А. ШУЛИ

и пектронная аппаратура в океанографии



Опектронная annapamypa в океанографии



ELECTRONIC INSTRUMENTATION FOR OCEANOGRAPHY ALLEN H. SCHOOLEY

ADVANCES IN ELECTRONICS AND ELECTRON PHYSICS, VOL. 19 EDITED BY, L. MARTON

1964 ACADEMIC PRESS. NEW YORK AND LONDON

Перевод В. М. Девицына

В книгу включен обзор литературы в области разработки и использования новых электронных приборов для океанологических исследований по американским данным. Излагаются методика измерений и принцип действия приборов по следующим разделам: измерение поверхностных и внутренних волн, температуры, течений, скорости звука в океане и интенсивности света на различных глубинах; исследование грунта под дном; определение солености и плотности морской воды и др.

Книга представляет интерес для океанологов, а также для студентоз и аспирантов этой специальности.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРЕВОДУ

С каждым годом значительно увеличивается объем материалов наблюдений над различными процессами, протекающими в водах океанов и морей земного шара, получаемых многочисленными океанографическими кораблями различных стран.

Применяемая в процессе исследования различного назначения океанографическая аппаратура (приборы, самописцы, приспособления) и их носители в настоящее время в значительной степени отстают от методов измерений, используемых в смежных научных областях.

Кроме того, работы по созданию новых, более совершенных океанографических приборов и оборудования (исключая номенклатурную стандартную аппаратуру серийного и мелкосерийного производства, рекомендуемую для широкого применения в океанографических исследованиях), хотя и ведутся в различных странах весьма широко, но сведения о них довольно редко поступают в печать.

Предлагаемый перевод работы Аллена Шули представляет собой первую попытку объединенного обзора описаний аппаратуры для океанографии разных типов и назначений, разработанной океанографами различных стран после 1957 г. и предназначенной для проведения морских исследований.

В описаниях кратко излагается значение и метод различных измерений, принцип действия, конструктивные особенности и возможность применения соответствующих измерительных приборов со ссылками на литературу, относящуюся к рассматривае-

мому вопросу.

Некоторые из рассмотренных приборов, по-видимому, смогли бы найти применение на океанографических кораблях Советского Союза. Например, представляют интерес некоторые регистраторы поверхностных волн, измерители течений и температуры воды, солемеры и регистраторы внутренних волн. Интересны также измерители скорости звука и аппаратура для сейсмоакустических исследований. Основное внимание уделено автором наиболее перспективной области развития океанографического приборостроения — электронной аппаратуре. При этом им привлечно большое

количество источников литературы океанографической, геофизической, биологической, геологической, радиотехнической и технической, из которой выбраны описания приборов, только проверенных при проведении исследовательских работ в море.

Приведенные описания представляют интерес для широкого

круга специалистов и ученых исследователей.

Весьма полезен также и прилагаемый список литературы, опубликованной по 1962 г., несмотря на то, что в нем очень мало ссылок на советскую литературу по океанографическим приборам.

К. К. Дерюгин

І. ВВЕДЕНИЕ

Термин «океанография» в общепринятом понимании имеет более широкий смысл, чем тот, который дан во многих английских толковых словарях. В обычном толковом словаре говорится, что океанография — это география океана и протекающих в ней явлений. В настоящее время большинство океанографов считает, что предметом океанографии является изучение физических, химических, геологических и биологических явлений и процессов в океане и их зависимости от атмосферных, земных и внеземных источников энергии. Вероятно, более правильным был бы термин «океанология», используемый в русских изданиях [1]. Однако он отсутствует в английских толковых словарях и, вероятно, не имеет широкого распространения.

Краткое изложение Лименом [2] многих разделов океанографии дает хорошее представление о действительном смысле этого

термина.

Большинство из наиболее распространенных и надежных приборов для океанографических измерений не принадлежит к электронным приборам