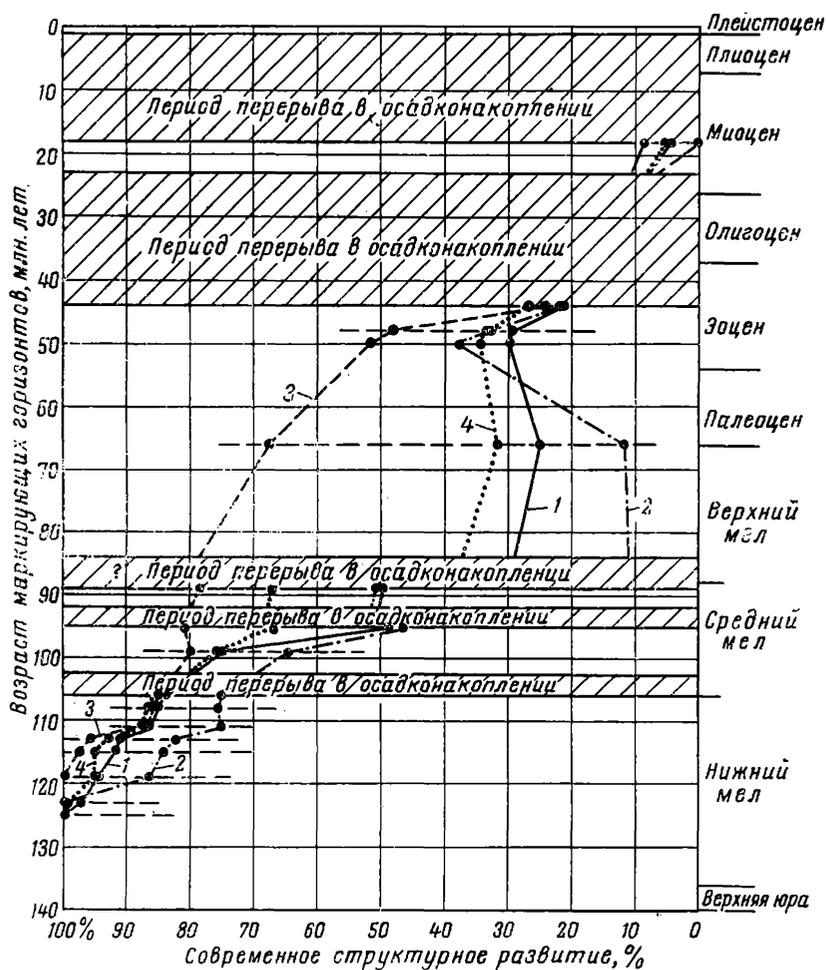


Рис. 13. Развитие структуры Умм Шейф во времени в направлении северо-запад, юго-запад, северо-восток и юго-восток. В верхней части: 1 — возраст структурных маркующих горизонтов в млн. лет; 2 — величина современного структурного развития; 3 — период перерыва в осадконакоплении. В нижней части: 1 — кривая северо-западного квадранта; 2 — кривая юго-восточного квадранта; 3 — кривая северо-восточного квадранта; 4 — кривая юго-западного квадранта; ---- маркующие горизонты.

Детальное изучение развития структуры Умм Шейф показывает, что периоды покоя чередовались с периодами интенсивного складкообразования.

### РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Как было отмечено ранее, лишь одно месторождение в АДМА, а именно Умм Шейф, было полностью разработано. Второе месторождение, Закум, находится в ранней стадии предварительной разведки и оконтуривания.

На Умм Шейфе первая скважина была заложена по сейсмическим рекомендациям в своде структуры. Была доказана нефтеносность свиты Тамама и газоносность пластов, подстилающих свиту Хис. Скважина 2, расположенная на западном погружении структуры, служила для оценки запасов нефти в свите Тамама. Скважина 3, пробуренная

на восточном крыле, обнаружила газ и нефть в свите Араб Дарб и выявила нижележащий непроницаемый слой, отделяющий этот резервуар от формации Эрей, в котором здесь получены газ и нефть, возможно из отдельных коллекторов. Скважина 4 показала, что скопления углеводородов в свите Араб Дарб имеют промышленную ценность, но существование двух коллекторов в свите Эрей не подтвердилось.

На этой стадии разбуривания структуры стало очевидным, что в свите Араб Дарб сформировались крупные и наиболее важные скопления нефти, и разработку месторождения необходимо направить исключительно на добычу нефти из этой формации.

Вследствие того что сводовая часть складки в свите Араб Дарб занята довольно крупной газовой шапкой, последующие скважины располагались вокруг месторождения по кольцу, ширина которого определялась оптимальным положением скважин для вскрытия свиты Араб Дарб относительно контакта газа и воды.

Породы-коллектора свиты Араб Дарб на Умм Шейфе довольно единообразны по литологии на протяжении всего месторождения. Они состоят из известняков и доломитов; пористые слои чередуются с непроницаемыми пластами; вся толща имеет низкую среднюю пористость, широко развита тонкая трещиноватость. Нет ни одного особенно благоприятного интервала в отношении пористости, в котором было бы предпочтительно бурить эксплуатационные скважины.

К настоящему времени на Умм Шейфе пробурено 26 скважин, добыча нефти составляет 4—5 млн. т/год.

В Закуме скважина 1, также заложенная по сейсмическим данным, вскрыла залежь нефти в свите Тамама, но пласты, подстилающие свиту Хис, оказались обводненными, вероятно потому, что здесь в этой формации недостаточно ангидритов, которые могли бы образовать эффективную покрышку. В свите Эрей был обнаружен газ. Скважины 2 и 3 в Закуме, расположенные по обе стороны от скважины 1, в основном проектировались для оценки запасов нефти в свите Тамама, но скважина 2 в то же время выявила, что газ в свите Эрей непосредственно контактирует с водой. Внутри свиты Тамама в Закуме выделяется несколько коллекторов, отделенных друг от друга непроницаемыми известняками, мощность которых не превышает в одном случае 21,4 м. Всего лишь тремя скважинами, пробуренными к настоящему времени, число отдельных коллекторов не может быть установлено определенно. До тех пор, пока это не будет сделано, картина будущей разработки останется умозрительной и не дающей возможности делать выводы.

---

## НОВАЯ ПОПЫТКА ПОЛНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИРАНСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА

□ П. Мина, Ф. Найямабади<sup>1</sup>

### ВВЕДЕНИЕ

В 1957 и 1958 гг. Национальная Иранская нефтяная компания (НИОК) приняла участие в двух соглашениях об изыскании нефти,

<sup>1</sup> № 131.

охватывающих около 22 тыс. км<sup>2</sup> иранского континентального шельфа в Персидском заливе (район I). Раньше были подписаны соглашения о том, что на этой площади могут проводиться рекогносцировка, разведка и оценка запасов. На большую часть района I, включающую около 50 000 км<sup>2</sup>, не было подписано никаких соглашений.

Закон 1957 г. о нефти не предусматривал установления предварительных соглашений или временных лицензий на проведение рекогносцировочных работ для разведки нефти на определенной территории до заключения договора. Поэтому Иранская нефтяная компания ввела систему, в соответствии с которой претенденты, заинтересованные в организации работ по изысканию нефти в районе I, могли до подачи заявки получить доступ к обширной геофизической информации, касающейся всей территории. Чтобы представить себе смысл этого нового мероприятия, следует познакомиться с законом о нефти 1957 г.

### ЗАКОН О НЕФТИ 1957 г.

Закон разрешает НИОК разделить территорию страны вместе с континентальным шельфом, за исключением консорционной территории, на нефтяные районы площадью не более 80 000 км<sup>2</sup> каждый и объявить любой из них или несколько районов открытыми для изысканий нефти при условии, что третья часть общей территории страны, пригодной к эксплуатации, будет навсегда сохранена как национальный резерв. В соответствии с этим положением страна была разделена на 27 районов с учетом указанных ограничений по площади, а также геологических и географических условий. Процедура открытия района начинается с международной публикации о приеме предварительных заявок от компаний, заинтересованных в проведении исследований на нефть в определенном районе или районах. Затем заинтересованным компаниям выдается анкета, которая должна быть заполнена и возвращена в НИОК с целью оценки технической, финансовой и покупательской возможностей претендентов. Допущенного претендента НИОК извещает и предоставляет ему основные геологические, топографические, технические и географические сведения о районе, а также передает различные анкеты и информирует его о процедурах, связанных с рассмотрением заявок. По истечении приблизительно трех месяцев с момента опубликования предварительного объявления район, о котором идет речь, считается формально открытым и об этом публикуется международное сообщение, а претендентам дается два месяца на представление их заявок. Все предложения, представленные на рассмотрение претендентами, изучаются НИОК, результаты объявляются в течение двух месяцев, и претенденты, заявки которых приняты, приглашаются для подписания соглашения о разведке, эксплуатации и экспорте, которое затем утверждается и ратифицируется законодательным учреждением.

### ПОЛОЖЕНИЕ С ЗАКОНАМИ О НЕФТИ В ДРУГИХ СТРАНАХ

Одна из особенностей иранского Закона о нефти заключается в отсутствии пунктов, требующих получения разрешения на исследования или лицензии; в результате этого любое соглашение, заключенное между НИОК и заявителем, охватывает и разведку и эксплуатацию.

В большинстве других стран, где действует нефтяное законодательство, предусматриваются условия, касающиеся проведения рекогносцировки и затем либо проведения разведки, предшествующей подписанию соглашения об эксплуатации, либо предоставления концессий.

По закону, действующему в Венесуэле, выдаются лицензии на

3 года на участки площадью не более 10000 га. Лицензия дает право только на изучение поверхности (геологическое или геофизическое) для выявления основных геологических особенностей. В конце трехлетнего периода должно быть возвращено не менее 50% площади каждого блока, а оставшаяся площадь делится на участки по 500 га для последующей эксплуатации.

Подобным же образом на о. Тринидад лицензия на исследования может быть выдана компании сначала на 2 года. Лицензия на исследования охватывает все геологические и геофизические работы, но не включает права бурить эксплуатационные скважины глубиной более 6,1 м. В дополнение к лицензиям на исследования время от времени выдаются специальные разрешения на проведение без лицензий геофизических исследований на нелицензионной территории суши и моря. Такое разрешение было, например, выдано несколько лет назад одному оператору для гравиметрических исследований в районе залива Париа.

Во многих европейских странах, например в Италии, Франции, Испании, Голландии и др., разрешения на рекогносцировочные и разведочные работы выдаются на сравнительно короткий срок и охватывают поверхностные геологические и геофизические работы, которые в некоторых странах могут быть расширены до разведочного бурения.

Позднее, когда начались исследования в районе Северного моря, законодательство по нефти было введено в пограничных странах. Наибольший интерес представляют Правила территориальных вод и континентального шельфа в Великобритании. В этих Правилах предусматривается предоставление лицензий на изыскания нефти сроком в 3 года, причем лицензия охватывает только разведку и проведение геологических исследований физическим и химическим методами, а также бурение для получения данных о разрезе до глубины, не превышающей 350 м от дна моря. Лицензия не дает права добывать нефть или бурить скважины для эксплуатации.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ НАКОПЛЕННОГО ОПЫТА ЗАЯВОК В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ИРАНА**

Ко времени открытия в 1957 г. района I для подачи заявок основная геологическая информация, которая предоставлялась претендентам, ограничивалась несколькими скудными данными по геологии и стратиграфии примыкающей прибрежной территории и нескольких островов, расположенных внутри рассматриваемой территории или поблизости от нее. Однако строгое соблюдение компанией НИОК записанных в Законе о нефти (1957 г.) процедур и невозможность проводить изыскательские работы до получения ответа на заявку имело следующие отрицательные стороны:

а) практически все заявки, представленные на рассмотрение НИОК, касались одних и тех же площадей, расположенных близко к той части материка, где исследования уже выявили благоприятные геологические условия, и часть которых фактически уже подготавливалась для эксплуатации; вследствие этого было заключено только одно соглашение, а большая часть района I осталась без внимания;

б) для того чтобы максимально уменьшить риск, связанный с недостатком соответствующей информации и данных относительно геологических условий морского дна прибрежной территории, каждый претендент подавал заявку на максимальную площадь, допускаемую Законом о нефти;

в) условия, предлагавшиеся претендентами Ирану, действительно содержали большой элемент риска, объяснявшегося полной неисследованностью прибрежной морской территории.

Ввиду этих недостатков НИОК пришла к выводу, что для сохранения прибыли Ирана от заключенных соглашений на прибрежные территории необходимо снабжать претендентов более богатой информацией относительно этих территорий, в то же время не допуская в направлении предварительных исследовательских работ каких-либо отклонений от основных принципов, заложенных в Законе о нефти.

Как отмечалось, выдача отдельных разрешений претендентам на проведение исследований не осуществима в пределах юридической структуры Закона о нефти, и НИОК является агентством по продаже, на которое правительством возложено право проводить все фазы работ на нефть, включая и изыскания. Поэтому было решено, что НИОК должна провести морские сейсмические исследования (методом отраженных волн) в открытой части моря в районе I и информировать о результатах своих исследований всех заинтересованных претендентов до подачи окончательных заявок.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОРСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морские исследования методом отраженных волн начались 15 сентября 1963 г. под руководством Национальной Иранской нефтяной компании. Эти исследования, охватившие площадь около 45 тыс. км<sup>2</sup> (больше, чем Швейцария) с юга от порта Вишер до оконечности о. Леван, были самыми обширными из всех, проводившихся когда-либо в мире до этого (см. рисунок). Была исследована вся часть Персидского залива, прилегающая к полосе, содержащей крупнейшие в мире запасы нефти и частично расположенная внутри этой полосы.

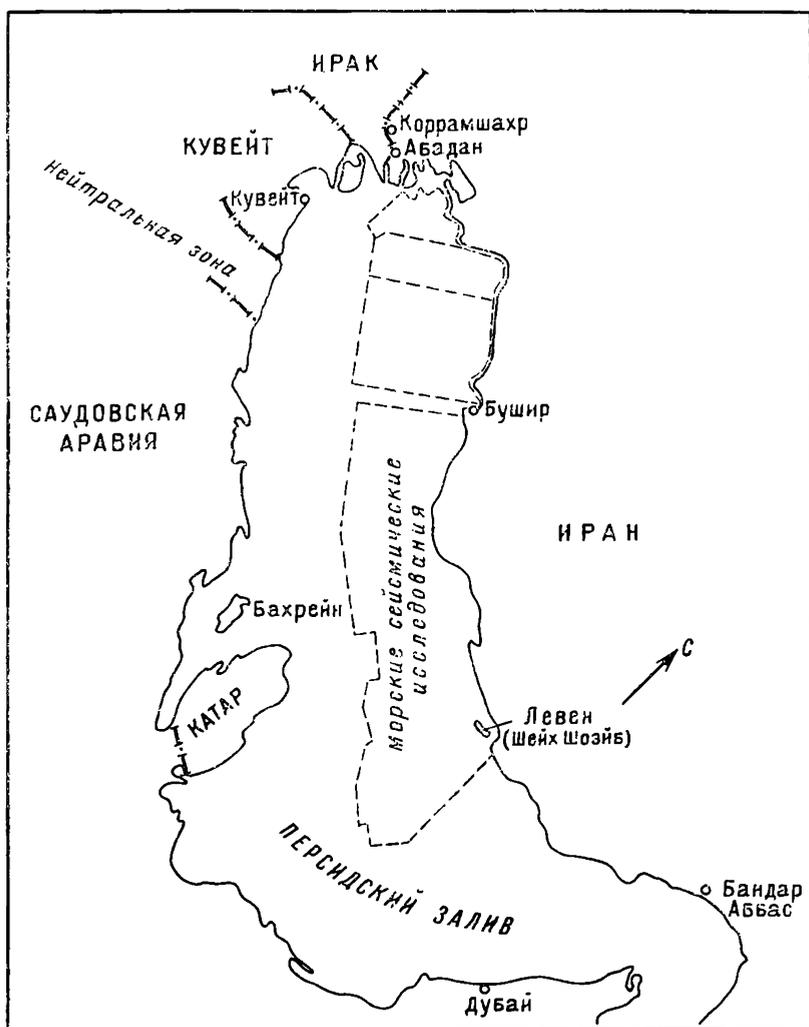
НИОК предложила предоставить сейсмическую информацию любой заинтересованной нефтяной компании или группе компаний, желающих заплатить соответствующую долю стоимости исследований. Тринадцать заинтересованных нефтяных компаний (восемь самостоятельных и двадцать три объединенных в пять групп) внесли деньги и получили информацию.

Исследования, выполнявшиеся двумя группами геофизиков-сейсмоков, были закончены в течение шести месяцев. Предварительная интерпретация, основанная на неоткорректированных полевых профилях, была распределена между 13 участниками вскоре после окончания полевых работ. Затем полевые данные были обработаны и 29 июня 1964 г. полная интерпретация, основанная на откорректированных данных, была распределена между всеми участниками.

Проведенные работы носили рекогносцировочный характер при сетке 6×10 км с точками взрыва, расположенными через 600 м по линиям, простирающимся под прямым углом и параллельно берегу. Каждая группа геофизиков использовала два судна: одно для регистрации, другое для выполнения взрывных работ. Основное судно с записывающей аппаратурой буксировало плавающий кабель длиной 2400 м, на котором были расположены сейсмоприемники, реагирующие на изменение давления. Второе судно следовало сзади и производило взрывы по пути кабеля. Положение обоих судов определялось по Шорану, а положение конца кабеля — компасом с измерительного судна. Положение кабеля по отношению к точке взрыва определялось сейсмографами, которые записывали время движения звуковой волны от точки взрыва до сейсмографа. На основе скорости распространения звука в воде пересчитывалась поправка времени на расстояние. Заряды, размер которых колебался от 7 до 23 кг и более, взрывались несколько ниже поверхности воды на глубине, зависящей от размера заряда (для устранения эффекта пузырьков). 200 взрывов за рабочий день (с интервалом 3 мин между взрывами) производилось при иде-

альных условиях, а в среднем около 150 взрывов в день, которые покрывали 80-километровую линию.

Наиболее серьезной проблемой, с которой столкнулись исследователи в Персидском заливе, были многократные отражения, которые могли совершенно исказить первичное отражение или вызвать помехи.



Карта территории морских сейсмических исследований в Персидском заливе.

Интерференция сейсмических волн, обычная для покрытой водой площади, частично уменьшалась благодаря использованию двойного кабеля. Качество данных было значительно улучшено в результате применения 200%-ной задержки, достигнутой при помощи двойного кабеля. Стандартный, или «короткий», кабель имел длину 1200 м с группами сейсмоприемников через 50 м, длина другого кабеля была 2400 м при расположении группы сейсмоприемников через 100 м. Фактически оба кабеля были объединены в один; для длинного кабеля использовались через одну группы сейсмоприемников от короткого кабеля.

Порядок работы состоял в записи результирующих сигналов от взрыва на двух магнитных лентах — одной для длинного, другой для короткого кабеля. В это же время на бумагу записывались две сей-

смограммы, снятые без применения фильтров, по одной на каждую кабель. Позднее магнитные ленты считывались для получения бумажных сейсмограмм с отфильтрованным сигналом, а также применялось разноможение лент. В дополнение считывалась осциллографическая запись с короткого кабеля методом переменной плотности. Осциллограммы соединяли вместе, чтобы получить неоткорректированный сплошной разрез, для которого применяли фотобумагу. Эти разрезы использовались для полевой интерпретации. Окончательный доклад, представленный всем участникам, содержал откорректированные поперечные разрезы, карты контуров структур, карту глубин и письменный отчет.

Так как было важно знать глубину отражения, а быстрые изменения скорости распространения сейсмических волн по простиранию могли повлиять на изменение времени отражения, искажив структуру рельефа, определение скорости стали считать обязательным. Поэтому в план исследований были включены также профили скорости; результаты их определения вошли в полевую интерпретацию.

Результаты исследований характеризуются хорошим качеством полученных данных и значительным количеством выявленных благоприятных структур. Полная интерпретация данных выявила два горизонта, залегающих на большей части территории; местами закартированы три других горизонта. Накаких предположений о геологическом возрасте любого из этих горизонтов не сделано. Имеются указания на то, что центральная часть исследованной площади имеет несколько меньший по мощности разрез осадочных пород и что основное простирающееся к северу поднятие находится на глубине, как бы на продолжении полуострова Катар. Интересно также отметить, что эта территория лишена значительных структурных признаков. С одной стороны указанного поднятия имеется двадцать семь структур, закартированных на доступной для бурения глубине. Они значительно изменяются по размерам, форме и геологической истории, но все их можно рассматривать как возможные нефтяные структуры. Некоторые из этих структур имеют антиклинальную форму и вытянуты в меридиональном направлении подобно месторождениям в Саудовской Аравии, Кувейте и Дариус-Харг в Иране. Другие структуры, также антиклинальные, вытягиваются с северо-запада на юго-запад и таким образом имеют направление, подобное месторождениям юго-запада Ирана. Структуры третьего типа более куполообразны и более обычны для юго-восточной части территории.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1958 г., когда район I был впервые открыт для международных заявок и НИОК действовала полностью на основе положений Закона о нефти от 1957 г., лишь семь компаний, составлявших шесть групп, сделали заявки по существу на одну и ту же площадь. Таким образом, фактически было заключено только одно соглашение на площадь в 16000 км<sup>2</sup>, а оставшаяся часть района I размером около 50000 км<sup>2</sup> не привлекла ничьего внимания. Было очевидно, что если бы та же самая территория была вновь открыта при той же самой процедуре подачи заявок, результат мог бы быть столь же неблагоприятным.

Применение нового подхода со стороны НИОК к развитию иранских прибрежных исследований в Персидском заливе коренным образом изменило положение. В последнее время 31 компания, объединенные в 10 групп, представили заявки на нефтяные исследования на площади, которые в 1958 г. не считались достаточно перспективными. Кроме того, благодаря заключению соглашений с 18 компаниями

смогут быть сконцентрированы огромные технические и финансовые средства для расширения исследований на нефть на этой территории и будет гарантирован значительный международный рынок для ожидаемой в будущем продукции. Наряду с этим вследствие сильной конкуренции среди претендентов НИОК удалось получить значительные доходы, а также улучшить сроки и условия заключения соглашений в пользу Ирана.

---

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОСАДКОВ МОРСКОГО ДНА ПРИ ПОМОЩИ СУДОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Л. Бреслау<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Если предположить, что на силу отраженного морским дном звука влияет геологический характер дна, его можно было бы использовать для точного опознания отражающей породы. Однако непреодолимая сложность процесса отражения, изменчивость характеристик эхо-сигналов, сильная утомляемость исследователей при проведении звуковых замеров и геологических сопоставлений привели к тому, что были прекращены все ранее предпринимавшиеся попытки применить на практике звукоотражаемость для геофизической разведки.

Настоящая работа дает возможность избежать этих трудностей при помощи упрощенной, но тем не менее приемлемой акустической модели морского дна для проведения судовых акустических исследований полуавтоматически. Причем замеряется только легко распознаваемый ряд отражаемых звуковых волн, а полученные результаты анализируются на быстродействующих вычислительных машинах. Была сделана попытка создать методику, которая позволила бы полностью автоматизировать проведение этих работ при движении судна с крейсерской скоростью.

Были сняты параметры звукоотражаемости (определялись параметры для упрощенных моделей, каждая из которых представляла комплекс физических процессов) соответственно зеркальному отражению модели, причем условно допускалось, что морское дно является поверхностью раздела между двумя средами.

Такой прием является, конечно, сверхупрощением существующих условий, но тем не менее он наилучший из возможных приближений. Анализ осциллограмм ряда звуковых волн, поступающих с морского дна, показал, что обычно зеркальный компонент превалирует (при нормально падающих волнах), и принятая модель может использоваться.

Техника акустических измерений не может быть использована в тех случаях, когда строение морского дна несоизмеримо с длиной волны зондирующего звука или дно имеет выпуклые напластования. Звукоотражаемость замерялась при посылке звукового импульса 12 КСРС нормально по отношению к дну, продолжительностью две миллисекунды. Нормальная по отношению к дну направленность импульса обеспечивает наибольшее отражение и практически является

---

<sup>1</sup> № 132.

единственным способом получения отношения «сигнал—помеха» при типичных естественных условиях.

Полуавтоматическая система замера была разработана и изготовлена для передачи акустических данных на борт корабля. Эта система способна выполнять автоматически акустические замеры через двухсекундные интервалы после ручной наладки регуляторов, включающих синхронизацию по времени и динамический диапазон. Результаты регистрируются в форме накопления и по времени.

Давление и энергия эхо-импульса с разверткой во времени регистрируются накоплением в виде фотоосциллограмм. Регистрация времени действия и интенсивности эхо-импульса представлена в виде цифрового отпечатка и в виде отрезка прямой линии на регистрационной ленте точного графического регистратора.

В качестве величин, характеризующих звукоотражаемость, в данном исследовании использовались пиковая амплитуда и полная энергия эхо-сигнала. Эти величины являются легко различимыми характеристиками ряда звуковых волн и могут регистрироваться приборами.

Пиковая амплитуда есть максимальное расстояние между пиками давления серии волн. Полная энергия эхо-сигнала выражается общей суммой энергии эхо-импульса и определяется конечной величиной общего времени действия давления серии звуковых волн.

Утомляемость, сопровождающая анализ акустических и геологических данных, была сведена до минимума путем использования высокоскоростных вычислительных машин. Акустические и геологические данные помещались на перфокарты для закладки в счетно-аналитические машины; акустические осциллограммы читались при помощи аналого-цифрового преобразователя, приводимого в действие вручную, а геологические данные заносились на карты, которые перфорировались вручную. После этого все другие операции, включая и операции, связанные с уменьшением числа данных, статистический анализ, составление таблиц и регистрация конечных результатов, выполнялись машиной, табуляторным и координатным самописцем.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВЫКЛАДКИ

Интенсивность эхо-сигнала, зеркально отраженного от морского дна, выражается в виде:

$$I_R = I_S \cdot K \frac{1}{(2D)^2} e^{-\alpha 2D}, \quad (1)$$

где  $I_R$  — интенсивность эхо-сигнала;  $I_S$  — интенсивность источника;  $K$  — частичная потеря интенсивности на дне;  $\frac{1}{(2D)^2}$  — потери при излучении за счет сферического рассеяния и  $e^{-\alpha 2D}$  — потери за счет рассеяния звука в морской воде;  $D$  — диаметр сферы излучения.

Так как

$$I_R = \frac{P_R^2}{\rho_1 C_1} \quad (2)$$

и

$$I_S = \frac{P_S^2}{\rho_1 C_1}, \quad (3)$$

где  $P_R$  — давление эхо-сигнала;  $P_S$  — давление сигнала-источника;  $\rho_1$  — плотность воды;  $C_1$  — скорость распространения звука в воде, то уравнение (1) принимает вид ( $P_S$  — давление, подсчитанное при  $D=1$ ):

$$\frac{P_R^2}{\rho_1 C_1} = \frac{P_S^2}{\rho_1 C_1} K \frac{1}{(2D)^2} e^{-\alpha 2D}. \quad (4)$$

Интегрируя с пределами по времени обе части уравнения (4), получаем

$$\frac{1}{\rho_1 C_1} \int_{\tau}^{\tau+\tau} P_R^2 dt = \frac{1}{\rho_1 C_1} K \frac{1}{(2D)^2} e^{-\alpha 2D} \int_0^{\tau} P_S^2 dt. \quad (5)$$

Так как сигнал источника есть синусоида с амплитудой  $\tau$ :

$$\int_0^{\tau} P_S^2 dt = P_{S(rms)}^2 \tau, \quad (6)$$

где среднеквадратичное давление  $rms$  равно максимальному давлению, деленному на квадратный корень из двух, то уравнение (5) принимает вид:

$$\frac{1}{\rho_1 C_1} \int_{\tau}^{\tau+\tau} P_R^2 dt = \frac{1}{\rho_1 C_1} K \frac{1}{(2D)^2} e^{-\alpha 2D} P_{S(rms)}^2 \cdot \tau. \quad (7)$$

Отсюда видно, что  $K$  может быть выражено через величину максимального давления из уравнения (4):

$$K = \frac{P_R^2}{P_S^2} (2D)^2 \frac{1}{e^{-\alpha 2D}} \quad (8)$$

или через величину энергии из уравнения (7):

$$K = \frac{\int_{\tau}^{\tau+\tau} P_R^2 dt}{P_{S(rms)}^2 \tau} (2D)^2 \frac{1}{e^{-\alpha 2D}}. \quad (9)$$

Если  $P_{inc}$  — давление волны, падающей на морское дно, а  $P_{ref}$  — давление волны, отраженной от морского дна, тогда потеря интенсивности на дне  $K$  будет

$$K = \frac{P_{ref}^2}{\rho_1 C_1} = \left( \frac{P_{ref}}{P_{inc}} \right)^2. \quad (10)$$

Для модели и падающих плоских волн отношение давления волны, падающей на морское дно, к давлению волны, отраженной от дна, выражается коэффициентом отражения Релея. Тогда

$$R = \frac{P_{ref}}{P_{inc}} = \frac{\rho_2 - \frac{\sqrt{\frac{C_1^2}{C_2^2} - \sin^2 \theta}}{\rho_1}}{\rho_2 + \frac{\sqrt{\frac{C_1^2}{C_2^2} - \sin^2 \theta}}{\rho_1}}, \quad (11)$$

где  $\theta$  — угол падения волны. При излучении по нормали ( $\theta=0$ ) — случай, при котором проводились все замеры, выражение коэффициента отражения Релея упрощается, так как уравнение (11) преобразуется к виду:

$$R = \frac{-\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1}. \quad (12)$$

Выражение  $\rho C$  обозначает удельную звукопроводность среды и обозначается буквой  $Z$ . Подставляя  $Z$  в уравнение (12), получаем

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (13)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  обозначают удельную звукопроводность соответственно морской воды и осадка. Коэффициент отражения Релея был установлен для случая плоских падающих волн в предполагаемом диапазоне скоростей при условии непрерывности давления и нормальной составляющей скорости волны сжатия у поверхности раздела. Однако было доказано, что это — приближенное значение для случая отраженной падающей сферической волны, получающейся при условии

$$\frac{c_1}{\omega D \left( \frac{C_1^2}{C_2^2} - \sin^2 \theta \right)^{\frac{3}{2}}} \ll 1. \quad (14)$$

При направленности по нормали ( $\theta=0$ ) эта величина может быть выражена в виде:

$$\frac{\pi}{D \cdot 2\pi \frac{C_1^3}{C_2^3}} \ll 1. \quad (15)$$

Это показывает, что допущение справедливо тогда, когда звуковой сигнал, отраженный от морского дна, соответствует средней величине длины волн. Это условие в данном исследовании всегда удовлетворялось.

Зависимость между частичной потерей интенсивности на дне  $K$  и коэффициентом отражения  $R$ , описанная уравнениями (10) и (11), выражается в виде:

$$K = R^2. \quad (16)$$

Частичная потеря интенсивности  $K$  может быть определена из уравнения (8) или из уравнения (9). Оба эти выражения использовались в данном исследовании. Первое уравнение базируется на давлении, а второе — на энергии.

Удобно и общепринято гидроакустические величины выражать в децибеллах. Логарифмируя обе части уравнения (8) и умножая их на уравнение (10), получаем выражение

$$10 \log K = -20 \log P_S + 20 \log P_R + 20 \log 2D + 10a2D \log e, \quad (17)$$

которое может быть записано в виде:

$$BL = S_{PL} - E_{PL} - TL_S - TL_A, \quad (18)$$

где  $BL$  выражает потери на дне в  $\delta\text{б}$  и равно  $-10 \log K$ ;  $S_{PL}$  — уровень давления источника в  $\frac{\delta\text{б}}{1 \text{ дин/см}^2}$ , равный  $20 \log P_S$ ;  $E_{PL}$  — уровень давления эхо-сигнала в  $\frac{\delta\text{б}}{1 \text{ дин/см}^2}$ , равный  $20 \log P_R$ ;  $TL_S$  — потери при рассеивании в  $\delta\text{б}$ , равные  $20 \log 2D$ ;  $TL_A$  — потери при затухании в  $\delta\text{б}$ , равные  $10a2D \log e$  или  $a2D$ , где  $a$  равно  $10a \log e$ .

Логарифмируя обе части уравнения (9) и умножая на 10, получаем

$$10 \log K = -10 \log (P_{S(rms)}^2 \cdot \tau) + \\ + 10 \log \int_T^{T+\tau} P_R^2 dt + 20 \log 2D + 10a2D \log 2, \quad (19)$$

которое может быть выражено как

$$BL = S_{EL} - E_{EL} - TL_S - TL_A, \quad (20)$$

где  $S_{EL}$  — уровень энергии источника в  $\frac{\text{дб}}{1 \text{ эрг/см}^2}$ , равный  $10 \log (P_{S(rms)}^2 \tau)$  или  $10 \log \left( P_S^2 \frac{\tau}{2} \right)$ ;  $E_{EL}$  — уровень энергии эхосигнала в  $\frac{\text{дб}}{1 \text{ эрг/см}^2}$ , равный  $10 \log \int_0^{\tau} P_R^2 dt$ ;  $BL$ ,  $TL_S$  и  $TL_A$  обозначают то же, что и в уравнении (18).

Логарифмируем обе части уравнения (16) и умножая на 10, получаем выражение

$$10 \log K = 20 \log R, \quad (21)$$

которое может быть представлено в виде:

$$BL = 20 \log R, \quad (22)$$

где  $BL$  — потери на дне в  $\text{дб}$ , а  $R$  — коэффициент отражения Релея.

Зависимость между потерями на дне и коэффициентом отражения Релея, приведенная в уравнении (22), и зависимость между коэффициентом отражения и разностью звукопроводности у поверхности раздела воды и звукопроводности морских осадков, выраженная уравнением (13), используются для установления связи между потерей на дне и массой, характеризующей осадки. Так как звукопроводность осадочных пород является результатом их плотности и скорости сжатия и так как эти свойства могут зависеть от пористости морских осадков, можно установить зависимость между потерями на дне и пористостью. Об этой зависимости будет идти речь ниже.

Морская осадочная порода многокомпонентна. Пустотные пространства между минеральными частицами в ней заполнены морской водой. Ее основные свойства определяются свойствами составляющих компонентов. Но так как диапазон удельного веса минералов, обычно встречающихся в морской осадочной породе, невелик, и сжимаемость воды на 1 или 2 порядка выше сжимаемости минеральных зерен, с точки зрения этих свойств морскую осадочную породу можно считать системой, состоящей из двух компонентов.

При определении звукопроводности осадочную породу можно рассматривать состоящей из морской воды и твердого материала. Пористость, измеряемая как объем части осадочной породы, занятой морской водой, является важным параметром морских отложений с точки зрения акустической реакции.

Зависимость между плотностью и пористостью морских осадочных пород была бы линейной, если бы удельный вес твердых частиц всех осадочных пород был одинаковым. Для этого случая плотность осадочных пород была бы равна плотности твердого материала при нулевой пористости, плотности морской воды при 100%-ной пористости и промежуточной величине, определяемой линейной интерполяцией при любом другом значении пористости. Эта зависимость выражается в виде:

$$\rho_{sed} = \rho_{wat} \Phi + \rho_{sol} (1 - \Phi), \quad (23)$$

где  $\rho_{sed}$  — плотность осадочной породы;  $\rho_{wat}$  — плотность морской воды;  $\rho_{sol}$  — плотность твердого материала;  $\Phi$  — обычная пористость осадочной породы.

Несмотря на то что плотность твердых материалов, слагающих морские осадочные породы, различна, диапазон этих различий настоль-

ко ограничен, что на координатах плотности осадочной породы и пористости можно построить прямую линию.

Скорость волны сжатия в эластичной среде выражается уравнением

$$C = \left( \frac{H + \mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (24)$$

где  $H$  — сопротивление сжатию;  $\rho$  — плотность среды;  $\mu$  — модуль сдвига. В случае, когда сдвиг в расчет не принимается, уравнение (24) приобретает вид:

$$C = (B + \rho)^{-\frac{1}{2}}, \quad (25)$$

где  $B$  — сжимаемость.

Вуд отметил, что при взвешенном состоянии твердых частиц в воде общая сжимаемость равна сумме отдельных сжимаемостей частиц, взвешенных в суспензии в соответствии с их частичным объемом. Урик доказал это экспериментально. Ввиду того что сжимаемость морской воды гораздо больше сжимаемости минеральных частиц, составляющих осадочные породы, объем морской воды, заключенный в осадочной породе (пористость), оказывает основное влияние на общую сжимаемость осадочной породы независимо от ее минералогического состава. Эта зависимость выражается формулой

$$B_{sed} = B_{wat} \cdot \Phi + B_{sol} (1 - \Phi), \quad (26)$$

где  $B_{sed}$  — сжимаемость осадочной породы;  $B_{wat}$  — сжимаемость морской воды;  $B_{sol}$  — сжимаемость твердых частиц;  $\Phi$  — пористость осадочной породы.

Можно считать, что естественные несцементированные осадочные породы напоминают суспензию твердых частиц в морской воде и имеют скорость волны сжатия почти такую же, как в уравнении (25).

Плотность и общая сжимаемость могут быть выражены соответственно уравнениями (23) и (26).

Таким образом, скорость волны сжатия может быть выражена следующим образом (уравнение Вуда) на основе уравнений (23), (25) и (26):

$$C = \{ [\rho_{wat} \Phi + \rho_{sol} (1 - \Phi)] [B_{wat} \Phi B_{sol} (1 - \Phi)] \}^{-\frac{1}{2}}. \quad (27)$$

Степень соответствия этого выражения скоростям волн сжатия сцементированных осадочных пород была показана Нейфом и Дрейком (1963). Эти исследователи значения скорости волн сжатия, заимствованные у Саттона (1957), Хамильтона (1956), Шамуса (1960), Лафтона (1957) и Кершава (не опубликовано), выразили графически в координатах пористости.

Удельная звукопроводность осадочной породы может быть получена как результат плотности (23) и скорости волны сжатия (27). Эта проводимость вместе с удельной звукопроводностью морской воды может быть использована для определения коэффициента отражения Релея (13). Потери на дне можно определить из уравнения (22). На рис. 1 показана зависимость плотности, скорости, звукопроводности, коэффициента отражения и потерь на дне от пористости в соответствии с уравнениями (13, 22, 23, 25, 26 и 27). Для морской воды и твердых частиц были установлены соответственно плотность  $1,03$  и  $2,75 \text{ г/см}^3$  и сжимаемость  $43 \times 10^{-12}$  и  $2,0 \times 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$ . Из диаграмм видно, что потери на дне увеличиваются с увеличением пористости осадочной породы.

О зависимости потерь на дне и физических свойствах осадочных пород говорилось выше. В частности, было показано, что потери на дне зависят от пористости осадочной породы. Так как пористость осадочных пород обуславливается размером зерен или структурными характеристиками осадков, можно установить общую зависимость между потерями на дне и геологическими свойствами осадочных пород.

Теоретически осадочная порода, состоящая из сферических частиц приблизительно одинакового размера, должна была бы иметь одинако-

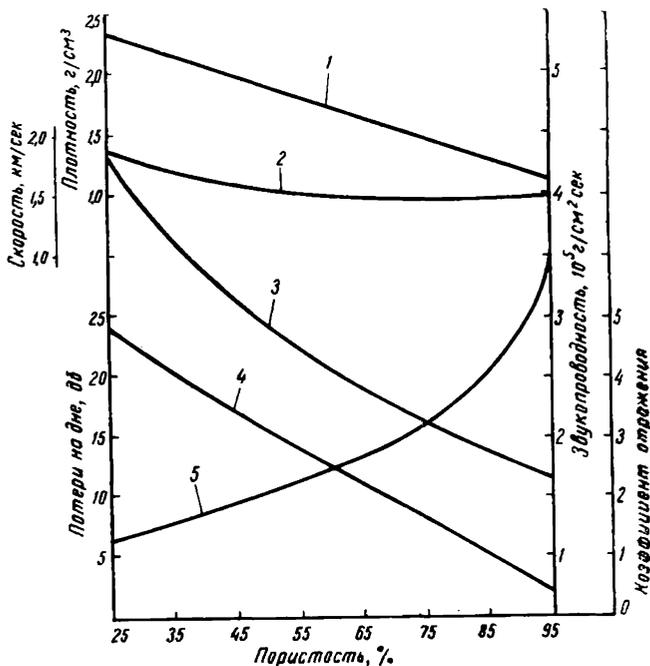


Рис. 1. Теоретические кривые плотности, скорости, звукопроводности и коэффициента отражения в зависимости от пористости. 1 — плотность; 2 — скорость; 3 — звукопроводность; 4 — коэффициент отражения; 5 — потери на дне.

вую пористость независимо от размера зерен, а увеличение разницы в их размерах позволило бы заполнить пустые пространства, что привело бы к снижению пористости. На самом же деле зерна естественных осадочных пород не сферические, и считать их сферическими — значит упрощать положение.

Пористость осадочных пород является функцией размера зерен (среднего размера зерен), распределения зерен по размерам (сортировки), формы зерен (дисковые и сферические) и выкладки или ориентировки их (структуры). Точная зависимость этой функции не известна. В осадочных породах обычно переменные находятся в соответствующей зависимости, и трудно изолировать какие-либо отдельные влияния. Тем не менее учет некоторых физических факторов поможет установить общие взаимосвязи. Частицы песка и крупного ила настолько велики, что их вес играет основную роль в определении структур осадочных пород. Эти осадочные породы имеют однозернистую и многозернистую структуры, которые очень плотны и имеют низкую пористость. Частицы мелкого ила и глины настолько малы, что на них не могут влиять межмолекулярные силы. Эти частицы прилипают к первым зернам в процессе осадения и склонны к образованию сотовой и хлопьевидной структур, неплотных и имеющих высокую пористость.

По мере уменьшения частиц отношение площади их поверхности к объему увеличивается. Это приводит к увеличению отношения поглощаемой воды к объему частиц, что сопровождается увеличением пористости. Для небольших частиц объем воды, поглощаемой у поверхности, может быть больше объема воды, содержащейся в геометрических пространствах осадочной породы. Это особенно касается частиц глины.

Увеличение угловатости формы зерен обычно связано с увеличением пористости осадочной породы, так как сопровождается увеличением трения между частицами, в результате чего замедляется образование плотной структуры, а любое уменьшение сферичности приводит к увеличению площади поверхности и соответственно объема поглощаемой у поверхности воды. Существует общая обратная зависимость между угловатостью формы зерен и размером частиц осадочных пород, объясняемая пластинчатостью структуры глин и тем, что более мелкие частицы обычно подвергаются меньшей обработке природными силами.

Увеличение содержания глины в осадочной породе способствует увеличению ее пористости ввиду влияния структуры, размеров и формы зерен, о чем говорилось выше. Кроме того, частицы глины увеличивают пористость осадка в результате образования «мостов»: частицы глины, горизонтально ориентированные своей плоской стороной в осадочной породе, образуют перемычки между другими зернами, в связи с чем увеличиваются размеры пустотных щелей.

Степень сортированности не имеет такого решающего значения для образования пористости естественных осадков, как это может показаться с первого взгляда. Тогда величина заполнения щелей более мелкими зернами и соответственно более низкая пористость находились бы в обратной зависимости от степени сортированности. Этот процесс наиболее эффективен в осадках с более крупными зернами, в которых вода больше сохраняется в пустотах, чем поглощается зернами. В меньшей степени этот процесс проявляется в осадках, слагаемых более мелкими частицами, где решающую роль играет поверхностное поглощение. Действительно, так как для тонкозернистых отложений обычно характерна прямая зависимость между степенью сортированности и размером зерен, уменьшение сортированности будет связано с увеличением пористости ввиду преобладающего влияния размеров зерен.

Вообще пористость увеличивается с уменьшением размера зерен или с увеличением процента ила и глины (мелкозернистой фракции) в отложениях; глина оказывает большее влияние на пористость, чем ил.

Осадочные породы слагаются из песка — ила — глины, находящихся в соответствующих соотношениях, так как глины более пористы, чем ил, а ил и глина вместе более пористые, чем песок; между этой классификацией и пористостью естественных осадков существует общая зависимость. Так как каждой осадочной породе того или иного класса присущ определенный диапазон соотношений песка — ила — глины, зависимость между классом осадочных отложений и пористостью очень велика, но еще слабо изучена. Тем не менее такая классификация очень полезна, так как во многих седиментологических обзорах осадочные породы упоминаются только по названию класса.

Существует метод, пользуясь которым, можно вычислить средние размеры зерен осадочной породы по процентному содержанию песка, ила, глины. Этот метод, основанный на предположении о нормальном распределении фракционного состава в отложениях, был использован в общепринятой системе классификации Шепарда для установления приблизительных пределов размеров частиц породы, характеризующих каждый класс этой системы. Пределы этих размеров показаны на

рис. 2; ввиду обратной зависимости между пористостью и размером зерен эти цифры обозначают также пределы пористости. Однако глинистый песок и песчаная глина не типичные осадочные породы, и можно не принимать их во внимание.

Обобщая, отметим, что потери на дне находятся в обратной зависимости от размера зерен и в прямой зависимости от содержания мелкозернистой фракции в составе естественных осадочных пород.

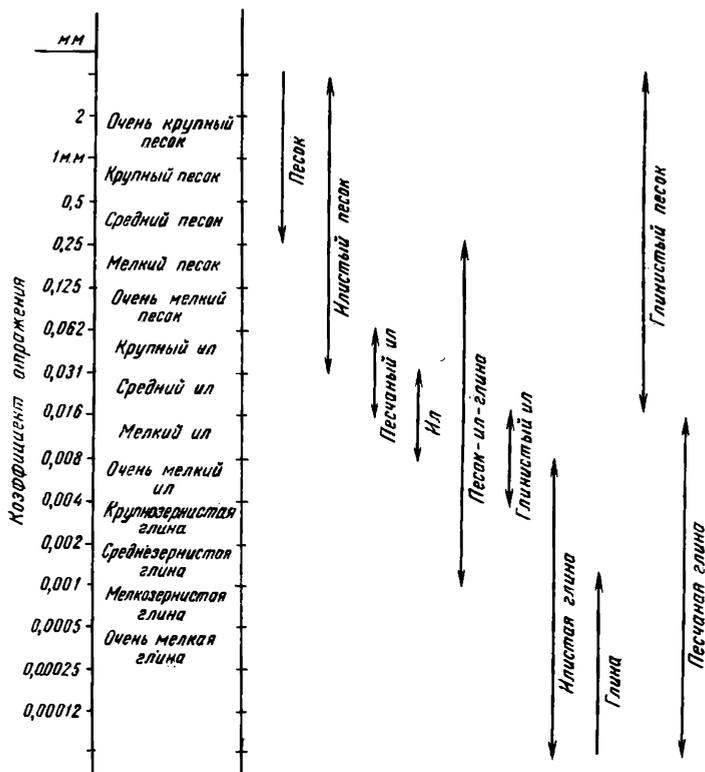


Рис. 2. Общие пределы средних размеров зерен осадочных пород, классифицируемых в соответствии с системой песок—ил—глина.

В тех случаях, когда используется система классификации Шепарда, значение потерь на дне увеличивается в следующем порядке: илистый песок, песчаный ил, ил, песок — ил — глина, глинистый ил, илистая глина, глина. Порядок названий классов переключается, и илистый песок, песок — ил — глина, илистая глина являются наиболее плохо определяемыми классами в этом отношении.

## ОБОРУДОВАНИЕ

В систему приборов для замеров отражения звука входят: сонарная установка AN/UQN-1b; известный морской эхолот; точный графический регистратор PGR; корреляционный регистратор, соответствующий условиям очень четкого измерения глубины эхолотом; океанографический счетчик модели 45.001, группирующий и интегрирующий прибор-аналог; система синхронизации и контроля; триггер, прилагаемый к графическому регистратору, который обеспечивает синхронизацию при приеме эхо-сигнала; две системы для регистрации замеров — двухлучевой осциллограф с фотокамерой и вольтметр с цифровым отсчетом и цифровым самописцем.

Преобразователем, используемым в качестве источника и приемника, был прибор UQN-1b — стандартный сонарный преобразователь, основанный на пьезоэлектрических свойствах кристаллов первичного кислого фосфатаммония (ADP). Уровень источника звука и сила эхосигнала определялись путем электротарировочных замеров у преобразователя с использованием его частотных характеристик. Замерами, выполненными тремя приборами UQN-1b через тарирующий приемник,

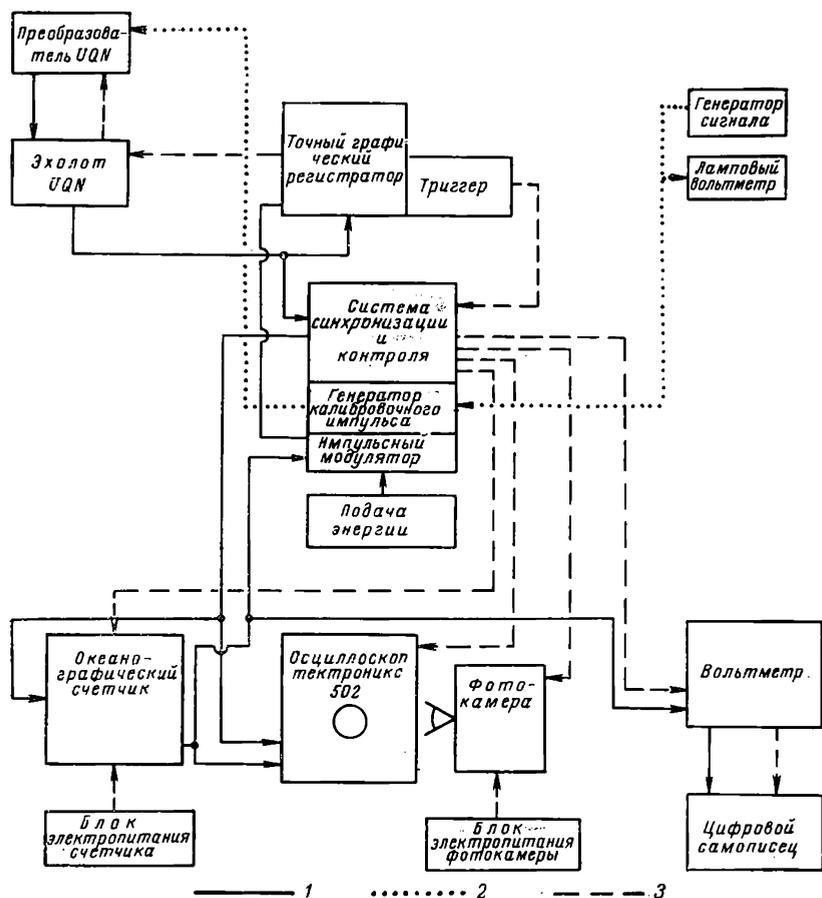


Рис. 3. Блок-схема акустической системы.

1 — контур потока отраженного сигнала; 2 — контур калибровочного сигнала; 3 — контроль синхронизации и контура потока энергии.

установлено, что уровень источника был равен  $79 \text{ дБ} + 20 \log V$ , где  $V$  — напряжение, возникающее в десятичном реостате, расположенном внутри преобразователя и включенном последовательно с кристаллом ADP. Чувствительность на входе  $73 \frac{\text{дБ}}{1 \text{ в}}$  была оговорена при изготовлении прибора для давления звука  $1 \text{ дин/см}^2$ .

Блок-схема системы показана на рис. 3.

### Описание работы системы

Точный графический регистратор включает эхолот, излучающий звуковой импульс частотой  $12 \text{ кгц}$  в воду. Отраженный дном эхосигнал воспринимается преобразователем, усиливается эхолотом и передается на графический регистратор для записи батиметрической

линии. Затем поступает в один из каналов двухлучевого осциллографа, где последовательно воспроизводятся импульсы давления, и к океанографическому счетчику, который группирует и суммирует импульсы для измерения уровня энергии. Отсюда импульс поступает во второй канал осциллографа для воспроизведения величины энергии на экране, а также к вольтметру с цифровым отсчетом и самописцу для регистрации. Осциллограммы фотографируются с экрана фотокамерой, которая дает 1600 кадров на одинарной 30-м катушке с 35-мм пленкой.

Импульсный модулятор преобразует импульс, продолжительность которого равна физической величине энергии эхо-импульса, для передачи его в регистратор PGR. Регистратор производит графическое изображение импульса в виде линии (рядом с батиметрической кривой), длина которой пропорциональна количеству энергии эхо-импульса. Все величины регистрируются в виде фотоосциллограмм и впоследствии передаются на берег для обработки на счетнорешающем устройстве. На осциллограммах зафиксированы кривые давления и энергии эхо-сигнала во времени и электроимпульс для тарирования.

Тарировочный импульс эхо-сигнала подается по обоим каналам, а кривые давления находятся по кривым энергии  $\left( \int P^2 dt \right)$ .

Замеры общей энергии эхо-импульса можно также осуществлять импульсным модулятором, вспомогательной установкой синхронизации и контроля и вольтметром с цифровым отсчетом в сочетании с регистратором. Сигнал импульсного модулятора фиксируется графическим регистратором PGR в виде отрезка прямой таким образом, что энергию звука можно сравнить с диаграммой времени пробега волны.

Вольтметр с цифровым отсчетом в сочетании с регистратором дает такие же сведения в виде цифр, напечатанных на бумаге. Эти замеры действительного времени не выявляют породы на дне, а скорее устанавливают только силу отраженного звука, так как не делалось никаких расчетов потерь энергии звука, связанных с глубиной воды. Для этой поправки можно было бы установить счетчик действительного времени, но этого сделано не было.

Для получения всех образцов осадочных пород применялась землечерпалка Вэн Вин, представляющая собой пробоотборник типа грейфера.

Во время спуска два тяжелых захвата грейфера находятся в открытом положении под действием спусковой тяги, которая сама находится под действием веса землечерпалки на туго натянутый кабель. Когда землечерпалка касается дна, ослабленный кабель освобождает спусковую тягу. Если натяжение осуществляется лебедкой, расположенной на борту судна, захваты под действием собственного веса остаются закрытыми и удерживают кусок осадочной породы, взятой с площади  $0,21 \text{ м}^2$  с максимальным вертикальным разрезом в 15 см.

## ПРОМЫСЛОВЫЕ РАБОТЫ

В результате обширных промысловых исследований звукоотражения, проведенных на площадях с большой и малой глубины воды в западной части Северной Атлантики, было сделано 31 тыс. замеров на тысяче местах. Первые рейсы проводились в глубоких водах для исследования пределов изменения величины потерь на дне, а геологический контроль ограничивался главным образом точной батиметрической регистрацией. Более поздние рейсы проводились в мелких водах, на месторождениях, где геологические условия были исследованы заранее методом классической геологии. В этих рейсах был сделан ряд акустических замеров при отборе образцов осадочных пород драгами. Главным образом эти данные и будут рассмотрены ниже.

76 акустических станций, занимающихся отбором проб осадочных пород, были расположены по континентальному шельфу к югу от Новой Англии и в заливе Наррагансетт. Судно останавливалось у каждой станции и производились одновременно акустический замер и сбор проб осадочных пород. Ранее взятые образцы осадочных пород высыхали за время их хранения и поэтому годились только для анализа размеров зерен. Поэтому в местах, где были расположены акустические станции, повторно отбирали пробы при следующем посещении. Пробы отбирали таким способом, чтобы можно было определить содержание воды. Звуковые пробы отбирали при помощи судовой акустической системы, описанной выше. Образец для анализа содержания воды извлекали вдавливанием оловянного сосуда в породу, находящуюся в ковше драги, и срезанием лопаткой избыточного количества породы с вершины.

При отборе пробы крупнозернистой породы для заполнения пробника добавляли воду.

### ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Акустические и геологические данные обрабатывались десятичным счетчиком.

Исходные акустические данные были представлены преимущественно в виде фотографий серии звуковых волн, снятых с катодного осциллографа на 30-м ленту 35-мм негативной пленки. Негативная пленка подвергалась обработке для создания непрерывного позитивного изображения осциллограмм, которые читались при помощи ручного анализатора применительно к десятичной развертке осциллографа. Амплитудные колебания, представляющие пиковое давление и конечную величину суммарного времени соответствующего давления эхо-импульса и соответствующие тарифовочные импульсы, автоматически регистрировались на перфорированных картах. Эти карты снова перфорировались вручную для включения данных о глубине воды и географическом положении точки замера и вводились в пакет карт с необработанными акустическими данными. Этот пакет карт подвергался обработке по программе «заданной силы отраженных импульсов». Машина принимала пакет карт с акустическими необработанными данными и выпускала карты, распределенные по силе отраженного сигнала. По этой программе смещения пикового давления и общей энергии эхо-импульса, а также тарифовочные импульсы преобразуются в различной величины интенсивность эхо-импульса на основе ответных характеристик преобразователя. Избирается средний и максимальный отраженные сигналы, подсчитываются средняя максимальная интенсивность этого сигнала, размеры образца и стандартное отклонение каждой исходной точки на основе максимальной амплитуды и величины общей энергии. Каждая карта интенсивности отраженного сигнала представляет суммированный замер, соответствующий географическому положению, и содержит выборочные сведения в отношении всех образцов отраженных звуковых сигналов, полученных у исходной точки. Пачка карт, отражающих силу сигнала, обрабатывалась по программе «потерь на дне». Машина принимала пачку карт силы сигнала и выдавала пачку карт потерь на дне.

По этой программе подсчитывались средняя и максимальная величины потерь на дне на основе пикового давления и величины общей энергии путем вычитания соответствующей силы эхо-сигнала и потерь на рассеивание из соответствующего уровня источника при условии сферического рассеивания и потерь на затухание в 1,2 дБ на километр (914,4 м).

Образцы осадочных пород подвергались анализу на размер зерен по действующим методикам.

Для анализа содержания воды образцы осадочных пород взвешивались на берегу на рычажных весах до и после высушивания в печи при  $t^{\circ} = 105^{\circ} \text{C}$  в течение 24 ч для установления мокрого и сухого веса. Содержание воды в осадочной породе определялось как отношение веса воды к весу твердой фазы и устанавливалось непосредственным замером мокрого и сухого веса. Мокрый и сухой вес образцов наносился на карты пакета для сбора данных относительно потерь в воде. Этот пакет карт подвергался обработке по программе «массовых свойств». Машина принимала данные относительно потерь в воде и выдавала массовые характеристики. Подсчитывались содержание воды, пористость, плотность, скорость, звукопроводность, коэффициент отражения Релея и теоретические потери на дне в децибелах в соответствии с зависимостями, приведенными выше в разделе теории. Замеры потерь на дне, сделанные на месте расположения станций, сравнивались с геологическими характеристиками отобранных образцов по программе «параллелизации и регрессии». Это — общая статистическая программа для выполнения анализа корреляции и регрессии на двух переменных величинах и вывода коэффициента корреляции, наклона линии регрессии, пересечения с осью  $Y$ , стандартной ошибки подсчета, величины  $Z$  и стандартного отклонения величины  $Z$ . Геологическими характеристиками, которые определялись, были процентное содержание ила, глины и мелкозернистого материала (ил плюс глина), средний размер зерен, сортировочный коэффициент и пористость.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Во время проведения исследования замерялась длина профилей отражения звука в глубоких и мелких водах. Эти данные здесь не представлены, но на их основании делается ряд выводов. Средняя и минимальная (соответствующая максимальному эхо-сигналу, поступающему на данную установку) величины потерь на дне, определенные на основе пикового давления и общей энергии, были нанесены на график зависимости от расстояния вдоль профиля, что позволило объяснить некоторые данные относительно этих акустических величин. Было замечено сходство направления средних величин потерь на дне, установленных на основе пикового давления и величины общей энергии на всех профилях. Этот вывод свидетельствует о том, что оба типа замеров дают одинаковую характеристику морского дна. Средние значения потерь на дне, определенные на основе величины общей энергии, оказались ниже тех же значений, полученных на основе пикового давления. Было установлено, что минимальные величины потерь на дне, замеренные на основе пикового давления и общей энергии, параллельны их соответствующим средним величинам. Тем не менее минимальные величины (максимальный отраженный сигнал) не являются наиболее показательными характеристиками морского дна, так как они зависят от числа замеряемых эхо-сигналов. Это подтверждалось разницей в распространении средних и минимальных величин, замеренных на основе пикового давления и общей энергии в двух различных рейсах, которые происходили над одинаковым профилем, но были взяты образцы разных размеров. В данном случае средние величины, определенные на основе пикового давления и общей энергии, оказались повторными для этих отдельных рейсов над одинаковым профилем. Замеры отражательной способности звука, произведенные на месторождениях, геология которых изучалась раньше другими исследователями, совпали с результатами прежних геологических работ. В частности, было установлено соответствие между отражательной способностью звука, определенной на основе пикового давления и общей

энергии, и размером зерен и содержанием ила + глины, что характеризовало тип осадочной породы (наименование класса).

Проводился анализ корреляции и регрессии между акустическими замерами (средние величины) и характеристиками образцов осадочных пород. Полученные статистические данные представляли уравнение регрессии, коэффициент корреляции и статистический показатель  $Z$ .

Потери на дне, замеренные на основе пикового давления и величины общей энергии, исследовались в зависимости от пористости, среднего размера зерен, коэффициента сортированности, процентного содержания мелкозернистого материала (ил + глина), процентного содержания ила и глины. Линия регрессии установлена на основе наименьших квадратов посредством экспериментальных данных. Коэффициент корреляции обозначает степень линейной зависимости между экспериментальными данными исследуемых переменных. Показатель  $Z$  является обычно распределяемой функцией коэффициента корреляции и используется для определения ее статистической значимости. Коэффициент корреляции приобретает большое значение (при уровне 95%), когда величина его показателя  $Z$  достигает более двух стандартных отклонений от  $Z$  статистического. Стандартное отклонение от  $Z$  статистического зависит от числа экспериментальных точек. Для данного исследования эта величина равна 0,117.

Величины коэффициентов корреляции, приведенные в помещаемой здесь таблице, показывают, что между потерями на дне и всеми геологическими величинами, которые исследовались, имеется определенная зависимость. В частности, потери на дне прямо пропорциональны пористости и содержанию мелкозернистого материала — ила и глины и обратно пропорциональны среднему размеру зерен (величина «фи» является обратной величиной логарифма размера зерна) и степени сортированности размеров (сортировочный коэффициент Трэска является обратной величиной степени сортированности).

Коэффициент корреляции указывает только на существование связи между акустическими и геологическими величинами, но не определяет какой-либо зависимости.

**Статистические зависимости между акустическими замерами и характеристиками осадочных пород**

Показатели осадочных пород	Наклон линии регрессии	Коэффициент корреляции	Статистический показатель $Z$
	Потери на дне <sup>1</sup>		
Пористость	$0,17 \pm 0,039$ дб/% ( $0,166 \pm 0,034$ дб/%)	0,706 (0,745)	$0,878 \pm 0,234$ ( $0,962 \pm 0,234$ )
Размер зерен	$1,074 \pm 0,292$ дб/ед. «фи» ( $0,961 \pm 0,274$ дб/ед. «фи»)	0,646 (0,627)	$0,768 \pm 0,234$ ( $0,737 \pm 0,234$ )
Сортированность	$1,054 \pm 0,660$ дб/ед. Трэска ( $1,258 \pm 0,580$ дб/ед. Трэска)	0,343 (0,445)	$0,358 \pm 0,234$ ( $0,478 \pm 0,234$ )
Мелкозернистый материал	$0,083 \pm 0,15$ дб/% ( $0,073 \pm 0,014$ дб/%)	0,786 (0,752)	$1,060 \pm 0,234$ ( $0,977 \pm 0,234$ )
Ил	$0,108 \pm 0,020$ дб/% ( $0,95 \pm 0,020$ дб/%)	0,782 (0,742)	$1,052 \pm 0,234$ ( $0,0954 \pm 0,234$ )
Глина	$0,239 \pm 0,060$ дб/% ( $0,266 \pm 0,056$ дб/%)	0,727 (0,716)	$(0,922 \pm 0,234)$ ( $0,898 \pm 0,234$ )

<sup>1</sup> Замеры, выполненные на основе общей энергии, взяты в скобки, а замеры, выполненные на основе пикового давления, — без скобок.

Взаимосвязь между потерями на дне и пористостью (рис. 4) совпадает количественно с величинами, предсказанными теоретически. Наклон линии, наиболее соответствующий экспериментальным точкам,

равен 0,171  $\delta\text{б}$  на 1% пористости. В приведенном диапазоне пористости теоретическая кривая, построенная в координатах потерь на дне и пористости, почти линейная и имеет наклон 0,20  $\delta\text{б}$  на 1% пористости. Возможно, что большой разброс экспериментальных точек вокруг теоретической кривой объясняется ошибками в определении местоположений отобранных образцов, и корреляция между потерями на дне и пористостью была бы наглядной, если бы содержание воды замерялось на оригинальных образцах осадочных пород.

Взаимосвязь, установленная между потерями на дне и всеми испытываемыми седиментологическими характеристиками, совпадает качественно с теоретическими характеристиками.

На рис. 5 показана диаграмма рассеяния, построенная в координатах потери на дне (замеренные на основе пикового давления) и процентное содержание мелкозернистого материала (ил и глина) в осадочной породе с линией регрессии между ними.

Диаграмма показывает степень количественного соотношения между этими величинами. Очевидно, что общей тенденцией является увеличение потерь на дне с увеличением

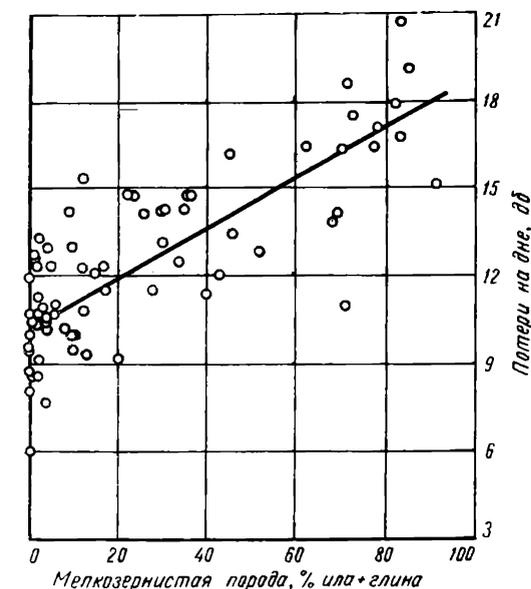


Рис. 5. Диаграмма рассеяния, построенная в координатах потери на дне (замеренные на основе пикового давления) и процентное содержание мелкозернистого материала (ил+глина) в осадочной породе.

начает, что песок является хорошо отражающей породой, ил — среднеотражающей, а песчаный и глинистый ил — плохо отра-

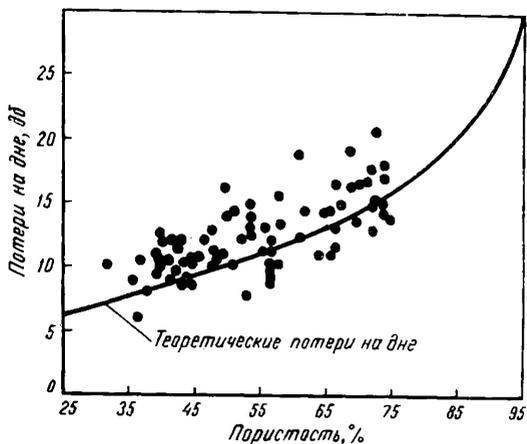


Рис. 4. Зависимость между потерями на дне (замеренных на основе пикового давления) и пористостью осадочных пород. Точки представляют замеры потерь на дне (основа — пиковое давление).

нием процентного содержания мелкозернистого материала в осадочных породах. Для упрощения сравнения потерь на дне и типов осадочных пород (наименование классов) на рис. 6 представлена схема замеренных потерь на дне (на основе пикового давления) на структурной диаграмме трех компонентов. Песок (включая гравий), ил и глина использованы в качестве конечных элементов для этой диаграммы, а относительные пропорции их в осадочной породе указаны расположением величин потерь на дне (округленных до ближайшего значения в  $\delta\text{б}$ ) внутри диаграммы. Группировка малых, средних и высоких потерь на дне, состоящем из песка, илистого песка, и соответственно в зонах песчаного и глинистого ила обозначает, что песок является хорошо отражающей породой, ил — среднеотражающей, а песчаный и глинистый ил — плохо отра-

жающей породой. Например, средняя величина потерь на дне для песка, илистого песка, песчаного и глинистого ила составляет соответственно 10,9; 13,8; 15 и 16,0 дб. Следовательно, потери на дне определяют тип осадочной породы (наименование класса).

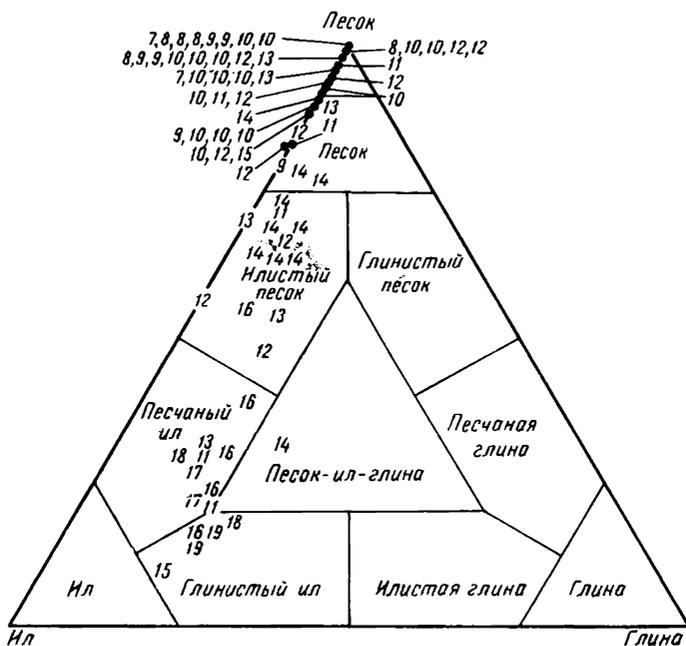


Рис. 6. Замеры потерь на дне (на основе пикового давления), нанесенные на диаграмму песок—ил—глина.

## IV.

### *Бурение в море*

#### **ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ МОРСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК**

*Ир. Дж. Дж. Стенджер<sup>1</sup>*

По принятой морской терминологии, под понятием «устойчивость» понимают способность судна или какого-либо другого плавающего на поверхности воды тела возвращаться в свое первоначальное положение при действии самых различных гидрометеорологических условий.

В связи с непрерывным ростом объема морской нефтедобычи требования к устойчивости буровой установки и ее рабочей площадки при работе в море приобрели более широкое значение. Выражение «хорошая устойчивость» означает, что буровая установка или буровая платформа имеет небольшие горизонтальное и угловое отклонения от первоначального положения в условиях бурного моря, обеспечивая при этом малую величину сил натяжения якорных канатов, незаливаемость рабочей палубы, безопасность буровой бригады во время штормов и ураганов и т. д. Буровая установка должна также создавать условия для максимального сокращения простоев буровой бригады по гидрометеорологическим причинам.

Данная статья представляет собой попытку вскрыть сущность выражения «устойчивость» для плавучих установок, используемых для бурения в море.

Техника морского бурения за последнее десятилетие была значительно усовершенствована. Бурение с поверхности воды в США возникло вначале на озерах и заливах штата Луизиана, где первые буровые установки были смонтированы на стоящих в воде или на болоте платформах, поддерживаемых деревянными сваями. В настоящее время бурение с водной поверхности производится в открытом море.

При эксплуатации погружных барж на глубоководных акваториях крупногабаритные, фиксируемые на месте цилиндрические стальные понтоны используются в качестве опор для оснований буровых установок, а также для обеспечения необходимой устойчивости во время транспортировки их по воде и при установке на дно. Основная часть внутриматериковых вод находится вблизи побережья Мексиканского залива, по соседству с областью открытого моря, где рельеф дна формирует другой шельф и погружается в сторону моря очень полого и плавно (например, глубина 50 м находится приблизительно на расстоянии 110 км от береговой полосы, а глубина 200 м — около 204 км).

Бурение в открытом море, начавшееся в первой половине 30-х годов нашего столетия, явилось следующим шагом в освоении акваторий.

Морское бурение в начале своего развития велось с плавучих оснований. Свободно плавающую буровую баржу буксиром доставляют

<sup>1</sup> Главный корабельный конструктор RNN RETD, США. № 116.

на место бурения, а затем частично погружают в воду в полузатопленном состоянии.

Буровые баржи состоят из трех основных частей: 1) подводного погружного понтона, устанавливаемого на дно; 2) надводной платформы с рабочей палубой; 3) конструкций, соединяющих эти две части.

Высота конструкции, соединяющей подводную и надводную части, должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить безопасное положение рабочей площадки над уровнем воды при наиболее высоких волнах (с учетом прилива), возможных в данной акватории.

Применение буровой баржи позволяет решить не только проблему устойчивости во время транспортировки, установки и в процессе погружения ее на дно, но и обеспечивает устойчивость буровой платформы во время бурения и не вызывает никаких затруднений при глубине воды от 10 до 20 м. Во многих случаях морские скважины бурят при глубине воды меньше 10 м, и только несколько погружных установок разработаны для больших глубин (например, буровая установка «Кермак Риг 54», которая, как сообщалось в печати, может бурить при глубине воды 53 м в условиях большого волнения моря).

Погружение затопляемой баржи осуществляется путем заполнения водой специальных понтонов, установленных в нижней части морского основания.

Во время погружения под воду нижней части морского основания баржи соединительная конструкция ее должна обеспечивать достаточные продольный и поперечный моменты инерции площади ватерлинии с тем, чтобы была создана необходимая положительная устойчивость и получена надлежащая метацентрическая высота  $GM$ , пока буровая установка не сядет на дно.

В этой связи необходимо привести следующие уравнения:

$$GM = KM - KG,$$

где  $GM$  — возвышение метацентра над центром тяжести;  $KM$  — расстояние метацентра от основной линии  $K$ ;  $KG$  — расстояние центра тяжести от основной линии.

Существует также и второе уравнение:

$$KM = KB + BM,$$

где  $KB$  — расстояние центра плавучести  $B$  от основной линии, а  $BM$  — возвышение метацентра над центром плавучести.

Следовательно,

$$GM = KB + BM - KG.$$

Величина  $KB$  может быть определена по кривым теоретических элементов и рассчитана по теоретическому чертежу баржи. Величина  $BM$  рассчитывается как частное от деления величины поперечного момента инерции  $G$  участка ватерлинии на объемное водоизмещение  $V$  при этой ватерлинии, или, иными словами,  $BM = \frac{G}{V}$ . Величина же  $KG$  определяется по таблице весовой нагрузки и расположения общесудовых и технологических постоянных запасов балластной воды.

Для уменьшения влияния волновых нагрузок на колонны и уменьшения влияния ветровых нагрузок на расположенную выше уровня воды часть конструкции (величина этих нагрузок при всех условиях должна быть меньше величины допускаемого опрокидывающего момента) площадь ватерлинии колонн следует проектировать настолько малой, насколько это оправдывается с точки зрения устойчивости, чтобы величина  $GM$  была положительной в процессе погружения и затопления

морского основания на дно. Во время погружения и затопления положение центра плавучести  $B$  постепенно перемещается вверх, и его положение можно определить по кривым элементов судна для любой глубины погружения морского основания (т. е. осадки судна) под воду. Величина  $BM$  постепенно уменьшается по мере возрастания водоизмещения корпуса основания, а моменты инерции участков ватерлинии цилиндрических колонн (так называемых «молочных бутылей») остаются неизменными. Следовательно, для того чтобы величина этих участков была во время погружения по возможности меньше, значение  $KG$  должно быть небольшим, иными словами положение центра тяжести  $G$  должно сохраняться как можно ниже. Для буровых установок данного типа этого можно достигнуть путем уменьшения высоты вышки, поддержания минимальной величины мертвого веса (вес рабочих и запасных узлов внутри и снаружи платформы), а также путем заполнения балластной водой самых нижних участков донной части конструкции основания.

В класс самоподнимающихся установок входят морские буровые установки с тремя, четырьмя, шестью, восемью, двенадцатью и даже четырнадцатью опорами. Многоколонные морские буровые установки были разработаны с целью создания устойчивых передвижных морских буровых платформ для работы на таких участках акваторий, где характер грунта еще не исследован. Но если известно, что грунт дна имеет достаточную несущую способность (примерно до  $50 \text{ кг/см}^2$ ), то можно использовать четырехколонные установки, а при удельной нагрузке до  $25 \text{ кг/см}^2$  можно использовать восьмиколонные установки, что обеспечит необходимую устойчивость платформы при различных технологических операциях в любых условиях погоды и состояния моря. Например, специализированные восьмиколонные рабочие платформы фирмы Рийкс уотерстаат опираются на дно, имеющее максимальную несущую способность  $30 \text{ кг/см}^2$ . Эти платформы предназначены для барж, используемых при морских ремонтных работах по улучшению условий входа судов в гавань Амстердамского порта. За последние 10 лет морские буровые установки самоподнимающегося типа постепенно видоизменялись и теперь в их конструкции входят уже шесть колонн, предназначенных для улучшения условий бурения глубоких скважин в глубоководных участках акваторий.

Разработано несколько типов домкратов для подъема и спуска платформы; в частности, созданы домкраты с пневматическим и гидравлическим управлением, а также с приводом от электродвигателей и т. д.

По сообщениям печати, самые длинные колонны достигают 118 м для бурения при глубине воды до 84 м. Они устанавливаются на четырехопорных установках, оборудованных механическими подъемниками.

При использовании домкратов скорость подъема платформы составляет 0,30—0,45 м/мин. Эти установки предназначены для работы в Северном море. В литературе описана конструкция самой большой морской буровой трехколонной платформы с длиной колонн 114,6 м, оборудованной домкратами. Эта платформа предназначена для бурения при глубине воды 76 м. Ее остойчивость в плавучем состоянии (например, при транспортировке к месту работы) достигается без затруднений. Иногда буровую вышку опускают и принимают меры для увеличения фактической высоты от палубы до уровня воды в море.

Устойчивость морской платформы зависит от следующих факторов:

1) числа колонн, расстояния в свету между колонной и корпусом домкратного механизма, а также от стопорящего устройства;

2) несущей способности грунта морского дна;

3) отсутствия песка-пльвуна, зоны потери раствора и т. д. (на

побережье Дании влияние песка-плывуна было обнаружено по образованию кратеров глубиной 6—9 м вокруг колонн и свай);

4) времени, необходимого для подъема домкратами при отсутствии волн.

Быстродействующий механизм домкрата, подобный описанному выше, может поднять платформу на высоту до 3,7 м за 30 мин. За это время волны высотой до 3,7 м, часто наблюдаемые в Северном море, успевают ударить по платформе 125 раз.

Хотя такие передвижные платформы уже построены и в настоящее время еще строятся для глубины воды от 11 до 76 м, за последнее десятилетие развилось бурение скважин в море с плавающих судов. Этот способ бурения имеет большие перспективы. И если эти работы будут развиваться дальше, сфера их применения может оказаться очень обширной.

В настоящее время глубина воды до 100 м уже освоена, и считается практически возможным освоить глубину воды до 150—180 м.

Буровое судно непрерывно подвергается воздействию находящейся в постоянном движении морской воды. При обрыве каната, соединяющего его с дном моря, буровое судно превращается в игрушку для волн, ветра, различных течений и т. д. Каждая из этих стихийных сил, а часто и все вместе одновременно могут удалить буровое судно от места бурения скважины. Для того чтобы положение стола ротора буровой установки над устьем морской скважины сохранялось все время в пределах необходимой точности (чтобы обеспечить по возможности меньшее напряжение бурильной колонны от изгибающей нагрузки), разработано несколько якорных систем для удержания буровой установки на месте. Кроме того, с целью сокращения времени и затрат средств на бурение морских скважин предпринимаются попытки разработать динамическую систему удержания установки на месте бурения.

Вполне понятно, что буровые установки самоподъемного типа (с подъемниками), имеющие прямоугольную или трехугольную ватерлинию большой площади, не могут обеспечить остойчивость буровой установки (и, в частности, необходимую площадь рабочей палубы для морского бурения) в плавучем состоянии на поверхности волнующегося моря. Соотношения основных габаритных размеров самоподъемных установок таковы, что они оказываются подверженными воздействию всех волновых нагрузок, а высота борта слишком мала, чтобы предохранить палубу от заливания. Кроме того, волновые нагрузки и морские течения вызывают большие усилия в якорных канатах системы удержания, и не найдено еще способов уменьшения и облегчения их совместного воздействия на плавающее судно.

Перед тем как перейти к изложению следующих этапов развития техники морского бурения — в направлении создания плавающих буровых установок, подразделяемых на буровые суда и полупогружные основания, следует определить требования, предъявляемые к такой установке на основе опыта морского бурения в водах Мексиканского залива и у побережья Калифорнии. Трудности, связанные с процессом бурения морской скважины с бурового судна, которое никогда не остается в состоянии полного покоя, совершенно очевидны.

Для создания устойчивой морской буровой установки, которая может обеспечить малый процент простоев и непроизводительных затрат времени в общем балансе времени, необходимо придерживаться перечисленных ниже критериев проектирования.

1. Возможность бурения скважины при значительной высоте волны — до 1,8—2,4 м и скорости ветра до 35 узлов (65 км/ч).

2. Соответствие периодов бортовой и килевой качки периодам волнения моря.

Желательно, чтобы собственные периоды бортовой и килевой качки судна были больше периодов волны. Если же эти периоды по величине совпадают, может возникнуть явление резонанса колебаний бурового судна и морских волн, что должно быть полностью исключено. Это явление может привести к возникновению слишком больших амплитуд килевой качки, что может вызвать перемещение различных грузов и тяжеловесов (перераспределение веса по корпусу судна), повреждение и даже опрокидывание судна и в любом случае — чрезмерно большое время простоев; примерно те же самые последствия возникают в том случае, когда соответственные периоды бортовой и килевой качки судна меньше, чем периоды волн; в этом случае качка судна будет резкой, порывистой.

3. Сохранение амплитуды бортовой и килевой качки в пределах  $2-3^\circ$  от нулевого положения судна при спокойной воде.

4. Орбитальный радиус центра бурения в платформе во время вертикальных перемещений и качки должен быть не более 5% от глубины моря в точке бурения.

5. Вертикальные колебания судна выражаются в процентах от высоты волны.

Никаких точных норм для вертикальной качки не установлено из-за большого многообразия характера волнения моря и профиля волн. Но опыты показали, что величина вертикальной качки судна или буровой платформы может изменяться в зависимости от изменения отношения длины волны к длине судна или платформы.

6. Влияние углового отклонения судна при качке на горизонтальное перемещение стола ротора при бурении скважины с бурового судна или полупогружной установки зависит от расположения рабочей палубы. Если она расположена выше центра вращения судна или поблизости от него, влияние углового отклонения судна будет незначительным. Таким образом, если бурение осуществляется непосредственно из центра судна или из точки, расположенной близко к центру, влияние углового отклонения плавучей установки на процесс бурения не будет заметным.

Если бурение ведется через специальное окно в корпусе судна на одном из концов его, суммарное влияние на процесс бурения отклонения судна при одновременной качке и вертикальных перемещениях должно оставаться в пределах 5% от глубины воды в любой точке рабочей палубы.

7. Размеры рабочей палубы должны быть такими, чтобы общая площадь ее была около  $4000 \text{ м}^2$ .

8. Возвышение рабочей палубы над уровнем моря должно составлять около 15 м, чтобы палуба не заливалась водой даже при самой высокой ожидаемой волне и чтобы оставалось достаточное пространство между рабочей палубой и уровнем воды, необходимое для манипуляций с буровым оборудованием.

9. Буровое судно должно быть сконструировано с таким расчетом, чтобы была возможность одинаково успешно осуществлять как надводное, так и подводное заканчивание морских скважин.

10. Рабочая грузоподъемность бурового судна должна составлять не менее 3000 т и даже до 4000 т, с учетом возможных работ в будущем и в районах моря с тяжелыми гидрометеорологическими условиями и значительно отдаленных от баз.

11. Размер палубы должен обеспечивать размещение на нем всего необходимого бурового оборудования и инструмента для бурения и заканчивания морских скважин глубиной 6100 м и более.

12. Якорная система должна удерживать буровое судно над устьем скважины при любой силе и направлении ветра, волн, течений и т. д., действующих на установку.

Удерживающая способность якорной системы зависит, конечно, от удерживающей способности морского дна. Но, как правило, она должна обеспечивать восприятие усилий не менее чем до 40  $T$ .

При использовании некоторых существующих якорных систем, видимо, можно успешно бурить морские скважины при глубине воды до 300 м, но при более значительной глубине воды единственным способом удержать плавучее буровое сооружение над устьем скважины является применение системы динамической стабилизации.

13. В современных конструкциях морских буровых установок, предназначенных для бурения морских скважин глубиной более 6000 м, общая установленная мощность привода составляет 6000—8000 л. с. Эта мощность расходуется на выработку электроэнергии на привод ротора, лебедки, буровых и вспомогательных насосов, компрессоров и других узлов основного и вспомогательного оборудования. Неэкономично не использовать такую большую мощность для самостоятельного перемещения морской буровой установки с одной точки бурения на другую.

14. Морская буровая платформа должна быть в состоянии выдерживать ураганы. Для проведения исследований на моделях следует принять следующие критерии оценки способности противостоять воздействию ураганов: высота волны 12,2 м, скорость ветра 185—222 км/ч. При испытаниях необходимо учитывать также морское течение как у поверхности, так и на глубине.

15. Затраты средств на сооружение должны находиться в разумных пределах.

Эти основные критерии, выявленные опытом морского бурения, следует использовать для достижения устойчивой морской буровой установки, которая обеспечивала бы бурение разведочных и эксплуатационных скважин на морских месторождениях без простоев, связанных с воздействием ветра, волн и морских течений.

Какие же задачи возникают при решении этой сложной проблемы? На первых этапах развития морского бурения использовались переоборудованные баржи. Стоимость их переоборудования в плавучие морские буровые установки была небольшой. Впоследствии стали строить специальные баржи для морских буровых установок. Бурение с этих судов осуществляется через специальное окно в центре корпуса судна или с наружной стороны борта (некоторые суда могут вести бурение двумя этими способами) или с одного конца баржи.

Центральное расположение вышки на судне с точки зрения получения остойчивости является предпочтительным, но создает затруднения при необходимости отойти от устья скважины в случае урагана или шторма или когда начинаются газо-нефтепроявления и скважина подлежит подводному заканчиванию. Определенное число балластных емкостей, которые то заполняются морской водой, то опорожняются, необходимо для достижения устойчивости рабочей палубы, например во время прихвата бурильной колонны или при других работах, которые зависят от устойчивости судна. Буровые суда удерживаются на месте в большинстве случаев при помощи восьми якорей, которые для создания надежной системы сцепления с дном моря устанавливаются на большом расстоянии от судна. Лебедки, применяемые для установки емкостей, должны иметь большое тяговое усилие и хорошие тормоза.

Ввиду высокого расположения основного и вспомогательного оборудования, что отрицательно влияет на остойчивость судна, необходимо обеспечить большую начальную его остойчивость, т. е. большое значение  $GM$ . Уже построено несколько корпусов буровых судов таких типов, строятся они и в настоящее время. Разрабатываются новые конструкции для повышения остойчивости бурового судна: корпуса с прикрепленными к их бортам емкостями вдоль ватерлинии, судно с вынесен-

ными за пределы борта стрелами и консолями, катамараны, судно с центральной вращающейся платформой (турели) с проходным отверстием, обеспечивающим центральное направление для якорной системы и свободное вращение корпуса судна, широкие плоскодонные баржи и т. д. Для этих широкогабаритных судов с полной ватерлинией в носовой и кормовой частях, а также для катамаранов и других видов буровых судов якорные системы должны обеспечивать возможность вращения судна вокруг вертикальной оси, проходящей через ось (вокруг устья) скважины. При этом линейные и угловые перемещения судна происходят в допустимых пределах, а в случае, когда якорная система не удержит судно в штормовую погоду, судно сможет стать носовой частью к ветру. В принятой схеме каждый якорный канат или цепь имеет свою лебедку. †

Наибольшее число буровых судов заякориваются четырьмя якорями в носу и четырьмя якорями в корме, благодаря чему достигается максимальная стабилизация и имеется большая площадь рабочей палубы для буровых работ.

При таком большом расстоянии между носовой и кормовой системами якорной стабилизации необходимы дистанционное управление и контроль. Для того чтобы центр вращения бурового судна находился непосредственно над устьем морской скважины и все время удерживался в этом положении, контроль и управление работой якорных лебедок осуществляются с одного пульта. На щите должны регистрироваться показания тензометров, датчики которых установлены на якорных канатах. Другие щиты на центральном пульте управления должны обеспечивать контроль за положением судна, контроль за перемещениями и осадкой, дистанционный контроль управления системой балласта и контроль за уровнем воды в емкостях. На центральном пульте управления находятся также распределительные щиты и контрольные устройства энергосилового хозяйства, внутренних систем коммуникации, приборы аварийного и противопожарного контроля.

Сложная проблема, какой является вращение бурового судна и поворот его на определенный угол вокруг устья морской скважины, решается в настоящее время в большинстве случаев успешно.

Когда якорь с цепью и канатом брошен в море, вся якорная система должна быть предварительно натянута, чтобы ни один якорь не сдвинулся с места на дне моря во время бурения и рабочая палуба сохраняла бы устойчивое положение над устьем скважины, т. е. чтобы перемещения судна находились в допустимых пределах.

Как правило, коэффициент удерживающей силы якоря весом 10 т не превышает трехкратной величины его веса, поэтому удерживающая сила такого якоря составляет примерно 30 Т. Такой якорь в соответствии с правилами должен быть соединен с цепью калибром 90 мм (разрывное усилие которой составляет 182 Т). На дне моря должен лежать участок цепи длиной, примерно равной шести звеньям по 27,5 м, общим весом около 30 Т. Нагрузка в 30 Т, обусловленная силой трения о морское дно, должна создавать такую же якорную силу, какую создает и сам якорь.

В этом случае суммарная величина удерживающей силы якоря с цепью составляет около 60 Т, на которую и проверяется натяжение каждой линии каната якорного устройства. Хотя такого размера якорной системы Дэнфорт в соответствии с рекламой развивают удерживающее усилие, равное 12-кратной величине их веса, в литературе опубликованы сведения о том, что якоря этой системы весом около 8 т имели удерживающее усилие до 36 Т при полном натяжении тросов, что составляет 4,5-кратную величину их собственного веса. В связи с этим удерживающее усилие было увеличено путем установки второго якоря, соединенного с первым последовательно и имеющего вдвое меньший

вес. Никаких затруднений в связи с этим впоследствии не возникало. Совершенствуются и другие системы стабилизации бурового судна в зависимости от формы его корпуса, его главных размеров и их соотношений.

Тем не менее для большей части буровых судов довольно трудно обеспечивать устойчивость при стоянке в районе зоны континентального шельфа при высоте волн 1,80—2,40 м и скорости ветра 65 км/ч (35 узлов), которые часто возникают в Северном море. Другим недостатком таких плавающих буровых судов является малая высота борта от ватерлинии до верхнего его края при широком корпусе баржи. Во время порывистого ветра короткие крутые волны заливают рабочую палубу.

Хотя до сих пор и не существует идеальных способов обеспечения надежной устойчивости буровых судов для ведения буровых работ при любых условиях в море, тем не менее затраты средств на создание такого бурового судна (вместе со стоимостью бурового и вспомогательного оборудования, инструмента, материалов, силового хозяйства и т. д.) невелики, не требуется и значительных первоначальных капитальных вложений.

Другим положительным свойством таких буровых судов является возможность использования установленной приводной мощности не только для технологических нужд, но и для обеспечения самоходности судна и стабилизации его, например при якорной системе удержания.

В настоящее время для бурения при глубине воды 8 м с бурового судна, имеющего осадку 4,3 м, самоходное судно способно вращаться вокруг устья скважины, а также снимать и устанавливать якоря.

Якорная система стабилизации обходится дорого, на манипуляции с ней затрачивается много времени и она не обладает необходимой эффективностью, особенно если удерживающая способность грунта морского дна не известна или мала, либо глубина воды возрастает. Для этих условий разработана новая система стабилизации судна — система динамической стабилизации.

При динамической стабилизации плавающее буровое сооружение удерживается точно над устьем скважины в пределах допускаемых отклонений только путем перемещения и маневрирования самой установки наплаву. Для этого необходимо, чтобы судно было высокоманевренным и могло как бы «застывать» на точке и держаться против ветра и направления волны. Если эти условия выполняются, то для системы динамической стабилизации потребуется минимальный расход приводной мощности, которая будет затрачиваться на установку и расположение бурового судна в направлении наименьшего сопротивления действию ветра и волнения. Когда же ветер изменяет направление, положение судна можно изменять поворачиванием его корпуса вокруг оси устья скважины, так как система стабилизации допускает поворот плавучей установки на 360° за короткое время.

В этой связи можно считать, что расход мощности будет минимальным при выборе соответствующей формы корпуса судна, определяющей его высокие мореходные качества и маневренность при действии ветровых и волновых нагрузок. Широкое плоскодонное судно имеет недостаточно благоприятные мореходные качества и слабое противодействие ветровым и волновым нагрузкам.

Анализ устойчивости морских буровых установок будет неполным, если не остановиться на рассмотрении полупогружных морских оснований. Целый ряд таких морских буровых установок уже построен и несколько установок находятся в настоящее время в стадии строительства в США и Западной Европе.

Полупогружные морские буровые установки отличаются большими габаритными размерами и поэтому их называют установками с прост-

ранственным корпусом. Новая конструкция одной из таких установок будет иметь длину 111,25 м и ширину 91,4 м. Основная цель, которую преследуют при проектировании каждой новой конструкции полупогружной буровой установки, заключается в создании наиболее устойчивой буровой платформы с учетом специфики бурения в море.

На рабочей платформе (иногда обшиваемой с боков для облегчения работы в суровых условиях моря и климата) расположены машинное отделение, мастерские, склады, жилые помещения для обслуживающего персонала. Все эти помещения находятся настолько высоко над уровнем спокойного моря, что всегда остаются вне досягаемости для волн; кроме того, такая высота необходима для сборки и монтажа всего бурового оборудования и работы с ним, а также оборудования, предназначенного для подводного или надводного заканчивания скважин. В большинстве случаев эта высота составляет 15 м (см. критерий 8 из перечисленных выше для буровых судов).

При треугольной, прямоугольной, звездообразной и т. д. формах конструкции основания рабочая палуба должна иметь полезную площадь около 3720 м<sup>2</sup> (см. критерий 7).

Верхняя платформа поддерживается погруженной в воду при помощи поплавковой части корпуса, которая в различных конструкциях подобных установок имеет разную форму, но главная цель, которую преследуют при проектировании полупогружных буровых установок, заключается в том, чтобы длина погруженной части основания обеспечивала наименьшее влияние волновых движений морской воды на устойчивость всей конструкции. Влияние волновых нагрузок, орбитальных перемещений воды и морских течений уменьшается довольно сильно по мере углубления от поверхности моря, т. е. с увеличением осадки плавающего корпуса.

Можно считать, что погруженная под воду на глубину 10—15 м поплавоквая часть корпуса достигает сравнительно спокойной зоны воды; при этом амплитуда бортовой и килевой качки, а соответственно и амплитуда колебаний рабочей платформы будет в допустимых пределах (см. критерии 3 и 4). Рабочая платформа соединена с погруженной поплавковой частью конструкции. Соединяющие их узлы являются важной частью общей конструкции; эти погруженные конструкции предназначены для создания начальной остойчивости (*GM*) и запаса плавучести. Запас плавучести необходим, так как он компенсирует разницу в колебаниях нагрузки сооружения, например при приеме и откачке балласта, регулирующего положение судна, при стоянке сооружения или при его транспортировке; приемом балласта регулируются вертикальные составляющие сил натяжения якорных канатов, изменяющиеся при различном направлении ветра и волнения. Эти погружные части корпуса плавающего основания имеют цилиндрическую форму и часто по внешнему виду напоминают молочные бутылки. Цилиндрическая форма колонн наиболее устойчива против изменения направления ветра и волнения. Колонны располагают по возможности на большом расстоянии одну от другой, чтобы получить наибольший момент инерции при наименьшем их диаметре. Диаметр цилиндров должен быть наименьшим, так как лабораторными испытаниями установлено, что волновая нагрузка на цилиндр диаметром около 7 м может достигать 80 Т. Для четырехколонной конструкции суммарная волновая нагрузка на все четыре колонны превышает 300 Т и вместе с давлением воды при морских течениях и ветровой нагрузкой может привести к возникновению критической нагрузки на якорную систему.

Буровая установка указанного типа не зависит от угла ориентации ее по отношению к давлению ветра, волнения и течения.

Если удерживающая способность морского дна хорошая, а метеорологические условия умеренные, то буровая установка такого типа обес-

печивает очень высокую устойчивость рабочей платформы для условий морского бурения и хорошо удовлетворяет наибольшему числу приведенных выше критериев проектирования морских буровых установок.

Однако во время урагана «Хильда» две крупные морские буровые установки с пространственным корпусом, работавшие в Мексиканском заливе, сильно пострадали. Одна из этих морских установок, носящая название «Оушен дриллер», потеряла шесть якорей из девяти и была отнесена на 28 км от своего первоначального положения вместе с 14 членами буровой бригады, находившимися на установке. Вторая морская буровая установка, называвшаяся «Блю уотер» № 1, затонула, но люди не пострадали.

В случае с морской установкой «Оушен дриллер», державшейся за дно моря всего тремя тащившимися за ней якорями, совместное действие ветра, волн и морского течения должно было развить нагрузку на нее до величины более 300 Т. Для расчета якорной системы указанная выше величина нагрузки является довольно близкой к истинной, но она, вероятно, превзойдет расчетную величину, полученную на основании проведенных в Дании экспериментов.

Что касается установки «Блю уотер», то рассчитать для якорной системы величину нагрузки, при которой установка срывается с якорей и начинает бесконтрольное движение, трудно.

Тем не менее наблюдавшие с воздуха за этой установкой во время урагана на большом расстоянии от нее члены буровой бригады видели, что она плавала, перевернувшись килем вверх, с двумя из восьми заякоренных бுவ, которые были повреждены. А через некоторое время она совсем исчезла с поверхности моря и затонула.

Потеря этой установки с пространственным корпусом во время урагана «Хильда» могла быть также результатом повреждения и выхода из строя якорей, вызванного чрезмерной ветровой нагрузкой на всю систему. Вследствие этого буровая платформа должна была дрейфовать в подветренную сторону, влочась вдоль линии носовых и кормовых якорных канатов (из-за выхода из строя одной пары якорных канатов под действием чрезмерной нагрузки при урагане). Когда платформа накренилась в сторону подветренных якорных канатов, находясь с наветренной стороны, неуравновешенная нагрузка в сочетании с ветровой и волновой нагрузками (действовавшими также на нижнюю часть днища платформы с силой более 300 Т) могла легко вызвать сильный крен и погружение под воду конических частей «молочных бутылей», находившихся с подветренной стороны. За этим последовал дополнительный крен, помимо уже возникшего, и в результате платформа перевернулась килем вверх.

Хотя буровая установка полупогружного типа является устойчивой и удобной для бурения морских скважин, приведенные выше факты указывают на то, что она должна быть оборудована надежной якорной системой и ее мореходные качества, а также сопротивляемость различным естественным нагрузкам при бурении в море должны быть значительно повышены.

Эту установку нельзя буксировать в полузатопленном состоянии из-за слишком высокого сопротивления движению в воде и недостаточной устойчивости по курсу движения. Для того, чтобы буровую установку можно было буксировать, находящаяся под водой затопленная часть корпуса плавучего основания должна всплыть на поверхность. Но даже и при этом положении полупогружной морской буровой установки скорость буксирования ее не должна превышать 3,76 км/ч (двух узлов) или в крайнем случае 5,56 км/ч (трех узлов).

Новые конструкции морской буровой установки, представляющие попытку повысить ее мореходные качества, одновременно придают установке бо́льшую чувствительность к углу воздействия различных нагру-

зок. А это обстоятельство делает сомнительным успешное применение системы динамической стабилизации для морской буровой установки с пространственным корпусом.

При использовании системы динамической стабилизации морская буровая установка не подвергается тем опасностям, которые возможны при якорной системе стабилизации.

---

## О ПРИМЕНЕНИИ ПОГРУЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ БУРЕНИИ МОРСКИХ СКВАЖИН

*К. Г. Янг<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

Около десяти лет назад в нефтяной промышленности началась активная работа над проблемами бурения морских нефтяных скважин в водах глубиной более 150 м. Эта активность в основном мотивировалась тем, что запасы нефти, приуроченные к суше и мелководью, ограничены и что ресурсы регионов континентального шельфа будут являться источником добычи нефти в будущем.

Прогресс в глубоководном бурении основан на наиболее экономичном и эффективном сочетании возможностей техники и человека. Многочисленные эксперименты показали, что комбинация человек — машина должна найти применение прежде всего при ремонте подводного оборудования. Преимущество подводных устья скважины и нефтесборной системы, которые исключают влияние волнения, приливов, отливов и течений, общепризнано.

Испытания показывают полную возможность перемещения оборудования для нефтяного бурения с поверхности по дну моря. Бурение на нефть с морского дна должно быть более эффективным и экономичным, чем в настоящее время применяемый метод бурения с поверхности воды.

### СИСТЕМА ГЕЛИЙ-КИСЛОРОДНОГО ДЫХАНИЯ

Большим техническим достижением, связанным с погружением человека и возможностью выполнения всех операций на дне, является создание системы для дыхания (наиболее подходящая смесь — гелий с кислородом), функционирующей при давлении порядка десятка атмосфер. Такое давление будет создаваться в погружном помещении в условиях погружения на глубину в несколько сотен метров. Способность человека работать в окружении высокого давления развивалась на протяжении многих лет. Однако заметные успехи в технике погружения и создании жизнеподдерживающих дыхательных систем с заменой азота гелием и снижением процента кислорода в зависимости от глубины, для предотвращения кислородного отравления сделаны лишь за последние семь лет. Широкое использование дыхательной смеси гелия и кислорода дало возможность увеличить глубину погружения, которая ограничивалась прежде вследствие азотного наркоза.

Сжатый воздух, вдыхаемый длительное время на глубинах более

---

<sup>1</sup> Оушен инжиниринг программ АВКО корпорейшн, США. № 149.

30 м, является причиной наркотической болезни, которая еще слабо изучена.

Военно-морские силы США и Горное бюро начали использовать гелий-кислородную смесь около сорока лет назад для предотвращения кессонной болезни, но вследствие того, что декомпрессия при использовании гелия требует больше времени, чем при использовании азота, применение гелиевой смеси было ограничено глубинами погружения до 45 м. Постановка вопроса о бурении глубоководных нефтяных скважин предъявляет жесткие требования к погружной технике. В связи с этим появилось много пионеров, изъявивших желание работать в области развития техники бурения на нефть в глубоких водах. Хотя в этом направлении сделано не мало, многое еще нужно выполнить, прежде чем глубоководное морское бурение сможет быть осуществлено.

### ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПОГРУЖНОЙ УСТАНОВКИ

Можно утверждать, что человек постепенно привыкает к глубинным подводным условиям и что более экономичные средства работы в глубоких водах будут достигнуты при комбинированном использова-

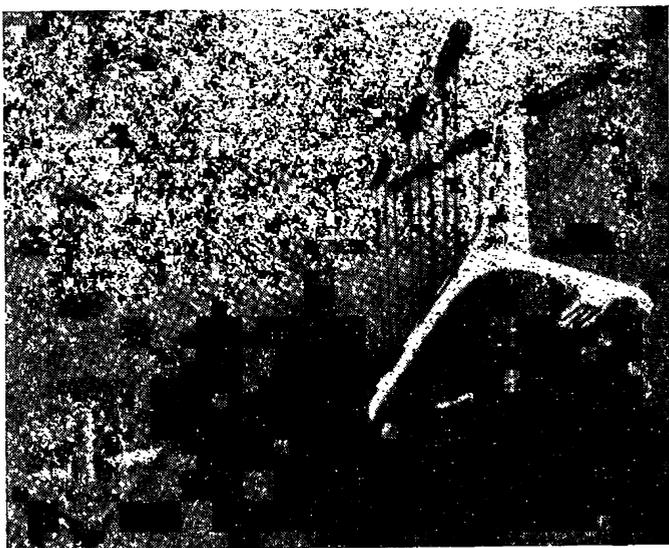


Рис. 1. Погружная буровая установка, расположенная на дне и спускающаяся с поверхности.

нии людей и машин. Для подтверждения этой концепции фирма АВКО корпорейшн недавно провела расчеты и анализ жизнеподдерживающих систем, которые будут использоваться в погружных установках для бурения. Спроектированная этой фирмой погружная буровая установка (рис. 1) предназначена для бурения скважины на континентальном шельфе независимо от времени года при глубинах воды от 9 до 183 м. Погружная установка должна быть платформенной с модернизированным основанием, с независимым глубоководным подъемником, заключенным в водонепроницаемый корпус-«колпак».

Внутри буровая установка будет испытывать давление смеси гелия с кислородом, зависящее от глубины расположения рабочей палубы, на которой размещены жилые помещения и рабочее место (рис. 2).

Основная часть буровых операций, а также оборудование должны быть обычными, хотя преимущество остается за автоматической буро-

вой техникой, какой является, например, автомат спуско-подъема бурильных труб, разработанный в проекте Мохол.

Незначительное различие между буровым оборудованием, предназначенным для бурения с морского дна и на суше, заключается в установке «колпака» и в оборудовании устья скважины обратным клапаном на случай выброса. Эта техника должна защищать от сверхдавлений, поступления токсических газов и от опасности взрыва в основном куполе погружной установки.

Погружная установка должна перемещаться к точке бурения посредством собственных двигателей. Установка будет приводиться в движение винтами, смонтированными в буксирной части и действующими от тех же дизель-электрических двигателей, которые предназначены для буровых работ.

Буровая установка должна быть рассчитана таким образом, чтобы из одного положения можно было пробурить несколько скважин.

Контакт с поверхностью будет поддерживаться при помощи системы буев, обеспечивающей связь судно—судно, судно — берег. Удаление отработанных газов из дизель - электрического привода и сигнальная связь с поверхностью должны осуществляться посредством плавучей подвесной системы. Для доступа обслуживающего персонала к погружной установке и для снабжения предназначена погружная лифтовая система.

Респираторная система должна быть снабжена устройством полочистой регенерации гелий-кислородной смеси для удаления использованных газов из дыхательной смеси и пополнения состава кислородом. Дополнительное жизнеподдерживающее оборудование — хранилище питьевой воды, санитарное помещение, кухня, склад пищевых продуктов и кают-компания — может быть заимствовано у Военно-морских сил США или в Центре по исследованиям атомных подводных лодок. Успешность работы погружной установки будет зависеть от надежности расчетов конструирования и от технологичности всей системы. Расчеты техники и оборудования будут в значительной степени зависеть от информации, полученной при испытании и совершенствовании погружной декомпрессионной камеры (рис. 3).

В случае аварии восстановление жизненных условий для обслуживающего персонала может быть обеспечено в верхней части корпуса. Аварийные спасательные средства показаны на рис. 4. Надувной плавучий «плот» имеет независимое устройство и может быть доставлен от затонувшего корпуса погружной установки к поверхности при помощи ручной лебедки.

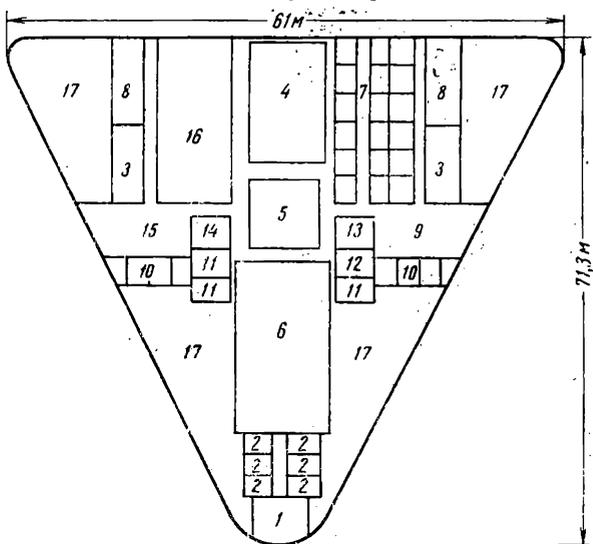


Рис. 2. Предполагаемая схема рабочей палубы погружной буровой установки.

1 — контрольное отделение; 2 — служебные помещения персонала; 3 — система жизнеобеспечения; 4 — лебедка и главные двигатели; 5 — буровая вышка; 6 — хранилище труб и автоматические трубные мостки; 7 — жилое помещение; 8 — помещение приводных механизмов; 9 — камбуз; 10 — хранилище или дополнительная площадь для жилья; 11 — оборудование; 12 — лаборатория; 13 — буровая контора; 14 — насосное отделение; 15 — помещение для отдыха; 16 — госпиталь и снабженческое отделение; 17 — уравнительные резервуары.

Декомпрессия и переход от гелий-кислородной атмосферы к обычной атмосфере могут быть осуществлены в полностью герметичном помещении.

Для подъема погружной установки после окончания бурения плавучая надувная система должна быть освобождена из верхней части корпуса и доставлена на поверхность. При помощи плавуче-тросовой си-

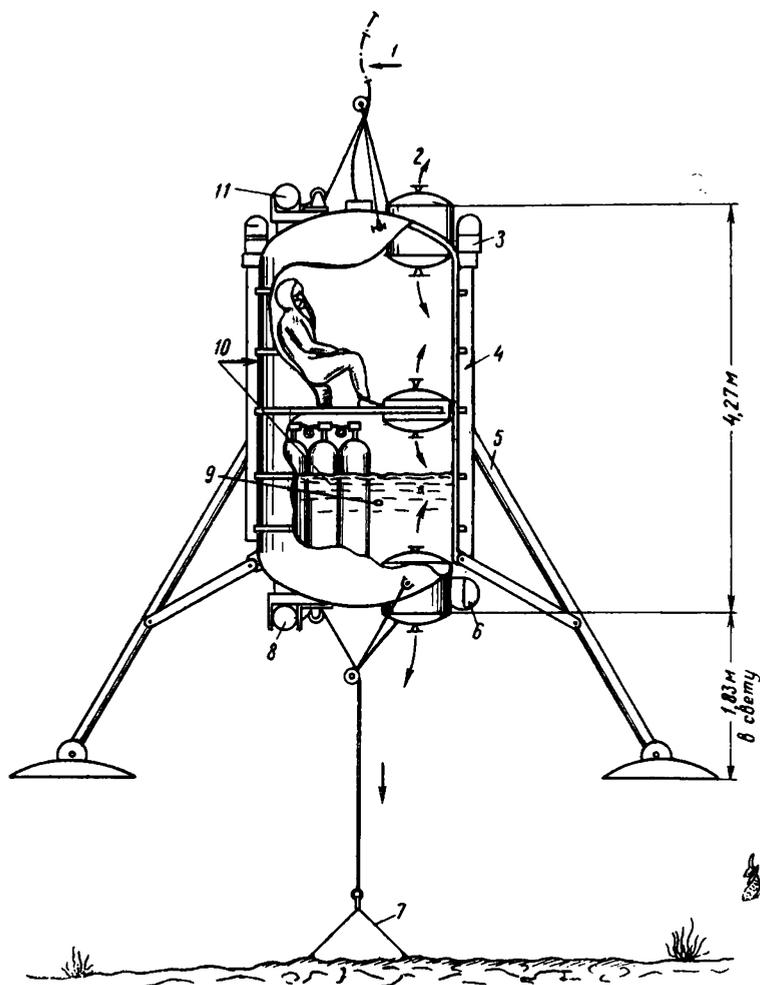


Рис. 3. Погружная декомпресссионная камера АВКО/Талса.

1 — шланг, соединяемый с газовой линией на поверхности при помощи кольцевого буя; 2 — стандартные контрольные люки (стрелками указано направление открытия); 3 — приводной двигатель для складных ног; 4 — корпус камеры диаметром 2,1 м; 5 — складные ноги; 6 — автоматическая катушка; 7 — груз; 8 — нижняя лебедка, используемая при спуске и подъеме с поплавковой камерой; 9 — балластный и затопляемый объем; 10 — резервуары для хранения кислорода и гелия; 11 — верхняя лебедка, используемая для погружения при отсутствии плавучести.

стемы установка будет разгружена, откреплена от дна и поднята лебедками на поверхность. Подъем должен быть постепенным, при соблюдении требований предварительной декомпрессии. Наконец, длительная фаза декомпрессии должна быть осуществлена на берегу в большой декомпресссионной камере. Наземная служба начинает декомпрессию перед подъемом погружной установки, и при достижении берега давление будет составлять 1 ат, как на поверхности. После всплытия переоснащение погружной установки производится в море или она направляется на береговую базу для ремонта.

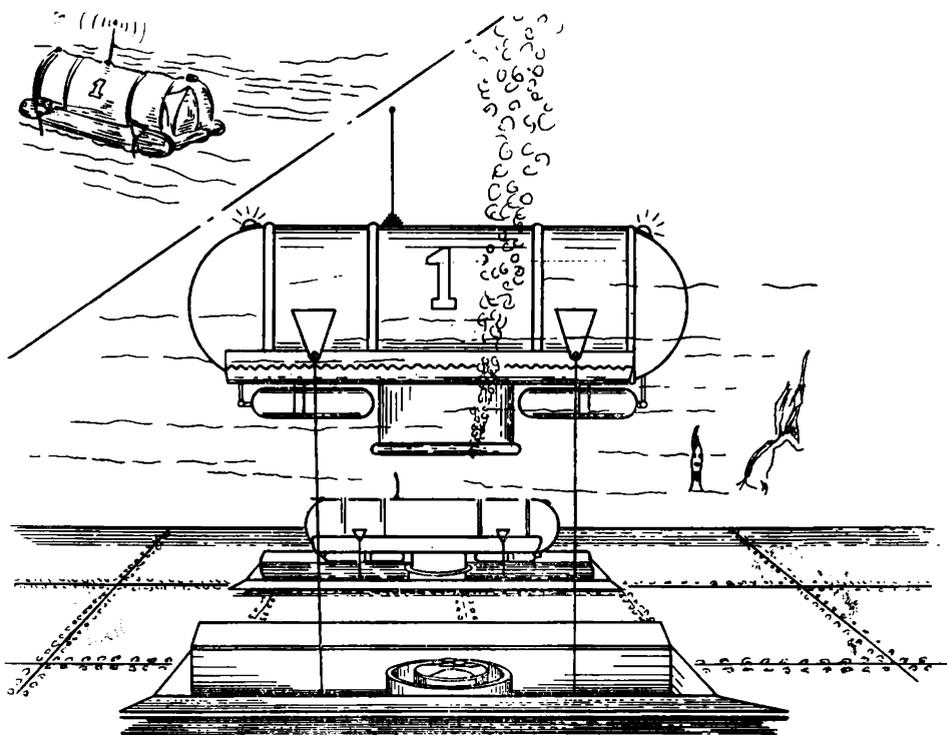


Рис. 4. Герметические медленно поднимающиеся аварийные спасательные подводные лодки и декомпрессионные камеры.

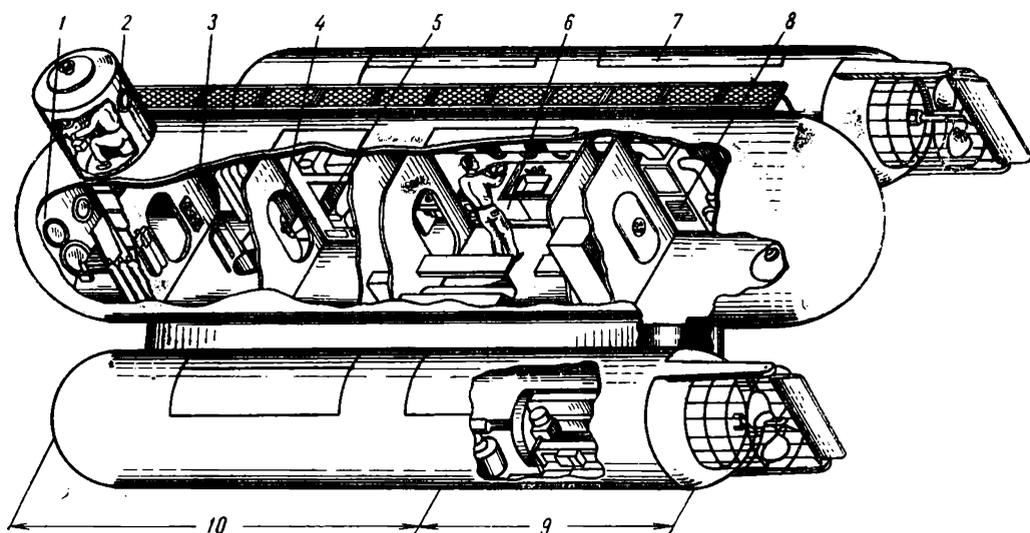


Рис. 5. Общий вид подводной лодки.

1 — пост погружения; 2 — верхняя кабина; 3 — помещение для выхода в море; 4 — душ; 5 — жилое помещение; 6 — камбуз; 7 — люки поплавковых камер; 8 — система жизнеобеспечения; 9 — двигатели для работы на поверхности и генераторы, работающие на химическом топливе; 10 — переменный балласт (вода или углеводороды).

## ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ

Возможность бурения и окончания скважин в глубоких водах с использованием обычного оборудования показана выше. Однако в настоящее время создание всего глубоководного оборудования является трудной задачей. Прогресс в техническом оснащении глубоководного бурения будет зависеть от открытий, связанных с отработкой надежных

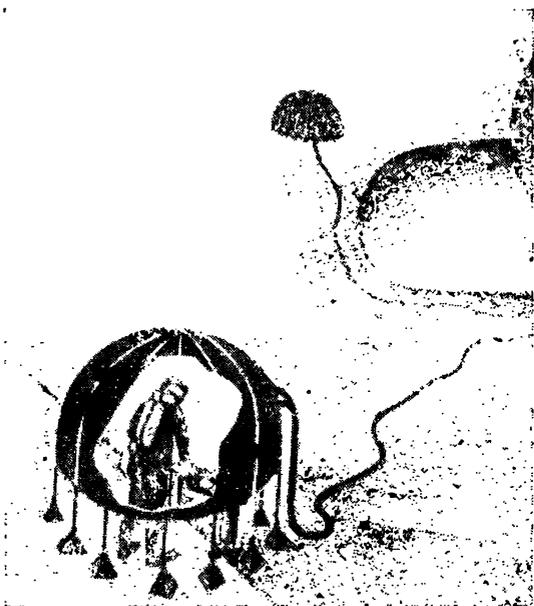


Рис. 6. Вспомогательное оборудование — портативное надувное рабочее помещение.

недель. Подводная лодка будет использоваться для обслуживания, ремонта погружной установки и демонтажа подводного устья скважины.

Корпус подводной лодки конструируется из трех цилиндров. В центральном цилиндре находятся жилое помещение, жизнеподдерживающие системы, склад оборудования, рубка управления и посты погружения с самостоятельными выходами в море.

К центральному цилиндру прикреплены два меньших цилиндра, в которых находятся балласт, уравнительные резервуары, машинные отделения, пищевые и водяные кладовые и опоры центрального цилиндра, используемые в условиях, когда лодка находится на дне.

Хотя подводная лодка может передвигаться под водой на короткие расстояния от двигателя с батарейным питанием, ее главными средствами плавания по поверхности являются обычные морские дизельные двигатели.

Источником мощности для погружения служит аккумуляторная батарея, которая заряжается специальным дизель-генератором, работающим на химическом топливе.

газовых систем и плавучих систем облегчения. Подводная лодка (рис. 5) будет использоваться для снабжения погружной установки, включая и снабжение газовой смесью, путем прокладки трубопровода.

Фирма АВКО разрабатывает конструкцию специальной подводной лодки, считая, что непосредственная связь между погружной буровой установкой и погружной дополнительной техникой более эффективна и более экономична, чем дистанционное управление. Пример вспомогательного оборудования показан на рис. 6.

Подводная лодка будет снабжена системой жизнеобеспечения группы инженеров на период до нескольких

## ПРОЕКТ МОХОЛ

*Г. Лилл<sup>1</sup>*

Проект Мохол представляет собой основную часть вклада США в Международный проект вскрытия верхней мантии Земли.

Основная цель проекта заключается в том, чтобы отобрать образцы горных пород земной коры, залегающих как под океаническими осадками, так и в верхней части мантии Земли.

### НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

За последние 50 лет геологи старались создать свои модели Земли, не имея соответствующих знаний относительно глубоко залегающих горных пород континентов и абсолютно не располагая сведениями о горных породах на больших глубинах под дном океана. О внутреннем строении земной коры сведения получены главным образом на основании геофизических работ и результатов геохимических лабораторных

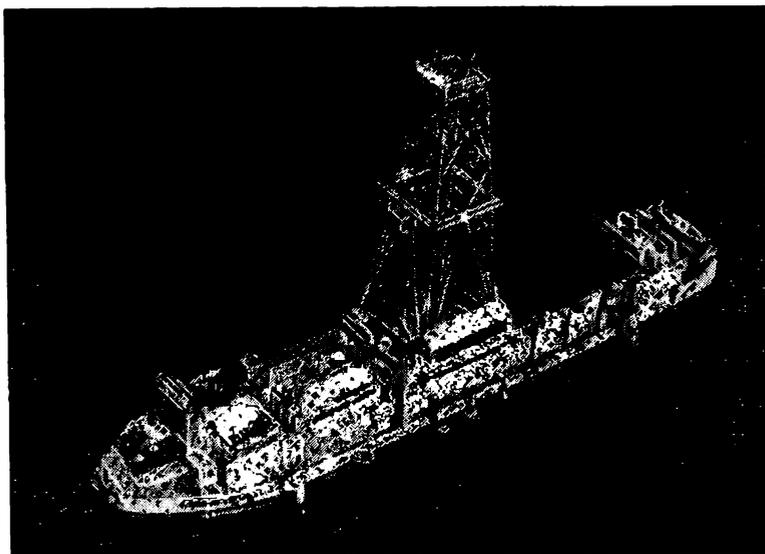


Рис. 1. Буровое судно КАСС-1, использованное при бурении в соответствии с первой фазой проекта Мохол.

исследований. Мантия земной коры содержит 80% веществ, слагающих земной шар, и вполне возможно, что в ней будут обнаружены более древние породы.

В дальнейших исследованиях должны быть выяснены и вопросы о том, что представляют собой источники тепла и процессы, в результате которых происходит отделение континентов от мантии, каково химическое строение мантии, какова природа вещества, представляющего собой границу между верхней частью земной коры и мантией, как образуются океанические бассейны и всегда ли они были в том состоянии, которое нам известно сейчас, были ли континенты разделены между собой, как это установлено современными исследованиями остаточного магнетизма?

Таковы некоторые из наиболее важных и трудно разрешимых проблем, стоящих перед геологом, и главной целью проекта Мохол яв-

<sup>1</sup> Национальный исследовательский центр, США, № 413.

ляется получение для геолога данных, на основании которых можно было бы сделать определенные заключения.

В марте и апреле 1961 г. было показано, что вполне возможно бурить скважины в глубоких водах с плавающего судна, положение которого фиксируется системой динамической стабилизации. В качестве бурового судна была использована баржа КАСС-1, эксплуатируемая фирмой Глобал марин-эксплорейшн компани, расположенной в г. Лос-Анжелосе (рис. 1).

Судно КАСС-1 было доставлено буксиром к восточной части острова Гваделупа. С этой установки бурили при глубине воды 3566 м. С глубины 49,5 м ниже дна океана был поднят керн, представленный темно-серым стеклообразным базальтом.

Минералогический состав образца: авгит — 49%, плагиоклаз — 41%, оливин — 1%, опока — 5%, кальцит — 1%, чередующиеся продукты — 3%. Основные породообразующие соединения: окись кремния  $\text{SiO}_2$  — 49,13%, окись калия  $\text{K}_2\text{O}$  — 16%.

Анализ образцов базальта показал, что кислых базальтов в глубоководных океанах в 1000 раз больше, чем основных, и они очень мало насыщены радиоактивным кремнием. Все это уже изменило представление некоторых геологов об океанической земной коре, основанное на данных бурения только верхних горизонтов.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Рассмотрим вкратце инженерную технику, которая позволит нам получить первые керны из мантии Земли.

Буровая платформа может сохранять максимальную неподвижность, удобна и работоспособна. Ее конструкция была выбрана на основании большого опыта, полученного в нефтяной промышленности при использовании многочисленных плавучих платформ, а также опыта реализации первой фазы проекта Мохол и главных достижений военно-морского флота и морской техники. Эта платформа разработана военно-морской конструкторской фирмой Джиббс энд кокс.

На начальной стадии работы буровая платформа будет оборудована для бурения на глубину 6—7,5 тыс. м ниже уровня океана. Для дальнейшего бурения потребуется более тяжелая и длинная бурильная колонна и поддерживающие системы. Вышка, лебедки, система электрического каротажного кабеля и стабилизирующее оборудование будут основными узлами конструкции платформы.

Стабилизированная платформа имеет много преимуществ перед плавучим судном. При проектировании стабилизированной платформы имеется большая свобода выбора желаемых параметров ее устойчивости. Стабилизированная платформа является более надежной в работе по сравнению с плавучим судном, так как ее периоды качки значительно больше и составляют от  $1/2$  до  $1/10$  от амплитуды движения при качке. Например, при штормовой погоде, когда скорость ветра достигает 55 км/ч, а высота волны 3—6 м, наклон бурового плавучего судна в 5,8 раза больше, чем у погружной платформы. При ухудшении погоды на море эффективность работы бурового судна резко падает. При скорости ветра 48 км/ч и высоте волны 2,4—4,0 м наклон рабочей палубы достигает 2,75°, т. е. предельной допускаемой величины; при наклоне сверх этой величины продолжать бурение нельзя.

Стабилизированная платформа при тех же условиях погоды на море наклоняется всего на 48', а к. п. д. буровой установки при этом достигает 95%. Основываясь на величине относительного к. п. д. установки и на вероятном факторе времени изменения условий в море, можно полагать, что эффективность и производительное время работы

этой буровой установки повысятся на 18,5% по сравнению с плавучей буровой установкой за этот же период времени.

Данные о движении платформы при обычном волнении океана, полученные на основной модельной установке Давида Тейлора и в Технологическом институте Стевенса, показали сходимость в пределах погрешности 10% от вычисленных теоретическим путем параметров движения.

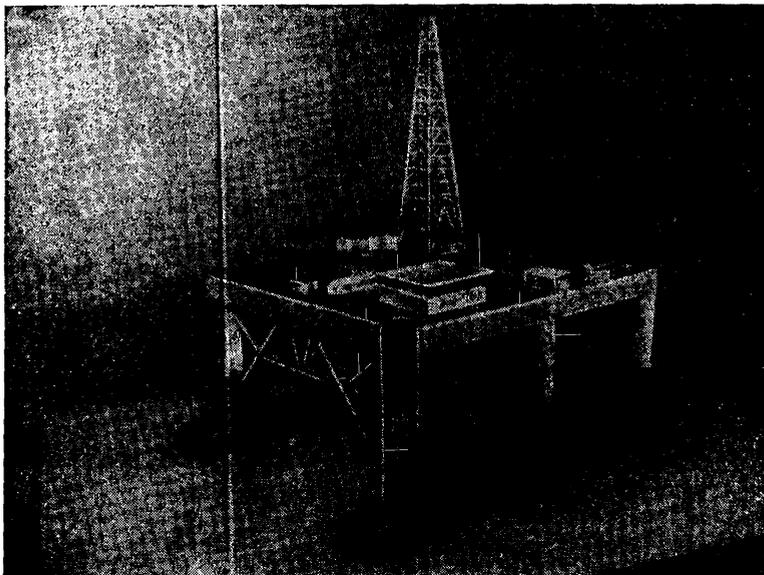


Рис. 2. Модель буровой платформы для бурения в соответствии со второй фазой проекта Мохол.

Исследования на модельной установке будут продолжаться и в период строительства и монтажа буровой платформы, а также при последующей эксплуатации ее.

Фактические данные, полученные при эксплуатации платформы во время бурения в океане, будут направляться снова на модель для испытания с целью сравнения с полученными ранее данными и для последующего использования.

За последние годы в водах Мексиканского залива работало до 15 буровых свободно плавающих платформ со стабилизирующими колоннами. Некоторые нефтяные компании и фирмы планируют постройку буровых платформ, конструктивно похожих на платформу, которая предусматривается для второй фазы проекта Мохол. Основные габариты платформы для проекта Мохол следующие: диаметр колонн 9,45 м; расстояние между центрами колонн  $65,6 \times 79,2$  м; габариты понтонов  $118,9 \times 10,7$  м; высота от киля до верха палубы 41 м; высота от подвыщечного основания до верха буровой вышки 59,7 м; высота подвыщечного основания 2,6 м; сторона основания вышки 12,2 м; высота от уровня подкранблочной площадки до верха радарной мачты 15,2 м; полная высота от самой нижней точки плавучей платформы до верха радарной мачты 113 м. Модель этой плавучей платформы изображена на рис. 2.

Бурильная колонна. Бурильная колонна для первой фазы бурения по проекту Мохол была изготовлена из низколегированной закаленной с отпуском стали с пределом текучести  $94,5 \text{ кг/мм}^2$ . Внутренний диаметр бурильных труб составлял 140 мм. Для испытаний

было отобрано 12 труб из стали S-13,5 по четыре трубы у трех разных поставщиков. Из этих 12 труб было изготовлено 24 опытных образца длиной по 2,5 м. Из них 18 образцов были подвергнуты испытанию на усталость, остальные шесть образцов были оставлены для других исследований. Из 18 образцов четыре подвергли испытанию на усталость при 12 миллионах циклов знакопеременной нагрузки. Ни поломки, ни нарушения образцов не произошло, хотя они подвергались нагрузке от 24,5 до 31,5 кг/мм<sup>2</sup>. Остальные 14 образцов оказались нарушенными: три в замковом соединении и одиннадцать по телу трубы. Из 14 нарушенных образцов повреждения обнаружены у одиннадцати на наружной поверхности, у четырех — на внутренней. Нарушения в резьбовой части оказались неожиданными, объясняются они, вероятно, влиянием температуры сварки при посадке и креплении замков к трубе. У одного из нарушенных замков причиной повреждения была кольцевая маркировочная канавка.

Почти у половины исследованных поврежденных образцов причиной нарушений предположительно считалась недостаточная тщательность контроля качества металла.

### МОРСКОЙ КОНДУКТОР (РАЙЗЕР) ИЛИ ОБСАДНАЯ КОЛОННА

Одной из наиболее важных технических проблем в проекте Мохол является изыскание способа удержания в вертикальном положении в море 298-мм обсадной колонны длиной 3660 м. Эта колонна, или морской кондуктор, будет подвержена влиянию вертикальных перемещений

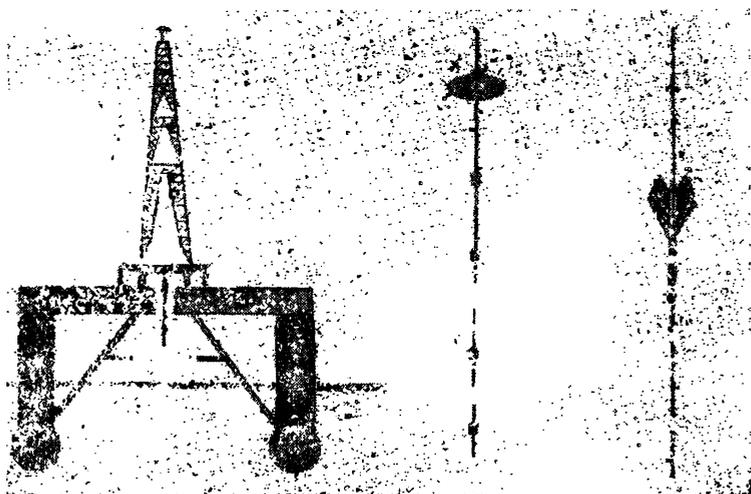


Рис. 3. Схематическая система обсадной колонны, являющейся морским кондуктором (райзером).

самой платформы и боковых нагрузок от морских течений, скорость и направление которых в настоящее время неизвестны. И тем не менее морской кондуктор необходим, так как он обеспечивает надежное направление бурильной колонны, по нему идет восходящий поток промывочной жидкости с выбуренной породой и, наконец, он служит хорошим основанием для собственно колонны бурильных труб в том случае, когда требуется отделить платформу и отвести от морского кондуктора, а бурильную колонну оставить в подвешенном состоянии внутри кондуктора.

Система морского кондуктора изображена на рис. 3. По проекту, морской кондуктор будет поддерживаться в вертикальном положении

системой активных и пассивных буев. Разработан специальный материал из синтетической пены для изготовления пассивных буев. Активные буи могут быть надуты и заполнены азотной смесью, состав которой также разрабатывается.

Суммарная подъемная сила, необходимая для поддержания морского кондуктора с весом труб 60,0 кг/м, составит 342 Т. Минимально допустимая подъемная сила системы активных буев будет изменяться в зависимости от длины бурильной колонны в морском кондукторе и в скважине. Во всяком случае она будет не менее 250 Т.

Обслуживание активных буев, установленных в верхней части морского кондуктора на глубине от 60 до 120 м, имеет исключительно важное значение для успеха выполнения всей программы бурения.

Буи, линии питания сжатым воздухом, электрические линии, тензометрические датчики и клапаны необходимо периодически проверять. Кроме того, необходимо также иметь возможность производить ремонтные работы. Даже малейшая осадка активных буев ниже проектной глубины их установки не допускается требованиями нормальной безопасной работы с использованием водолазной техники.

Уже испытана часть водолазного хозяйства и техники для подводных работ; их можно будет использовать к моменту спуска морского кондуктора. Кроме того, разрабатываются системы для подводных водолазных работ на большой глубине с участием и без участия человека.

## СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ

Другой весьма важной частью проекта Мохол является система поддержания платформы на высоте 3660 м над устьем скважины. Система, изображенная на рис. 4, представляет собой комбинацию радарных и акустических буев или акустических приемников и рефлекторов. Эту систему в целом можно разбить на семь подсистем: сонарная система с длинной основной линией; сонарная система с короткой основной линией; радарная система; гирокомпасная система; счетно-вычислительный и решающий комплекс; контрольно-измерительный пункт; дистанционное управление двигателями. Сонарная система рассчитана на работу при частоте колебания сигналов в пределах 9—27 килоциклов.

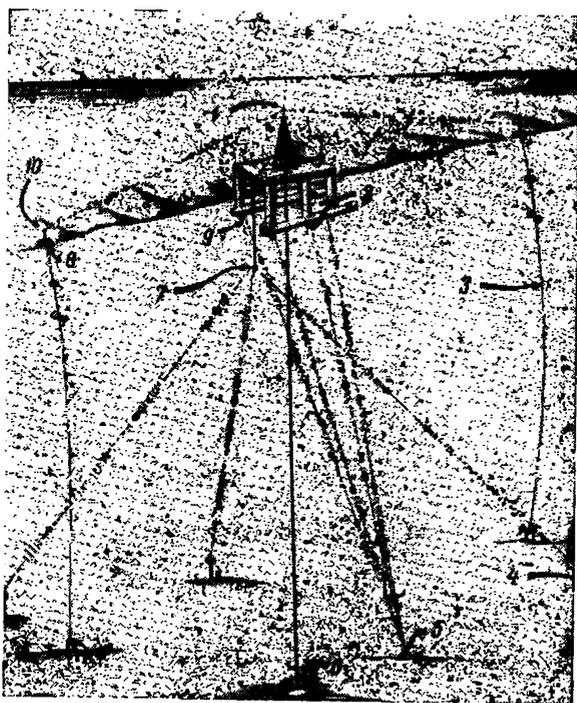


Рис. 4. Предполагаемая система стабилизации положения буровой платформы для бурения в соответствии со второй фазой проекта Мохол.

1 — антенна радара; 2 — датчики источников волновых сигналов сонарной системы с короткой основной линией; 3 — якорные тросы поплавковых радаров; 4 — трансформаторы-передатчики сонарной системы с длинной основной линией; 5 — трансформаторы-передатчики сонарной системы с короткой основной линией; 6 — опорная плита устья морской скважины; 7 — датчик источника волновых сигналов (проектор-гидрофон) сонарной системы с длинной основной линией; 8 — поплавок-заякоренный радар; 9 — гидрофоны сонарной системы с короткой основной линией; 10 — радарные отражатели сигналов.

Благодаря такой системе стабилизации платформа может автоматически регулировать свое положение в пределах радиуса 150 м при глубине воды 5486 м и в пределах радиуса 90 м при глубине воды 3660 м. Эти пределы считаются вполне безопасными при работе.

Двигатели и гребные винты системы динамической стабилизации платформы в указанных пределах разработаны фирмой Вестерн гир корпорейшн оф Линвуд в Калифорнии. Шесть блоков, каждый из которых включает двигатель и гребной винт, будут размещены в донной части цилиндрических понтонных стоек. Каждый такой блок установки двигателя с гребным винтом будет развивать мощность 750 л. с. на постоянном режиме с тягой 12 700 кг при скорости вращения винта 300 об/мин. Каждая стабилизирующая установка будет получать сигналы от счетно-решающих устройств системы стабилизации, при этом тяговое усилие этой установки будет направляться в соответствующую сторону для удержания платформы в рабочем положении с требуемой ориентацией.

Установки будут опускаться и подниматься внутри цилиндрических понтонных стоек при помощи роликовых и направляющих приспособлений. Для ремонта и осмотра их можно будет поднимать на верхнюю палубу подъемным краном. Они рассчитаны на непрерывную работу в течение минимум 4 лет из расчета, что 25% времени они будут работать при полной нагрузке и 75% времени при нагрузке, составляющей половину их мощности.

### ВЫБОР МЕСТА БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ

В настоящее время существует три варианта места бурения скважины по проекту Мохол:

- 1) Пуэрто-Риканское поднятие к северу от г. Сан Жуан, Пуэрто-Рико;
- 2) Гавайский свод к северу от Мауи (Гавайские острова);
- 3) площадь регионального сброса Барракуда Скарп к востоку от Антигуа (Малые Антильские острова).

Первая площадь лежит на расстоянии 360 км к северу от Пуэрто-Рико. Этот район подробно изучен геофизически, причем установлено, что глубина залегания верхов мантии составляет около 9,5 км.

Вторая площадь, также изученная подробно, расположена на расстоянии около 360 км к северу от Мауи в цепи островов Гавайского архипелага. Глубина залегания верхов мантии в этом районе также колеблется в пределах 8,5—9,5 км.

Третья возможная площадь лежит примерно в 360 км к востоку от Антигуа на Малых Антильских островах.

### НАМЕЧАЕМЫЕ СРОКИ

Установлены ориентировочные сроки завершения основных этапов проекта Мохол:

завершение строительства и монтажа буровой платформы — конец 1966 г.; предварительное бурение до мантии — 1966—1967 гг., начало бурения в пределах мантии — конец 1967 г. или начало 1968 г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> В настоящее время все работы по проекту Мохол приостановлены из-за отсутствия финансирования. — *Прим. ред.*

# НОВЫЙ МЕТОД БУРЕНИЯ В МОРЕ

*Ж. Делакур, П. Мулен<sup>1</sup>*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Метод бурения при помощи шлангокабеля характеризуется тем, что долото приводится во вращение непосредственно забойным двигателем, подвешенным на конце цельного гибкого шланга, разматываемого на поверхности.

Гибкий шланг обеспечивает непрерывную циркуляцию промывочной жидкости. Благодаря армированию он имеет значительное сопротивление растягивающим нагрузкам, наружному сжатию и скручиванию, вызываемому реактивным моментом забойного двигателя.

Если бурение ведется при помощи электродвигателя (электробура), шлангокабель снабжается проводниками электрической мощности, питающими двигатель, измерительными проводниками и проводниками управления, посредством которых можно контролировать его работу.

Если бурение осуществляется турбобуром, проводники электрической мощности могут быть удалены, но измерительные проводники и проводники управления сохраняются.

## ОСОБЕННОСТИ

Основные преимущества подобного метода бурения заключаются, очевидно, в следующем:

- сокращение времени и упрощение спуско-подъемных операций;
- обеспечение безопасности буровых работ в результате непрерывной циркуляции промывочной жидкости как в процессе бурения, так и во время спуско-подъемных операций;
- рациональное использование мощности, передаваемой долоту, вследствие применения забойного двигателя, работа которого постоянно контролируется с поверхности;
- возможность полной автоматизации процесса бурения;
- возможность электрокаротажа в процессе бурения и определения различных параметров, характеризующих разбуриваемые породы;
- улучшение условий отбора керна вследствие благоприятных характеристик работы забойных двигателей.

Этот метод позволяет более рационально использовать мощность в связи с полной автоматизацией рабочих процессов.

Кроме того, он, по-видимому, будет способствовать развитию своеобразной методики геологических изысканий, осуществляемых экономично и быстро, а также получению обширных зарегистрированных данных, позволяющих с большой достоверностью определять характер разбуриваемых пород и их вероятный состав.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ

Этим методом, который совершенствуется и испытывается на суше Французским институтом нефти в течение уже нескольких лет, до настоящего времени пробурено почти 6000 м скважины обычного диаметра, т. е. от 159 до 311 мм, среди которых около десяти скважин глубиной до 300 м и четыре скважины глубиной от 500 до 1000 м (максимальная достигнутая глубина 1002 м).

Основные характеристики прототипного оборудования, разработанного Французским институтом нефти, т. е. забойного двигателя, балла-

<sup>1</sup> Французский институт нефти. № 118.

ста (утяжеленного низа), долота, шлангокабеля, оборудования для хранения и использования гибкого шланга, оборудования для проведения исследований, приведены ниже.

### Забойный двигатель. Балласт (утяжеленный низ). Долото

Электрические забойные двигатели, или электробуры, проектируемые Французским институтом нефти, имеют диаметр в пределах 152—254 мм. Эти асинхронные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором развивают мощность от 60 до 150 л. с. при номинальных числах оборотов 750—1000 в минуту, рабочих напряжениях 500—800 в и силе тока под нагрузкой 150 а.

Электробуры снабжены уплотнительными устройствами, гарантирующими непрерывную работу в течение нескольких суток.

При осуществлении экспериментального турбинного бурения гибкой колонной труб применялись обычные турбобуры. Эти двигатели диаметром около 184 мм развивают мощность от 80 до 120 л. с. при числе оборотов в пределах 500 в минуту.

В обоих случаях над забойным двигателем находится балласт, образованный тремя или четырьмя УБТ, создающими нагрузку на долото в пределах 5 Т при бурении скважин диаметром 216 мм.

Высокое число оборотов электробура или турбобура компенсирует уменьшение нагрузки на долото по сравнению с обычными методами бурения и обеспечивает механическую скорость проходки, по крайней мере равную механической скорости проходки при роторном бурении.

В зависимости от обстоятельств в сочетании с забойным двигателем (электробуром или турбобуром) применяются трехшарошечные или алмазные долота.

Незначительная нагрузка на долото позволила внести в конструкцию обычных трехшарошечных долот некоторые изменения, частично компенсирующие влияние высокого числа оборотов на срок службы опор долота.

### Гибкая колонна

Цельная колонна образована составным гибким шлангом, созданным специально в этих целях, максимальная длина которого составляет 1000 м, наружный диаметр около 127 мм, а внутренний диаметр 60 или 75 мм в зависимости от вида применяемого забойного двигателя.

#### Механические характеристики шлангокабеля

Минимальный диаметр наматывания, м	2
Предел упругости, Т	45
Соппротивление разрыву, Т	90
Давление при разрыве, кг/см <sup>2</sup>	300
Разрушающая нагрузка при раздавливании, кг/см <sup>2</sup>	100
Крутящий момент (без учета внутреннего давления и натяжения), кгм	400
Вес на 1 м, кг:	
для бурения электробуром	25
для бурения турбобуром	22

Гибкий шланг содержит до десятка измерительных проводников и проводников управления, а при бурении электробуром еще проводники электрической мощности полным сечением 3×50 мм<sup>2</sup> на рабочее напряжение 1500 в.

Гибкий шланг заканчивается специальными муфтами, позволяющими осуществлять быстрое и надежное соединение с жесткой частью колонны, не нарушая при этом непрерывности циркуляции промывочной жидкости и передачи электрической мощности.

## Оборудование для хранения и использования шлангокабеля

Для хранения шлангокабеля применяется кабельный барабан емкостью 1000 м, соответствующий дорожному стандарту и снабженный перематывающим устройством, предназначенным для правильного расположения витков.

Подача промывочной жидкости осуществляется через специальное замковое соединение высокого давления. Для ввода и вывода электрического тока устроен кольцевой коллектор.

Кабельный барабан предназначен только для хранения шлангокабеля, всякое значительное тяговое усилие исключается. Тяга обеспечивается «гусеничной лентой», представляющей собой два бесконечных конвейера с расположенными друг против друга полозьями, между которыми зажимается гибкий шланг на участке, достаточном для ограничения на опорной поверхности до величины, соответствующей его прочности на раздавливание.

Гусеничная лента может иметь электрический или гидравлический привод и в любом случае обеспечивает непрерывную, быструю и чрезвычайно точную подачу бурильной колонны.

Максимальная сила тяги гусеничной ленты — 35 Т, а максимальная скорость подачи при спуско-подъеме — 1 м/сек.

Во время бурения продвижение гусеничной ленты может или регулироваться вручную оператором, или совершаться автоматически непосредственно под действием мощности, потребляемой долотом на забое (мощность электробура или число оборотов турбобура).

Если гусеничная лента расположена горизонтально, гибкий шланг удерживается над скважиной направляющим блоком, помещенным на выходе ленты. Направляющий блок снабжен индикатором веса подвешенного на нем груза и устройством для автоматической остановки гусеничной ленты в случае заклинивания колонны при спуско-подъеме.

Гусеничная лента установлена на полуприцепе, соответствующем дорожному стандарту и несущем, кроме того, телескопическую мачту и лебедку для сборки забойного двигателя и УБТ, а также для спуска в скважину обсадной колонны.

## Оборудование для проведения исследований

Это оборудование включает в основном все приборы, позволяющие непрерывно или время от времени регистрировать поступающие в процессе бурения данные, а также производить отбор керна в разбуриваемых породах. Оно не отличается никакими принципиальными новшествами, но должно быть приспособлено к особым условиям использования.

Обычно применяются следующие приборы: инклинометр и каверномер; забойный тахометр; различные зонды для электроизмерительных работ (каротажа); грунтоноски; пробоотборники с дистанционным управлением.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКОГО ШЛАНГА ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Преимущества бурения при помощи гибкого шланга навели на мысль об использовании этого метода и соответствующего оборудования для геологических исследований пластов, залегающих на дне моря.

Эта идея нашла практическое воплощение в виде двух вариантов, совершенствуемых и испытываемых уже в течение нескольких лет: 1) отбор керна при помощи подводного колонкового электробура при глубине в несколько десятков метров и 2) использование геолого-разведочного судна при глубине моря в несколько сотен метров.

## Подводный колонковый электробур

*Принцип действия.* Этот механизм предназначен для отбора образцов пород, залегающих на дне моря на глубине в пределах от 0 до 30 м. Его спускают на дно при помощи несущего каната, связь с поверхностью осуществляется по электрокабелю.

Управляется электробур дистанционно с поверхности.

Если глубина воды позволяет использовать водолазов, то извлекать колонки керна можно на дне моря, вследствие чего отпадает необходимость подъема инструмента на поверхность после каждого очередного отбора образца.

*Техническая характеристика.* Электробур диаметром 152 мм и мощностью 25 л. с. снабжается балластом (утяжеленным низом) весом 300 кг и колонковой трубой для отбора в крепких породах керна диаметром 89 мм и длиной 1 м.

Гибкий шлангокабель длиной 30 м и наружным диаметром 101,5 мм наматывается на барабан, снабженный двигателем. При незначительной длине кабеля барабан используется и для тяги, тогда устраняется необходимость применения гусеничной ленты.

Контрольные и измерительные приборы дают, в частности, возможность контролировать положение инструмента после спуска на дно и управлять различными параметрами бурения.

Непрерывная циркуляция промывочной жидкости, в данном случае морской воды, создается погружным центробежным электронасосом, являющимся неотъемлемой частью оборудования.

Все узлы установлены на несущей раме, имеющей обычно форму тетраэдра. Рама складывается при транспортировке в соответствии с дорожным стандартом. Характеристики несущей рамы в рабочем положении следующие: общая высота 7 м; высота под крюком для подъема 5 м; основание — равнобедренный треугольник со сторонами 5,8; 4,4 и 4,4 м; вес 6 т.

Колонковый электробур может быть приведен в действие любым судном, если оно имеет на борту подъемный механизм и источник мощности, соответствующие вышеприведенным характеристикам.

## Геологоразведочное судно «Теребел»

*Принцип осуществления.* Геологоразведочное судно «Теребел» предназначено для применения метода бурения гибким шлангом в море с целью разведки бурением и отбора керна в породах, залегающих на глубине нескольких сотен метров, при глубине воды в несколько сотен метров.

Так как условия применения, а также гибкость инструмента не позволяют систематически использовать обычный метод заякоривания судна, «Теребел» был оснащен системой динамической стабилизации, разработанной Французским институтом нефти<sup>1</sup>. Эта система включает датчик отклонения и указатель курса, комплект гребных винтов с регулируемой силой и направлением тяги, электронное счетно-решающее устройство, преобразующее показания отклонения и курса в сигналы, передаваемые винтам для устранения обнаруженных отклонений.

На современном этапе экспериментирования «Теребел» не располагает замкнутой на поверхности системой циркуляции промывочной жидкости. Бурение и отбор керна производятся с очисткой забоя морской водой, без круговой циркуляции, что ограничивает глубину области исследований.

Для возможности замены изношенного долота и бурового оборудования инструментом для отбора керна «Теребел» был снабжен си-

<sup>1</sup> Сообщение Французского института нефти «Система динамической стабилизации» (Ж. Берн). № 120.

стемой гибкой связи между дном и поверхностью. Эта система образована в основном оборудованием устья скважины или опорной плитой, установленной на дне и связанной с судном во время всего ведения работ двумя направляющими тросами.

Конец гибкого шланга, снабженный одним или двумя хомутиками, скользит вдоль тросов, направляется к дну или на поверхность даже при значительном отклонении судна от вертикальной плоскости, в которой ведется бурение. Единственный, впрочем, не слишком ограничивающий фактор заключается в необходимости сохранения более или менее постоянного курса судна во избежание значительного сближения тросов.

Что касается собственно оборудования для электробурения гибким шлангом, то «Теребел» оснащен всеми его составными элементами, прошедшими испытания на суше. При бурении в море предпочтительно работать электробуром, так как управлять с поверхности электробуром значительно удобнее, чем турбобуром.

Использование этого метода бурения в море потребовало создания и освоения специального оборудования.

### СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОРСКОГО БУРЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ГИБКОГО ШЛАНГА

Достоинство бурения в море при помощи гибкого шланга заключается в том, что этот метод позволяет осуществлять бурение и отбор керна в условиях сильного волнения и притом в короткие сроки.

Для успешной работы в этих условиях необходимо непрерывно сохранять соответствующую осевую нагрузку на долото, несмотря на качку судна в результате волнения, иметь возможность сборки или разборки жесткой части низа бурильной колонны даже при значительных углах бортовой и килевой качки.

Было разработано два вида оригинального оборудования, удовлетворяющего этим двум условиям.

*Яс.* Яс используется для устранения влияния вертикальной качки посредством поддержания на поверхности постоянного и регулируемого натяжения гибкого шланга, к которому подвешены забойный двигатель и буровой инструмент.

Пропуская гибкий шланг через концевой шкив, расположенный у выхода гусеничного устройства над центральной шахтой судна, яс устанавливают на краю домкрата, приводимого в действие масляно-пневматическим устройством. Давление в этом устройстве регулируют таким образом, чтобы сохранить необходимое натяжение шланга независимо от движения шкива, вызванного вертикальной качкой.

Вертикальное перемещение блока, смонтированного на тележке, ограничено устройством, состоящим из двух вертикальных направляющих с двумя предохранительными упорами в конце хода. Практически подобное устройство полностью устраняет влияние вертикальной качки при амплитуде 2 м, что соответствует в случае очень продолжительного волнения высоте волны того же порядка, а при непродолжительном и беспорядочном волнении, как, например, в Средиземном море, — высоте волны, достигающей 4 м.

*Устройство для сборки и спуско-подъема жесткой части колонны.* Относительно небольшая длина и малый вес жесткой части бурильной колонны (соответственно около 30 м и 5 т) позволяет установить все необходимое оборудование для сборки и спуско-подъемных операций на подвешенной площадке, передвигающейся по продольной и поперечной осям судна.

Над центральной шахтой судна «Теребел», через которую спускают бурильную колонну, расположены один над другим два соединенных шарнирными опорами помоста для сборки оборудования и ведения бу-

ровых работ. Этот своеобразный куб связан карданным подвесом с рамой, неподвижно закрепленной на судне, и имеет грузоподъемную стрелу, которая перемещается в пределах сектора с углом  $90^\circ$  в срединной продольной плоскости судна. Находясь в горизонтальном положении, стрела захватывает жесткие детали бурильной колонны, поднимает их и, достигнув вертикального положения, располагает их по оси центральной шахты.

Таким образом, если рабочая площадка стабилизирована под действием инерции, присущей жесткой части оборудования, или посредством домкратов, автоматически приводимых в действие, например в соответствии с показаниями индикатора вертикали, то она не будет испытывать влияния бортовой и килевой качки, перемещаясь соответствующим образом в определенных пределах, ограниченных упорами конца хода.

Различные элементы бурильной колонны располагаются в горизонтальном положении на тележке, передвигающейся перпендикулярно продольной оси судна и позволяющей таким образом грузоподъемной стреле захватывать их и поднимать в срединной плоскости судна.

По расчетам, нормальная работа этого оборудования возможна при максимальных углах бортовой и килевой качки  $\pm 15^\circ$ . Следовательно, проведение буровых работ практически не будет ограничиваться изгибающими нагрузками, которым в противном случае подвергалась бы жесткая часть колонны.

Технические и рабочие характеристики «Теребела»

Корпус «Теребела» (ЛСТ, тип Марк IV «Пасифик») имеет длину 55 м, ширину 12 м, осадку 1,5 м.

Тяга при движении судна создается двумя гребными винтами, каждый из которых приводится в действие дизелем мощностью 450 л. с. Кроме того, судно располагает двумя гребными винтами Шоттель, каждый из которых приводится в действие дизелем Пуайо мощностью 300 л. с.

Все буровое оборудование имеет гидравлический привод от гидравлической установки с тремя независимыми насосами, приводимыми в действие дизельным двигателем Пуайо мощностью 300 л. с.

Электробуры получают питание от электростанции, включающей дизельный двигатель Пуайо мощностью 250 л. с. и генератор переменного тока на 150 кВА, который вырабатывает трехфазный ток при напряжении от 380 до 600 в.

«Теребел» был оснащен в Гавре и с июля 1964 г. по апрель 1965 г. прошел испытания в бухте Сены (глубина около 30 м, максимальная скорость течения 4,5 км, волнение до 5 баллов), в Средиземном море — в районе Марселя (глубина от 30 до 80 м, скорость течения незначительная, волнение до 6 баллов) и в Мессинском проливе (глубина около 100 м, максимальная скорость течения 6 км, волнение до 3 баллов).

В течение этого фактически очень небольшого периода времени, если учесть сроки навигации и проведение работ по дополнительному оборудованию судна, было осуществлено около 40 операций по бурению и отбору керна на максимальной глубине 102 м при максимальной глубине моря 110 м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты опытов, проведенных до настоящего времени в различных условиях моря и глубин, показали целесообразность применения метода бурения при помощи гибкого шланга для исследования морского дна и эффективность принятых в данном случае мер по осуществлению метода.

На современном этапе экспериментирования бурение при помощи гибкого шланга является в сравнении с обычными методами бурения надежным и простым и, следовательно, более экономичным средством проведения буровых работ в суровых океанических условиях.

При дальнейшем совершенствовании техники этот метод поможет найти оригинальные решения сложных проблем обеспечения связи между плавучей буровой установкой и подводным устьем скважины при морском разведочном бурении на больших глубинах.

Успешное развитие техники даст возможность приступить к промышленному бурению и осуществлять техническое обслуживание погружного эксплуатационного оборудования при значительной глубине.

---

## НЕФТЯНЫЕ РАЗРАБОТКИ АНГЛИИ В СЕВЕРНОМ МОРЕ

*Е. Джермен<sup>1</sup>*

### ВВЕДЕНИЕ

После открытия крупных месторождений газа в Гронингене Северное море стало центром значительного интереса для нефтяной промышленности.

Еще летом 1963 г. около двадцати компаний объединили свои усилия по предварительным изысканиям в Северном море. Была принята лицензионная система передачи акватории площадью 258 тыс. км<sup>2</sup> между проливом Ла-Манш и Шетландскими островами до середины Северного моря для разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений.

### МОРСКИЕ БУРОВЫЕ ПЕРЕДВИЖНЫЕ УСТАНОВКИ

Английские верфи и сталепрокатные заводы приняли заказы на строительство девяти морских буровых передвижных установок общей стоимостью около 20 млн. фунт. стерлингов.

Для участков, где буровые работы будут проводиться в первую очередь (интервал глубин моря 18,3—91,5 м), рассматриваются три разработанные конструкции морских передвижных буровых установок, способных работать в столь трудных условиях: платформы самоподъемного типа, полупогружные и плавающие установки. Проектирование и строительство морских передвижных установок больших размеров является нелегкой задачей. В истории судостроения имеется немало примеров, когда возникали затруднения в связи с перегрузками конструкций. Некоторые установки сминались при посадке на неподходящий грунт в точке заложения морской буровой, другие вследствие неудачной балластной системы опрокидывались.

Аварийные случаи были результатом недостаточного изучения гидрометеорологических условий в зоне работы установки. Этот фактор имеет важное значение, хотя в районе Северного моря не бывает сильных ураганов, но очень сильные ветры и высокие волны действуют здесь в течение длительных периодов времени. Только непосредственная практика работ позволит получить правильные данные о простоях морских установок за полный год бурения.

---

<sup>1</sup> Технический директор Совета производителей нефтяного оборудования, Англия. № 119.

В настоящее время в Англии для работ в Британской зоне континентального шельфа Северного моря строятся пять установок самоподъемного типа, три полупогружные установки и одна самоподъемная на базе готового судна. Предполагается, что установки самоподъемного типа будут использоваться при глубинах моря до 91,5 м, и при обеспечении должной безопасности во время посадки на грунт в точке бурения они смогут работать при штормах средней силы. Полупогружные установки будут более универсальны, так как они могут быть посажены на дно в мелководных акваториях, а при больших глубинах (до 180 м) остаются достаточно устойчивыми при креплении на тяжелых якорях. Опоры массивных платформ этих установок выполняются из хромисто-молибденованадиевых сталей, а для сварки всех элементов используются специальные электроды с низким содержанием водорода. Разработаны новые электроды с содержанием 2,5—2% никеля, предназначенные для сварки специальных никелевых вязких подшипниковых сталей, которые используются при строительстве буровых установок. Для проведения этих работ обучаются кадры высококвалифицированных сварщиков.

Описание конструкций и габаритные размеры некоторых буровых установок вместе с общими видами приведены в приложении.

### БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Английские заводы-изготовители усиленно ведут работы по выпуску бурового оборудования.

Строящиеся вышки различных конструкций имеют высоту в среднем 42,5 м и площадь основания 13,7×9,15 м. Вышки выполняются на болтовых соединениях с усиленными конструкциями ног. Грузоподъемность их 600 т.

Высота изготавливаемых мачт 42,5 м, а основание размером 12,2×12,5 м. Элементы конструкции мачт покрыты неорганической цинковой силикатной краской.

Завершается изготовление буровых лебедок известных международных моделей (некоторые номинальной мощностью 1625 л. с.). Наибольшее число их предназначено для работы с электроприводом и поэтому они имеют две скорости. Электродвигатели постоянного тока позволяют получать дополнительно неограниченное число скоростей. Заметна тенденция устанавливать электромагнитные тормозы вместо гидравлических. Для привода бурового оборудования разработаны электродвигатели и дизель-электростанции.

Для бурения могут быть использованы трехшарошечные и алмазные долота британского производства.

### ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Наряду с обычными противопожарными насосами с вертикальным шпинделем, которые устанавливаются в опорах установок или в понтонах, появился новый вид противопожарных погружных насосов.

Возможно, что погружные насосы, рекомендованные английскими машиностроителями, будут иметь преимущества, так как их работа не связана с заполнением опор водой.

Сконструированы якорные лебедки с механическим приводом для тяжелых якорей. Для лебедок используются многофазные электродвигатели мощностью 50 л. с. Емкость барабана лебедки 700 м стального каната диаметром 63,5 мм, номинальное усилие натяжения 63,5 Т. Лебедки снабжены двумя тормозными барабанами с ручным и электрическим управлением.

Средства телеметрии, оборудование прямого управления и радар-

ные установки, разработанные для быстрых повторных включений, изготавливаются для сооружаемых установок английскими заводами. Это оборудование включает все требующиеся техникой безопасности средства предупреждения аварий и подачи сигналов бедствия.

### ОБСЛУЖИВАНИЕ

В районе площадью 98 тыс. км<sup>2</sup>, где запроектировано использование 10 буровых установок, потребуются базы снабжения, обслуживающие суда и вертолеты для обеспечения круглосуточной работы установок при минимальных простоях. Подсчитано, что работа каждой буровой установки будет стоить ежесуточно 500 фунт. стерлингов, а полные расходы на одну законченную скважину составят 500 тыс. — 1 млн. фунтов стерлингов.

Рассматривается вопрос о строительстве в Англии в дополнение к фрахтовым судам не менее 10 новых судов для снабжения водоизмещением 300—700 т; их скорость до 22,5 км/ч. Для перевозки длинномерных грузов (бурильные и обсадные трубы) палубы удлиняются наставками. Кроме труб, они смогут перевозить топливо и сыпучие материалы; новейшая пневматическая система перегрузки доставит эти материалы непосредственно в емкости буровой установки.

Большая роль отводится вертолетам, которым придется совершать 18-часовые рейсы, если установки будут находиться довольно далеко, например в районе Доггер-банки.

### ПРИЛОЖЕНИЕ. МОРСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ, СООРУЖАЕМЫЕ В АНГЛИИ

#### I

Тип. Полупогружная, треугольная. Три опоры диаметром 10,7 м на трех птунгах площадью 30,5×18,3 м и высотой 7,8 м.

Габариты в плане. Равносторонний треугольник, длина стороны 91,5 м. Общая высота 97,5 м, включая вышку высотой 42,7 м.

Особенности конструкции. Возможна посадка на дно моря или устойчивое положение на плаву при любом волнении, причем палуба находится на высоте 15,25 м над поверхностью воды.

При работе на плаву необходимо устанавливать девять якорей весом по 13,6 т каждый.

Буровое оборудование предназначено для бурения скважин глубиной до 6100 м. Запасы материалов и инструмента достаточны для бурения в интервале 3670 м. Генераторы электрического тока приводятся четырьмя дизелями мощностью по 1500 л.с.

Предусмотрены кондиционирование воздуха в жилых помещениях, площадка для вертолетов, установка для опреснения воды, комплексная телесвязь и система навигационных средств.

Производитель работ: Бритиш петролеум компани, Лтд.

Строители: Хорланд и Вольф, Лтд., Белфаст.

Общий вид установки показан на рис. 1.

#### II

Тип. Самоподъемная, с домкратами. Шесть опор диаметром 3,67 м, высотой 79,2 м.

Габариты в плане. Прямоугольник 68,5×42,7 м.

Общая высота 110 м, включая вышку высотой 42,7 м.

Вес 5450 т без нагрузки.

Особенности конструкции. Установка сможет противостоять ветрам скоростью 44,5 м/сек, волнам высотой 15,25 м и рассчитана на наиболее тяжелые гидрометеорологические условия в Северном море.

Предусмотрены жилые помещения на 50 человек и площадка для вертолетов.

Производители работ: Шелл совместно с фирмой Трансокеан дриллинг компани, Лтд.

Строители: Смитс док компани, Лтд., Мидлсбро.

Общий вид установки приведен на рис. 2.

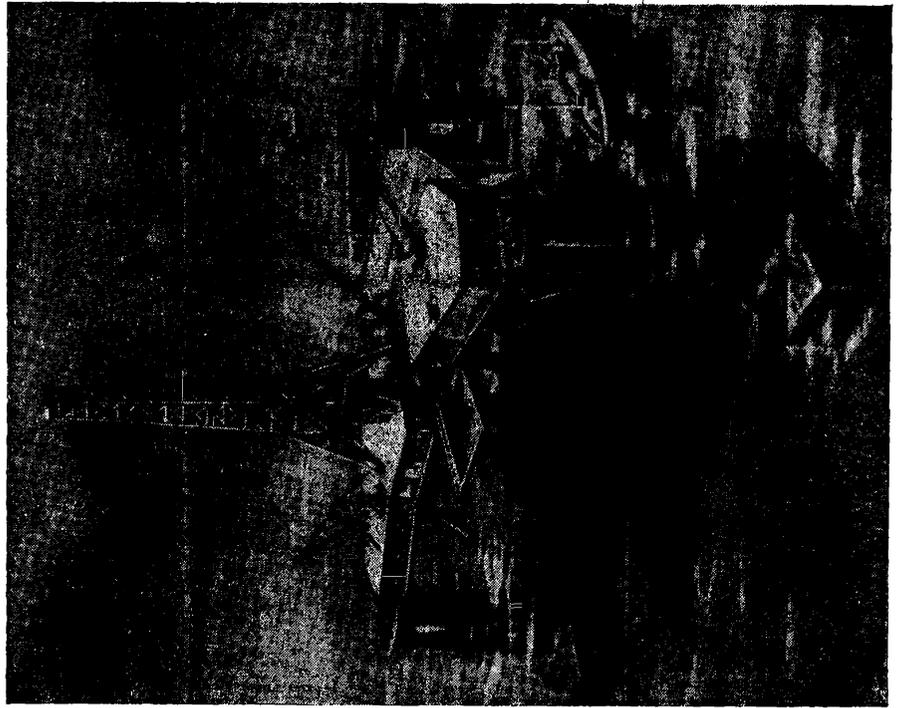


Рис. 1.

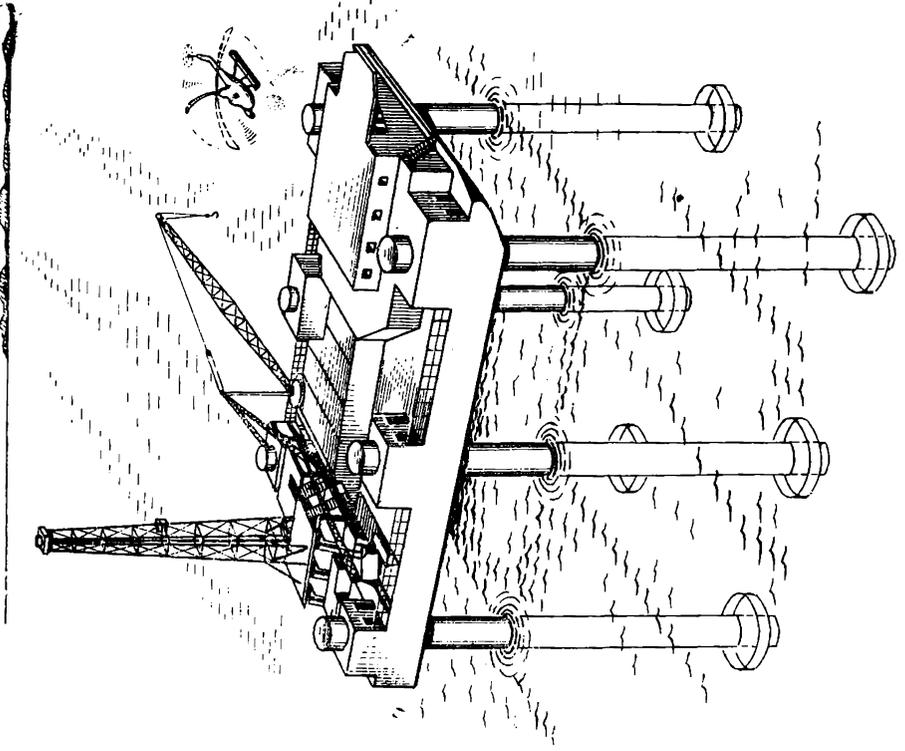


Рис. 2.

### III

Тип. Полупогружная. Каждый из двух горизонтальных понтонов имеет по пяти опорных колонн.

Габариты в плане. Прямоугольник размером  $107 \times 35,1$  м.

Общая высота 91,5 м вместе с вышкой высотой 42,7 м.

Вес 6000 т без нагрузки. На рабочей палубе размещается 3050 т материалов и оборудования.

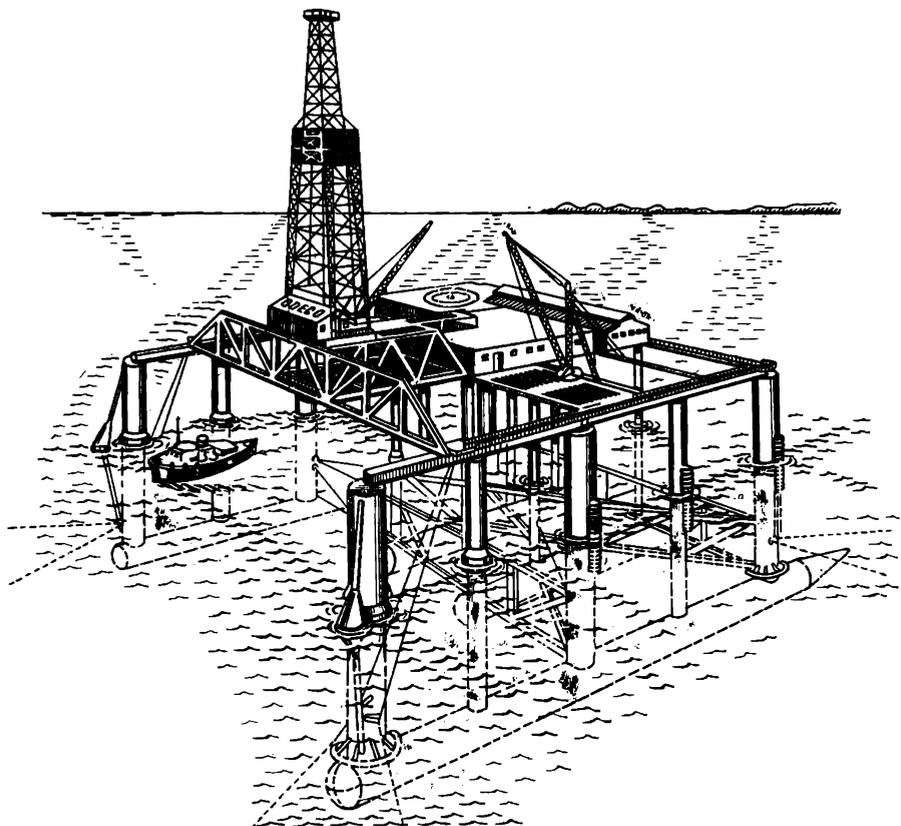


Рис. 3.

Особенности конструкции. Может работать с посадкой на дно моря в водах глубиной до 30,5 м или наплаву при глубине моря 183 м.

Грузоподъемность вышки высотой 42,7 м составляет 432 т. Буровое оборудование для скважин глубиной 6100 м. Лебедка приводится двумя двигателями мощностью по 800 л. с. Остальные двигатели предназначены для привода буровых насосов, электрогенераторов, опреснительной установки и др.

На платформе имеются жилые помещения на 49 человек, площадка для вертолетов, система морского радиотелефона, управляемое по радио навигационное оборудование и аварийные средства.

Производители работ: ОДЭКО (Оушен дриллинг энд эксплорейшн компани, Лтд., Англия; Барма ойл компани, Лтд., Империзл кемикэл индастриз, Лтд.

Строители: Смитс док компани, Лтд., Мидлсбро.

Общий вид установки показан на рис. 3.

### IV и V

Тип. Самоподъемная, с домкратами. Имеет четыре опоры весом по 363 т, длиной по 92,5 м.

Габариты в плане. Прямоугольник размером  $52 \times 39,7$  м, высота 5,2 м.

Общая высота. 110 м вместе с вышкой высотой 42,7 м.

Вес 2720 т плюс 1360 т оборудования.

Особенности конструкции. При глубине моря 60,5 м платформа остается на высоте 15,7 м над поверхностью воды.

На палубе размещается 2720 т материалов и оборудования.

Электрогидравлическая система домкратов, включающая по три захвата на опору и 24 гидроцилиндра на 364 т рабочей нагрузки, обеспечивает подъем платформы со скоростью 0,305 м/мин.

Дизель-электрическая буровая установка предназначена для бурения скважин глубиной до 6100 м. Общая мощность привода лебедки и двух буровых насосов по 1300 л. с. составляет 6000 л. с.

Сыпучие материалы транспортируются при помощи встроенной в установку современной пневматической системы.

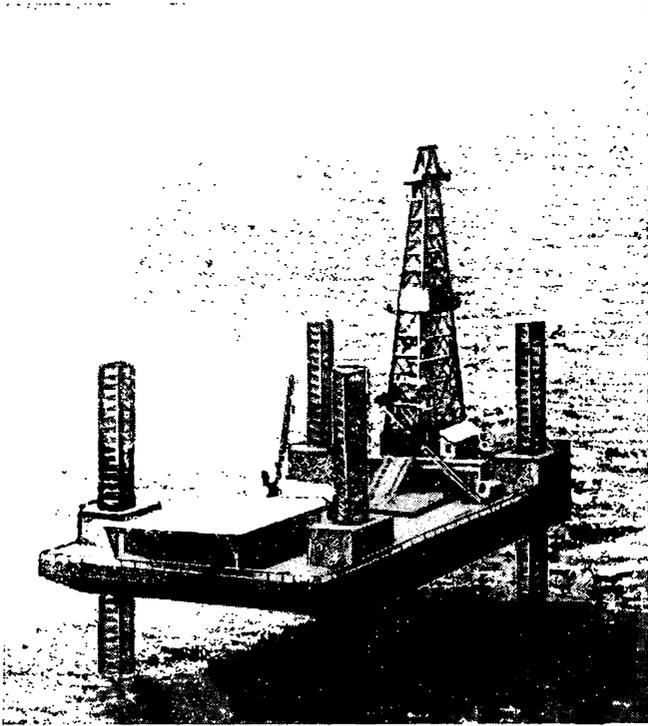


Рис. 4.

Имеются жилые помещения на 70 человек, установка для опреснения воды, площадка для вертолетов.

Производители работ: И.Д.К. (Интернэйшнл дриллинг компани), Филлипс петролеум компани и Петрофина С. А.

Строители: Джон Браун энд К<sup>о</sup> Лтд. (Клайдбенк).

Общий вид установки приведен на рис. 4.

## VI

Тип. Самоподъемная, с домкратами. Имеет четыре решетчатые опоры длиной по 118 м.

Габариты платформы. Прямоугольник размером 54,6 × 45,8 м, высота 5,65 м.

Общая высота около 143 м вместе с вышкой высотой 42,7 м.

Вес 6540 т плюс 2610 т материалов и оборудования.

Особенности конструкции. Способна выдержать ветры при скорости 51,4 м/сек и волны высотой до 19,5 м.

Дизель-электрическая буровая установка рассчитана на бурение скважин глубиной 6100 м в водах глубиной до 84 м.

Электрогидравлическая система подъема платформы с шестью захватами на каждую опору будет иметь максимальную скорость подъема 0,61 м/мин. Система подъема включает штыревые захваты, в которых штыри входят в равномерно расположенные отверстия в опорах, а при обратном ходе выходят из отверстий. Высокоскоростная система гидромониторов, установленная в опорах, обеспечивает необходимое внедрение опор в морское дно.

Производители работ: И. Д. К., ГЭС консил/группа Амоко.  
Строители: Джон Браун энд Ко, Лтд. (Клайдбенк).  
Общий вид установок типов IV, V и VI показан на рис. 4.

## VII

Тип. Самоподъемная, с домкратами.  
Габариты платформы. Прямоугольник размером 87×64 м, высота 7,62 м.  
Общая высота 130 м вместе с вышкой высотой 58 м.  
Вес 6350 т, с материалами и оборудованием 9070 т.

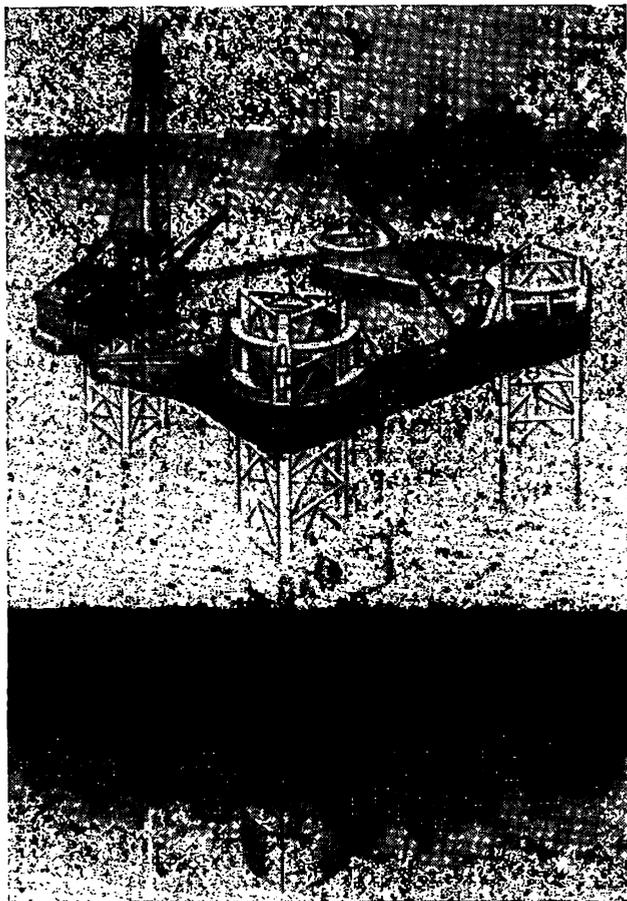


Рис. 5.

Особенности конструкции. Может противостоять ветрам при скорости 44,5 м/сек и волнам высотой 18,3 м при работе в водах глубиной 45,7 м. Буровое оборудование с 58-м вышкой рассчитано на бурение скважин глубиной до 6100 м.

Предусмотрены жилые помещения на 50 человек и площадка для вертолетов.

Производители работ: Санта Фе дрilling сервис, Лтд.; Мобил ойл компани.

Строители: Норт Си марин инжиниринг констракшн компани, Лтд. (Объединение семи английских компаний).

Общий вид установки показан на рис. 5.

## VIII

Тип. Полупогружная. Имеет четыре понтона с пятью опорами на каждом; восемь якорных линий при работе наплаву.

Общая высота с вышкой 84 м.

Вес 1090 т, нагрузка на палубе 1810 т.

Особенности конструкции. Может противостоять волнам высотой 7,62 м и ветрам при скорости 22,2 м/сек.

Буровое оборудование рассчитано на бурение скважин глубиной до 6100 м при глубине моря 305 м.

Емкость складских помещений на двух палубах позволяет производить бурение в течение длительных периодов времени без снабжения с берега.

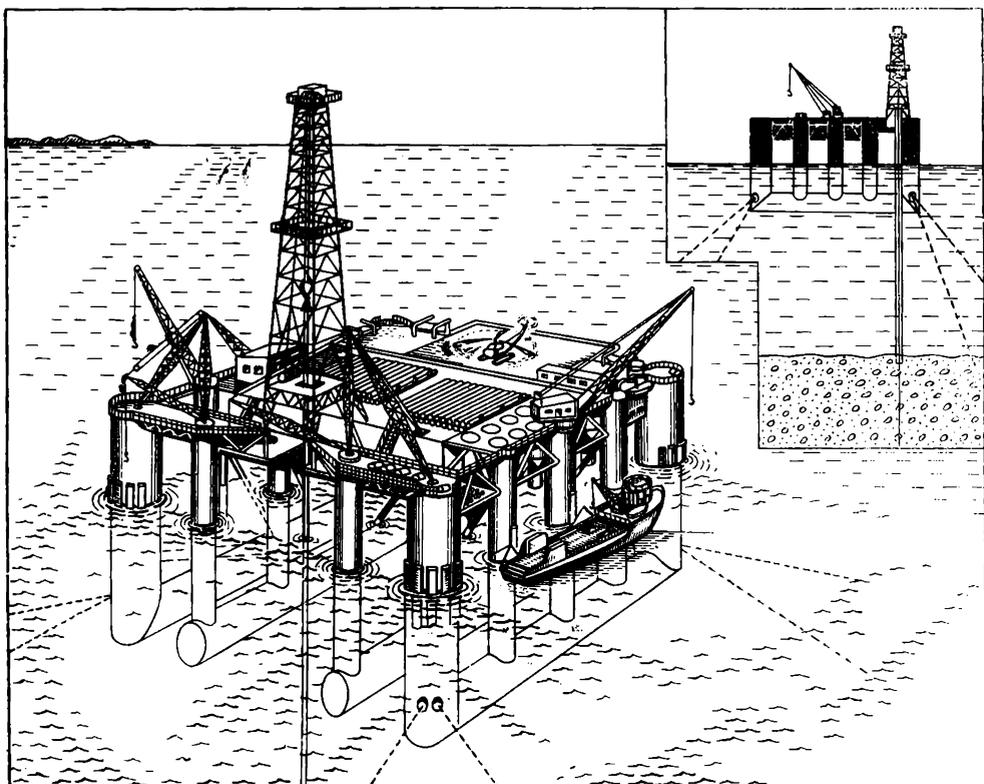


Рис. 6.

Имеются жилые помещения на 50 человек с кондиционированием воздуха и площадка для вертолетов.

Производители работ: Шелл и Эссо.

Строители: Фарнесс Шипбилдинг, Биллингхем; компани Дархем.

Общий вид установки показан на рис. 6.

## СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

*Жан Берн<sup>1</sup>*

В связи с возросшим объемом буровых работ проблема точной установки плавучего снаряда (судна или платформы) в море становится с каждым годом все более острой.

Возможны два решения этой проблемы:

1) платформа заякорена при помощи сложной системы цепей или тросов и якорей или неподвижных тел;

<sup>1</sup> В момент редактирования — инженер Французского института нефти, в настоящее время — инженер судостроительной верфи в Гавре. № 120.

2) судно или платформа снабжены автоматической системой динамической стабилизации.

При использовании существующих стационарных или плавучих платформ бурить морские скважины в большинстве случаев можно лишь на сравнительно небольших глубинах — приблизительно до 50 м.

Есть и такие установки, которые позволяют вести работы при большей глубине, но их конструкции довольно громоздки. Их заякоривание обходится очень дорого, и тем не менее точность установки заякоренных платформ не всегда оказывается удовлетворительной, если влияние внешних сил (ветра, течений и волнения) значительно.

Очевидно, существует предельная глубина, при превышении которой использование судна или платформы с системой динамической стабилизации будет выгоднее с экономической точки зрения по сравнению с платформой, опирающейся на дно или заякоренной обычным способом.

Сущность динамической стабилизации, как известно, заключается в использовании гребных винтов для поддержания заданного положения и курса судна. При бурении положение и курс судна должны оставаться вполне определенными независимо от действия внешних сил, чтобы возможность появления опасных нагрузок, действующих на колонну бурильных труб и кондуктор, была исключена.

Динамическая стабилизация значительно отличается от классического метода заякоривания. Так, точность установки при динамической стабилизации увеличивается с ростом глубины, а при классическом заякоривании она, наоборот, уменьшается. Точность установки характеризуется расстоянием  $d$  между фактическим местонахождением судна и идеальной точкой. Если глубину воды обозначить через  $H$ , то удель-

ную точность можно выразить отношением  $\frac{d}{H}$ . Направление изгиба колонны бурильных труб между судном и устьем скважины зависит от этого отношения.

Удельная точность, необходимая при проведении буровых работ, обуславливается рядом факторов, основными из которых являются величина бортовой качки судна, глубина бурения, размеры и характеристики материала бурильной колонны. Удельная точность может составлять 6—8% при бурении неглубоких скважин и при крене, не превышающем 2—3°, но если угол крена достигает 6—10° и длина бурильной колонны превосходит 1000—2000 м, она снижается до 2 или 3%.

Эти цифры иллюстрируют всю сложность проблемы и показывают, что при определенных гидрометеорологических условиях необходимо прекращать бурение. Предельная глубина, при превышении которой бурение в море целесообразно вести при системе динамической стабилизации вместо классического заякоривания, зависит от этих условий.

Динамическая стабилизация осуществляется значительно быстрее классического заякоривания.

Стоимость системы динамической стабилизации не зависит от глубины моря, а только от продолжительности работы судна; при классическом заякоривании — наоборот.

Прежде чем перейти к изложению принципа предлагаемого решения, кратко проанализируем действие на судно внешних сил, вызываемых возмущениями, и характеристики бурового судна, необходимые для осуществления динамической стабилизации.

Причинами возмущений являются главным образом морские течения, ветер и волнение.

Силы  $F$ , возникающие под действием течений, определяются формулой

$$F = K S v^2,$$

где  $K$  — коэффициент формы, пропорциональный величине  $C_x$  (коэффициент лобового сопротивления);  $S$  — площадь сечения подводной части корпуса судна, перпендикулярная направлению течения;  $v$  — скорость течения. Коэффициент  $K$  значительно изменяется в зависимости от формы подводной части судна. Если выразить  $F$  в  $\kappa\Gamma$ ,  $S$  — в  $m^2$  и  $v$  — в  $m/сек$ , то величина  $K$  может колебаться от 5 до 10 для сопротивления движению воды вдоль судна и от 30 до 60 — для сопротивления движению воды поперек судна. Вследствие того, что поперечная площадь сечения подводной части судна в 5—10 раз меньше площади бокового сечения, сопротивление  $F$  меняется в пределах от 1 до 50 в зависимости от направления течения (вдоль продольной или поперечной плоскости сечения судна). Иными словами, если мощность, установленная на классическом судне, при нормальном ходе позволяет преодолеть течение, скорость которого равна  $v$ , то при той же мощности сопротивление судна боковому течению будет в  $\sqrt{50} \approx 7$  раз слабее. Эти положения имеют силу лишь для судов классической формы, и последнее соотношение уменьшается, если корпус имеет менее вытянутую форму или форму катамарана.

Скорость постоянных или береговых течений часто не превышает 1852  $m/ч$ . Морские течения в Ла-Манше или в Мессинском проливе значительно сильнее: их скорость нередко достигает от 4 до 6  $км/ч$ , а в отдельных местах 9—12  $км/ч$  и даже больше.

Влияние ветра подчиняется той же формуле. Коэффициент  $K$  может меняться в пределах 0,05—0,12 (при тех же единицах измерения) в зависимости от профиля надводной части корпуса судна. Однако при малой величине коэффициента  $K$  скорость ветра имеет намного большее значение, чем скорость течения. Как правило, ветровые нагрузки превалируют.

Колонна бурильных труб создает горизонтальные нагрузки на судно. Нагрузки возникают под влиянием течения или сноса судна. Нагрузками, возникающими под влиянием течения, не всегда можно пренебрегать: так, 254-мм обсадная колонна на 100 м глубины моря и при скорости течения до 4  $км/ч$  создает постоянную горизонтальную нагрузку на судно, равную 0,7  $T$ .

Смещение судна также будет вызываться действием бурильной колонны, которая стремится привести судно в идеальное положение. Эта нагрузка равна произведению удельной точности и веса подвешенной колонны бурильных труб.

Установив силу течения или ветра, которую нужно преодолеть, можно определить нагрузки, которые должно выдержать судно, и на этом основании вычислить минимальную требуемую мощность двигателей. Статическая тяга гребного винта (при режиме работы на месте) обычно составляет приблизительно 10  $\kappa\Gamma/л. с$ . В некоторых случаях она может достигать 20  $\kappa\Gamma/л. с$ .

Не следует, однако, забывать, что мгновенное управление судном будет тем труднее, чем большая часть имеющейся мощности будет затрачиваться на компенсацию средних нагрузок. Именно при значительных периодах волнения и ветра, т. е. при сильном сносе судна, необходима особенно высокая точность его установки, обеспечить которую очень трудно или даже невозможно, когда остаточное тяговое усилие (разность между максимальным тяговым усилием и усилиями, необходимыми на преодоление средних нагрузок) меньше определенной величины.

Приводимые ниже цифры, выведенные на основании характеристик существующих грузовых судов, дают представление о порядке величин.

Удельная мощность, необходимая для приведения судна в движение, уменьшается с увеличением его водоизмещения. Таким образом,

при скорости 18,5 км/ч необходимы следующие удельные мощности: 0,8 л. с./т для судов водоизмещением 500—2000 т; 0,5 л. с./т для судов водоизмещением 2000—5000 т. Такая мощность позволяет противостоять влиянию ветра скоростью 200 км/ч. Так как парусность бурового судна вдвое больше парусности обычного судна, эта скорость ветра получается уменьшенной до 150 км/ч.

В действительности же скорость ветра 80 км/ч является предельной: если она возрастает, следует для безопасности приостановить работы. Для нейтрализации действия такого ветра требуется четвертая часть указанной выше мощности  $P$ . Если, кроме того, судно должно преодолеть боковое течение скоростью 1850 м/ч, то затрачивается половина мощности  $P$ .

Для сохранения возможности мгновенного управления судном необходимо располагать запасом мощности. Запас мощности может меняться в значительных пределах в зависимости от надежности системы управления, времени ее срабатывания и же-

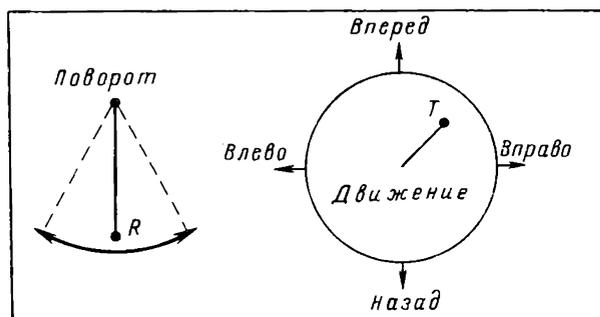


Рис. 1. Схема поста ручного управления на судне «Теребел».

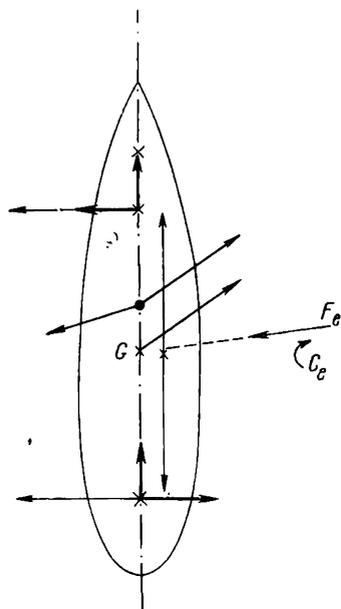


Рис. 2.

лаемой точности. Во всяком случае для этого достаточно  $\frac{1}{4}$  мощности  $P$ .

Итак, мощность, необходимая для обеспечения динамической стабилизации судна, приблизительно равна мощности, затрачиваемой при его движении с крейсерской скоростью в пределах 18,5 км/ч. Этот результат дает представление лишь о порядке величин. В нашем теоретическом случае, при боковом течении и встречном ветре, судно испытывает влияние равнодействующей силы и пары сил, интенсивность которых можно было бы уменьшить, изменив курс судна.

Различные приводимые числовые значения нельзя использовать непосредственно для корпусов особого типа. Интерполяцию следует выполнять очень осторожно.

После краткого изложения существа проблемы перейдем к рассмотрению принципа системы управления гребными винтами и средств ее осуществления.

Ручное управление судном будет легким при ограниченном числе рычагов управления (достаточно двух), подающих сигналы в счетно-решающее устройство, и при наличии обратной связи. На рис. 1 показана схема поста ручного управления, установленного на судне «Теребел» для бурения гибким шлангом. Пост сконструирован Французским институтом нефти.

Счетно-решающее устройство вырабатывает сигналы для дистан-

ционного управления гребными винтами. Сигналы могут быть либо электрическими и создаваться синхронизирующими устройствами или потенциометрами, либо механическими и возникать при перемещении рычага или повороте оси.

Счетно-решающее устройство обрабатывает полученные сигналы, выполняя простые алгебраические действия электрическими или механическими способами.

Если перемещение или поворот рычагов управления вызывает перемещение или поворот судна без какого бы то ни было взаимодействия переменных  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$  (курс), характеризующих положение судна, то, по-видимому, мы имеем идеальную передаточную систему управления с полным отключением. Каковы бы ни были внешние условия (течение и ветер), осуществить на практике полное отключение чрезвычайно трудно, к тому же это и не требуется.

Два приведенных ниже примера наглядно покажут независимость или, наоборот, взаимодействие различных перемещений судна.

*Пример 1.* Выбрать положение судна при отсутствии течения и при слабом ветре. Предполагается, однако, что какое-то возмущение вызвало смещение судна, которое нужно привести в исходное положение. Абсолютные и относительные перемещения судна будут осуществляться очень медленно; гидродинамическое сопротивление будет очень незначительным, а сопротивление, вызываемое ветром,— почти постоянным. Практически при перемещении судна упору гребных винтов противодействуют только силы инерции. Чтобы получить перемещение судна по продольной или поперечной оси, достаточно приложить силу, проходящую через центр тяжести и направленную вдоль одной из этих осей. Для изменения курса достаточно создать чистый момент (рис. 2), т. е. иметь в распоряжении по крайней мере два гребных винта, установленных с обеих сторон от центра тяжести.

*Пример 2.* Необходимо переместить судно в каком-либо направлении; сила приложена в этом направлении и проходит через центр тяжести судна. Под действием этой силы судно изменит курс, но не переместится точно в заданном направлении, так как центр приложения силы сопротивления движению под углом, или центр приложения отклоняющей силы  $D$ , не совпадает с центром тяжести. Подобное противодействие, отражающее связь между перемещениями, будет тем менее выраженным, чем меньше будут относительная скорость судна и отношение его длины к ширине. Когда относительная скорость стремится к нулю, мы имеем полное отсутствие этой связи; напротив, связь эта может быть значительной, если скорость перемещения велика или если судно при наличии течения остается абсолютно неподвижным. Эта связь не создает затруднений при некотором навыке ручного управления и вполне терпима при автоматическом управлении, благодаря чему отпадает необходимость в поисках сложного технического решения для ликвидации или уменьшения этой связи.

Вообще сумма внешних сил, действующих на судно, будет равна единому моменту  $C_e$  и единой силе  $F_e$ , приложенным к центру тяжести. Гребные винты должны обеспечить тягу  $P = -F_e$  и момент  $C = -C_e$ . Момент  $C$  может быть очень большим и достигать для судна водоизмещением 1000 т нескольких тонно-метров. Наиболее экономичный способ создания момента  $C$ , по-видимому, заключается в размещении гребных винтов на возможно большем расстоянии друг от друга для получения максимального плеча пары сил.

Число гребных винтов, создающих величины  $P$  и  $C$ , может быть больше двух; тяга  $f$ , создаваемая одним винтом, определяется ее составляющими  $f_x$  и  $f_y$ , которые мы принимаем за неизвестные.

При  $n$  гребных винтов число неизвестных будет равно  $2n$ , и поскольку  $P$  и  $C$  позволяют составить три уравнения (два для  $P$  и одно для  $C$ ), для определения системы необходимо будет составить  $2n - 3$  дополнительных условий. В зависимости от этих соотношений будет избран метод работы инженера с учетом условий работы или характеристики оборудования. Они соответствуют, в частности, минимальному потреблению энергии, достижению меньшего времени срабатывания системы при изменении момента и тяги, работе при постоянной ориентации и регулируемой тяге винтов или наоборот и т. д. Эти условия будут заданы счетно-решающему устройству, которое будет осуществ-

лять дистанционное управление гребными винтами. В зависимости от конкретных обстоятельств результаты вычислений будут выражены в декартовых или полярных координатах. Практически управление на расстоянии будет представлять собой систему автоматического управления. Задача будет состоять в том, чтобы привести в движение гребной винт, ориентировать винт или привести в действие домкраты и т. п.

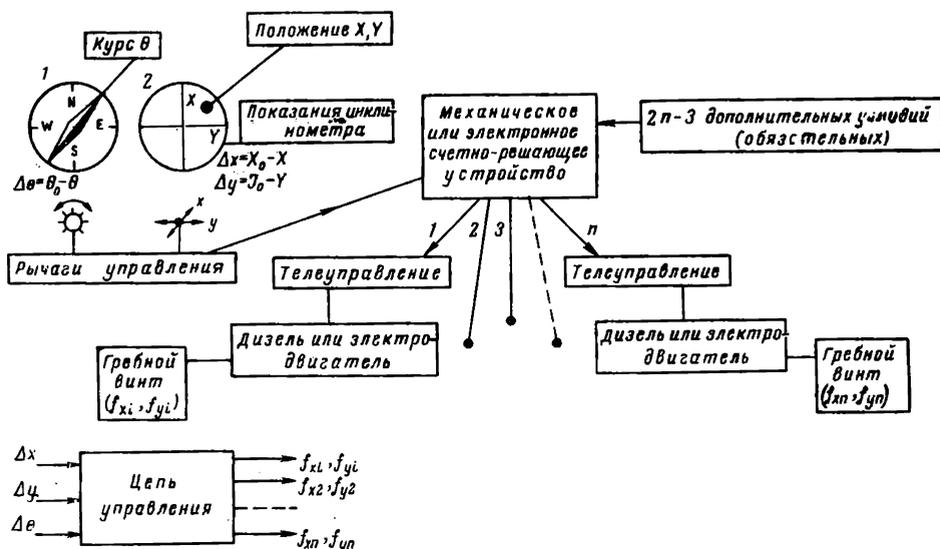


Рис. 3. Принципиальная схема ручного управления.  
1 — компас; 2 — индикатор положения судна.

На рис. 3 показана принципиальная схема ручного управления. По индикаторам положения и курса рулевой определяет положение судна ( $x, y, \theta$ ) и в зависимости от отклонений ( $\Delta x = x_0 - x$ ,  $\Delta y = y_0 - y$ ,  $\Delta\theta = \theta_0 - \theta$ , где  $x_0, y_0$  и  $\theta_0$  — идеальные значения) поворачивает рычаги на угол (величина которого пропорциональна этим отклонениям) так, чтобы сообщить различным винтам переменные во времени силы  $f_{xi}$  и  $f_{yi}$ , которые он считает наилучшими для устранения девиации.

Принцип автоматизации управления при применении системы динамической стабилизации очень прост: данные об отклонении от положения и курса  $\Delta x, \Delta y$  и  $\Delta\theta$  поступают не на индикаторы, а подаются в счетно-решающее устройство для обработки и создания сил  $f_{xi}$  и  $f_{yi}$ .

В качестве примера возьмем случай автоматического регулирования переменной  $X$  (рис. 4).

Пусть  $X_0$  — идеальное положение судна, находящегося в момент  $t$  в положении  $X$ . После определения местонахождения судна блок сравнения подаст сигнал  $\Delta x = X_0 - X$  в виде электрического напряжения. Этот сигнал позволит счетно-решающему устройству выработать сигналы  $f_{xi}$  и  $f_{yi}$ , выполняя которые, гребные винты создадут тягу и момент для устранения отклонения  $\Delta x$ .

На практике эта упрощенная схема должна быть дополнена. Ее дополняют цепью обратной связи по скорости, чтобы улучшить устойчивость функционирования системы. Иногда целесообразно ввести в схему корректирующий контур (например, с интегральным контролем), основное назначение которого заключается в обеспечении более высокой точности функционирования при сохранении устойчивости.

При одновременном автоматическом регулировании трех перемен-

ных  $X$ ,  $Y$ ,  $\theta$  принцип остается тем же, лишь к действию предыдущего канала связи присоединяется действие двух других: счетно-решающее устройство принимает сигналы  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta\theta$  (рис. 5).

Само собой разумеется, что при ручном управлении всегда существует возможность использования авторулевого. Для этого достаточно подать на вход счетно-решающего устройства сигналы  $X$ ,  $Y$  и  $\theta$ , разорвав предварительно цепи обратной связи.

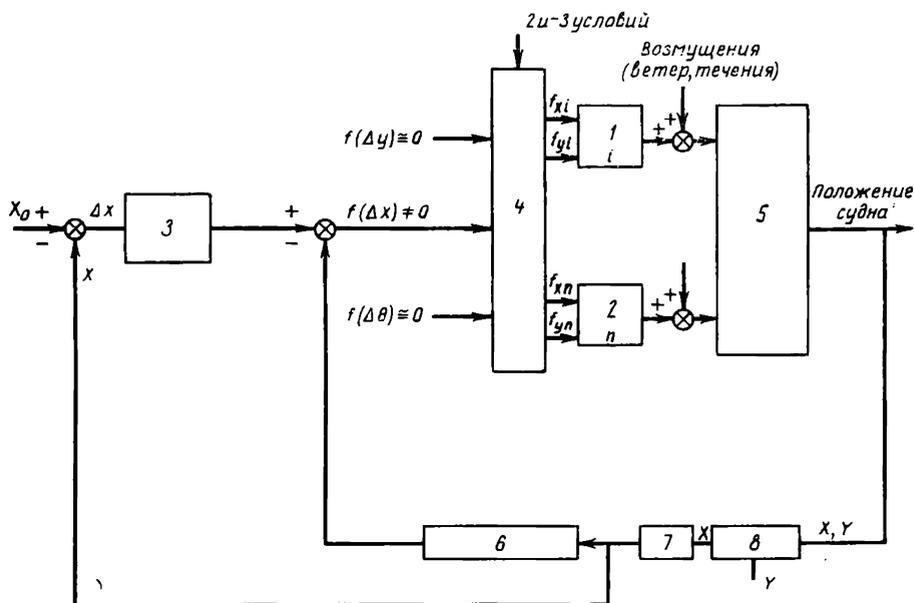


Рис. 4. Схема автоматического регулирования одной переменной  $X$ .

1, 2 — гребные винты; 3 — корректирующий контур; 4 — счетно-решающее устройство; 5 — судно; 6 — стабилизирующий контур; 7 — фильтр; 8 — инклинометр.

Прежде чем перейти к сообщению результатов использования системы динамической стабилизации на судне «Теребел», остановимся на некоторых основных способах определения местоположения судна и различных типах винтов, которыми располагает современная промышленность.

Существуют различные методы определения местонахождения судна: электромагнитные, ультразвуковые или просто механические.

Основные электромагнитные радионавигационные системы: система ближней радионавигации Шоран, система Ратран; фазовая гиперболическая система дальней радионавигации Декка, система Рейдист, система дальней радионавигации Лоран; системы Торан и Гидродист. Радиус их действия может достигать примерно 200—300 км, а точность приборов может быть порядка 1 м. Тем не менее эти электромагнитные системы могут давать отклонение, намного превышающее мгновенную точность.

Ультразвуковые системы определения местонахождения также многочисленны. Но ни одна из них еще не достигла такого уровня, на котором она могла бы иметь промышленное значение. Все они основаны на общем принципе измерения времени распространения или периодов работы пучков ультразвуковых волн. Для этого применяются передатчики, гидрофоны или радиответчики, установленные на судне, на поверхности моря, на небольшой глубине или на дне.

Определение местонахождения механическим способом при помощи инклинометра и натянутого троса состоит в измерении углов, которые трос, натянутый между неподвижным телом и судном, образует с

истинной вертикалью в двух перпендикулярных направлениях. Знание глубины воды позволяет при этом определить горизонтальные отклонения судна. Точность может достигать  $0,2^\circ$  по показанию, определяемому тросом в известных условиях.

Последний параметр, определяющий местоположение судна, — его курс. Он определяется обычными приборами: магнитным или гироскопическим компасом.

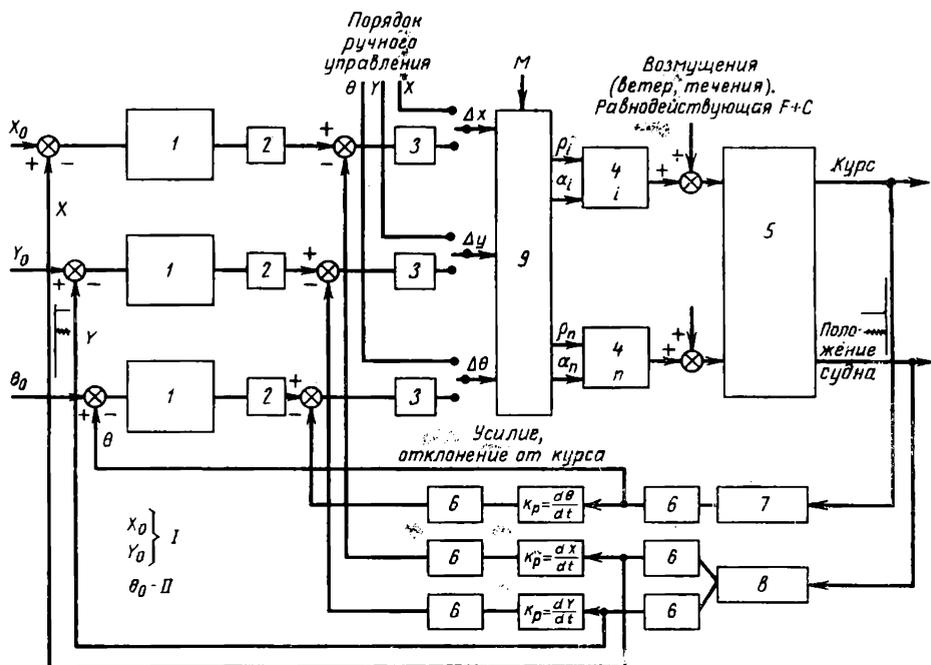


Рис. 5. Система автоматического регулирования трех переменных. Функциональная схема. 1 — корректирующие контуры; 2 — усиление; 3 — усиление  $K_i$ ; 4 — гребные винты; 5 — судно; 6 — фильтры; 7 — гироскопас; 8 — инклинометр; 9 — счетно-решающее устройство. I — обозначение положения; II — обозначение курса.

Тяговые механизмы являются одним из самых важных узлов системы динамической стабилизации. К гребным винтам предъявляются следующие основные требования: обеспечение значительной тяги на 1 л. с.; возможность непрерывного изменения тяги от  $-P$  до  $+P$  при минимальных затратах времени; ориентация тяги по любому азимуту при минимальных затратах времени.

Как правило, гребной винт обеспечивает значительную тягу на 1 л. с. каждый раз, когда он приводит в движение значительное количество воды при малой скорости. Однако существует предельная величина, ограничивающая тягу гребного винта только потому, что возможно возникновение вредных гидродинамических сил трения.

Можно было бы представить себе систему динамической стабилизации в виде центральной станции, выбрасывающей воду под давлением через струйные насосы, помещенные в различных точках судна. Громоздкость и низкий к. п. д. установки мешают осуществлению подобного варианта.

Изменение тяги гребного винта регулируется изменением числа оборотов или шага лопастей. Сила тяги пропорциональна квадрату скорости вращения. Для регулирования силы тяги достаточно регулировать скорость приводного двигателя. Например, фирма Камева выпускает гребные винты с переменным шагом диаметром до 8 м и весом 60 т. Изменение шага осуществляется посредством гидропривода. Пре-

имущество такого решения состоит в том, что привод работает от двигателя с постоянной скоростью.

Ориентация тяги возможна только в том случае, если винт и картер его привода могут поворачиваться вокруг вертикальной оси, для чего требуется специальный монтаж.

Фирма Плэже производит силовые установки с электродвигателем, которые могут быть погружными. Их помещают в рулях или в туннелях поперек оси корпуса. Мощность их может достигать 400 л. с.

Гребные винты Шоттель — внебортового типа, но приводной двигатель устанавливается на судне. Их максимальная мощность 600 л. с.

Изменение направления тяги может быть достигнуто при помощи реверсора, установленного между двигателем и винтом, или поворотом погружного лонжерона на 180°; продолжительность этой операции довольно велика — 5—6 сек и создает неудобства при управлении. В верхней части находится система передачи мощности или ориентации.

Винты фирмы Фойт-Шнейдер образованы вертикальными лопастями, угол атаки которых периодически изменяется в процессе их вращения.

Скорость вращения лопастей постоянна; направление и сила тяги регулируются независимо и очень быстро.

Винты этого типа вполне подходят для динамической стабилизации, так как позволяют осуществлять почти мгновенное регулирование силы и направления тяги.

В соответствии с программой исследований в области морского бурения Французский институт нефти использовал экспериментальное судно «Теребел» водоизмещением 800 т. Кроме двух основных двигателей Паксман (мощностью 450 л. с. каждый), оно снабжено двумя винтами Шоттель мощностью 300 л. с. каждый, предназначенными для динамической стабилизации.

Система динамической стабилизации осуществлялась постепенно: механическое счетно-решающее устройство с передачей электромагнитных сигналов для ручного управления, затем электронное счетно-решающее устройство для ручного управления и, наконец, автоматическое управление. Автоматическое управление применяется с января

#### Результаты испытаний системы динамической стабилизации

Показатели	Район Марселя				Мессинский пролив	
	№ испытания					
	1	2	3	4	5	6
Глубина, м . . . . .	35	60	70	90	120	110
Состояние моря:						
высота волн, м . . . . .	2	2,5	0,5	1	<1	<1,5
скорость ветра, км/ч . . . . .	46	55—76	18,5	37—55	18,5	37—55
скорость течения, м/ч . . . . .	<1850	<1850	<1850	<1850	5550—7500	3700—5550
Точность величин X, Y, м . . . . .	±3	±2	> ±1	±1,5	> ±1	±2
Точность θ, град. . . . .	±3	±5	±3	±4	±3	±4
Примечания	Судно повернуто против ветра	Судно повернуто против ветра, временами порывы достигают 111 км		Боковой ветер	Встречное течение; боковой ветер	Встречное течение; ветер переменного направления

1965 г. в самых различных и часто суровых условиях ветра, течений и волнения.

Данные некоторых наиболее показательных испытаний приведены в таблице. Опыты 1—4 проводились в Средиземном море к юго-востоку от Пор-де-Бук, а опыты 5 и 6 в Мессинском проливе.

Результаты экспериментов подтвердили теоретические предположения. Точность установки судна позволяет вести бурение даже при плохой погоде (волна 2,5 м, скорость ветра 92 км).

Кроме того, во время испытаний было вызвано возмущение и судно было подвержено действию внешней силы 4 Т при помощи основных гребных винтов (максимальная тяга). Отклонение положения судна не превышало 1,5 м.

Само собой разумеется, что при действии на судно значительных внешних нагрузок для создания полного или частичного противодействия средней равнодействующей силе можно использовать основные двигатели судна, предоставив автоматической системе стабилизации компенсировать лишь их разность.

При высоком внешнем моменте можно применить тот же самый способ, заставив действовать оба основных двигателя Паксман: один для хода вперед, другой для хода назад.

Вероятно, именно совместная работа винтов Шоттель и двигателей Паксман позволила осуществить динамическую стабилизацию при одновременном действии ветра (скорость 92 км/ч) и течения (скорость 7 км/ч).

На основании этих опытов можно сделать вывод о том, что динамическая стабилизация представляет собой технически надежное и экономичное решение проблемы устойчивости судна во время бурения.

Подобное решение в некоторых случаях является единственным технически возможным. Использование динамической стабилизации вместо классического метода закоривания может дать в отдельных случаях значительный экономический эффект.

---

## ПЛАВУЧАЯ БУРОВАЯ ПЛАТФОРМА ЛЕ ТУРНО С НАКЛОННЫМИ ОПОРАМИ

*Р. Л. Ле Турно*

Всего лишь около 10 лет назад первые плавучие платформы Ле Турно самоподъемного типа были переданы промышленности для использования в море. Они несли на себе буровое оборудование и были приспособлены для работы при глубине воды от 23 до 31 м. Первоначально установка была трехногой и подъем-спуск платформы осуществлялся со скоростью 0,3 м/мин. Такие установки уже тогда эксплуатировались с высокими технико-экономическими показателями. Несколько таких установок работает без серьезных перерывов в течение 8—9 лет.

В 1959 и 1960 гг. были сконструированы опоры платформ для работы при глубине воды до 40 м. В последующие годы в связи с повсеместным резким расширением буровых работ в более глубоких водах возникла потребность в создании самоподъемных установок, рассчитанных на глубину воды в два раза большую. Первой отозвалась фирма Диксилин корпорейшн. Платформа Ле Турно с тремя поддерживающими опорами, известная в промышленности под названием Диксилин-250, продолжила поисковое бурение в первые дни 1963 г. Эта установка допускает работу при глубине воды 92 м.

Ниже приводятся данные об эксплуатации ПБУ (подъемная буровая установка) с 25 декабря 1963 г. по 1 мая 1965 г. За это время она работала в море при глубине воды более 42 м.

Число пробуренных скважин . . . . .	14
Объем бурения, м . . . . .	46096
Число местных перемещений . . . . .	10

Примечание. Местным считается перемещение на расстояние до 10 км.

Среднее расстояние местных перемещений, км . . . . .	5,6
Число больших перемещений . . . . .	5

Примечание. Большими считаются перемещения на расстояние от 21 до 266 км.

Среднее время перевода установки из плавучего в рабочее положение, ч . . . . .	6—9
Полное время перестановки, ч . . . . .	104

Примечание. Сюда включается перестановка подпорок, ног, нагнетательных труб, якоря, направляющей воронки и бортового осветительного оборудования, действующего от тепловой установки.

Средняя высота платформы над морем, на плаву, м . . . . .	0,9—1,2
Средний угол наклона опор при установке, град. . . . .	7
Среднее углубление опор в дно моря, м . . . . .	16
Общая мощность двигателей, используемых при перевозках, л. с. . . . .	7200 или более

Примечание. 4 двигателя по 1800 л. с. или более каждый.

Время ожидания благоприятной погоды для перевозки . . . . .	0,6% от времени нахождения в рабочем положении
Скорость ветра во время буксирования, км/ч . . . . .	минимум 8, максимум 56, шторм до 104
Средняя высота волн во время буксировки, м . . . . .	до 3, максимум 5 (шторм)
Средняя скорость буксировки, км . . . . .	6,5

Основные данные платформы Диксилин-250 следующие:

Форма платформы . . . . .	гексагональная
Общая длина, м . . . . .	5,6
Общая ширина, м . . . . .	51,8
Осадка, м . . . . .	7
Длина опор, м . . . . .	115
Диаметр каждой опоры, м . . . . .	9,8
Максимальный угол наклона каждой опоры, град. . . . .	12
Полный вес, т . . . . .	6000

Пронесшийся 1 и 2 октября 1964 г. вблизи побережья Луизианы ураган нанес значительный ущерб нефтяной промышленности. Диксилин-250 находилась южнее о. Марш на участке с глубиной воды 56,7 м на самом пути урагана. Воздушный зазор составлял 12,2 м, а углы наклона опор 7—9° при заглублении в морское дно на 14,3—16,5 м. Скорость ветра достигала 208 км/ч и высота гребней волн над средним уровнем воды более 12 м. Диксилин-250 потерпела небольшие повреждения в насосных линиях, трапах и в одной из труб в распорках опоры, но работала в течение 8 ч, после того как бригада исправила поломки. Кроме того, во время шторма была повреждена наклонная опора при глубине воды 36,6 м и наклоне опор от 4 до 6°. Эта установка была также одной из первых, возобновивших бурение после шторма.

Максимальная глубина воды, при которой велось бурение при помощи наклонных опор, составляла 65 м. В конце 1965 г. проектировалось бурение такими установками при глубине воды 96 м.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие

3

### I.

#### Вопросы метеорологии и волнового режима

А. Л а к о м б. Изучение морей и океанов ( <i>Переводчик И. М. Шехтер</i> )	5
Д. Х и б б е р т. Организация службы прогнозов ветра волн и погоды для работ на морских месторождениях нефти ( <i>Переводчик Д. Ч. Лившиц</i> )	10
Т. Р. Г а с к е л л. Измерения, проводимые с морских буровых оснований ( <i>Переводчик Д. Ч. Лившиц</i> )	18
Г. И. Д ж а р л а н, В. М а р к с. Оптимальные гидродинамические характеристики устойчивой морской платформы для работы в глубоких водах ( <i>Переводчик Л. И. Константинова</i> )	23
Ч. Л. Б р е т ш н а й д е р, М. С т. Д е н и с. Выбор расчетного волнового режима при конструировании морских оснований ( <i>Переводчик Д. Ч. Лившиц</i> )	31
С. И ш и г у р о. Детальная структура штормовой волны в Северном море ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	45

### II.

#### Технические средства и методы работы в подводных условиях

Ж а к И в К у с т о. Аппараты для подводных исследований ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	53
Ж а к П и к а р. Поплавки больших размеров ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	59
П. В и л ь м. Подводные автономные аппараты с экипажем ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	68
Ж. А л и н а. Экспедиции «Преконтинент» и их перспективы ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	83
Р о б е р т П. С т е н у т. Человек в морских исследованиях ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	90
Х. Д а н В и л с о н. Новейшие средства для подводных работ ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	92
А. С а л л е н. Подводная работа водолазов ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	100
Е. С. Х а н н е н. История глубоководных погружений с кислородно-гелиевыми системами ( <i>Переводчик М. И. Ворожбитов</i> )	103
Дж. Ф. Б о н д. Новое о возможности жизни под водой ( <i>Переводчик М. И. Ворожбитов</i> )	107
Ш а р л ь Ф. А к а д р о. Проверка и подбор персонала для работы под водой ( <i>Переводчик М. И. Ворожбитов</i> )	110
К л о д Э л ь н ь о з и. Материалы для строительства сверхпрочных корпусов подводных аппаратов ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	118
Ж а н М о л л я р. Исследование свойств материалов для строительства поплавков ( <i>Переводчик С. И. Леонова</i> )	127
Е. Е. Р. Б е р н а р д. Методы лечения декомпрессионной болезни ( <i>Переводчик М. И. Ворожбитов</i> )	135

### III.

#### Морская геология

Л е Ф ю р. Современные методы определения местонахождения в море ( <i>Переводчик С. М. Железняк</i> )	139
К. Х. С э в и т. Многократное отражение в морских сейсмических исследованиях ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	148
Р. Ж е н е с л е й, Д. М и ш о н. Морская сейсморазведка ( <i>Переводчик Л. Б. Шевченко</i> )	163
Р. Ж и р е. Аэромагнитные методы, применяемые для разведки на нефть в морских условиях ( <i>Переводчик Л. Б. Шевченко</i> )	172
К. М о р е л л и. Гравиметрические измерения на поверхностных судах ( <i>Переводчик М. П. Полканов</i> )	178

Т. Ф. Гаскелл. Аппаратура бокового эхолотирования «асдик» (Переводчик М. П. Полканов)	194
М. Ж. Лнотто. Подводный буровой станок для отбора керна из обнажений на глубине до 400 м (Переводчик Л. Б. Шевченко)	198
В. Романовский. Проблемы, связанные с отбором керна в осадочных отложениях моря (Переводчик С. И. Леонова)	202
А. Х. Страйд. Периодический и случайный перенос песка в Северном море (Переводчик М. П. Полканов)	210
С. Элдер, К. Ф. С. Гривес. Геология морских площадей Абу Даби (Переводчик М. П. Полканов)	217
П. Мина, Ф. Найямабади. Новая попытка полного использования иранских изысканий в прибрежной части Персидского залива (Переводчик М. П. Полканов)	231
Л. Бреслау. Классификация осадков морского дна при помощи судовой акустической системы (Переводчик Л. И. Константинова)	237

#### IV.

##### Бурение в море

Ир. Дж. Дж. Стенджер. Проблема устойчивости морских буровых установок (Переводчик М. И. Ворожбитов)	253
К. Г. Янг. О применении погружного оборудования при бурении морских скважин (Переводчик М. И. Ворожбитов)	263
Г. Лилл. Проект Мохол (Переводчик М. И. Ворожбитов)	269
Ж. Делакур, П. Мулен. Новый метод бурения в море (Переводчик С. И. Леонова)	275
Е. Джермен. Нефтяные разработки Англии в Северном море (Переводчик А. З. Романов)	281
Жан Берн. Система динамической стабилизации (Переводчик С. И. Леонова)	288
Р. Л. Ле Турно. Плавающая буровая платформа Ле Турно с наклонными опорами (Переводчик М. П. Полканов)	297

#### Труды Международного конгресса

##### НЕФТЬ И МОРЕ, т. I

Редакторы *Н. С. Тимофеев, И. П. Кулиев*  
 Ведущий редактор изд-ва *Н. Д. Дубровина*  
 Художник *Г. А. Петров*  
 Художественный редактор *В. Н. Тихунов*  
 Технический редактор *Л. Д. Агапонова*  
 Корректор *А. В. Сергеева*

Подписано к набору 30/XI 1966 г.	Подписано к печати 13/IX 1967 г.	Формат 70×108 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
Печ. л. 18,75	Уч.-изд. л. 28,40	Бум. № 1
Усл. л. 26,25	Цена 2 р. 24 к.	Тираж 1809 экз.
Зак. 368/731-6	Индекс 2-4-1	

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Главполиграфпрома

Комитета по печати при Совете Министров СССР

Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый пр., 17.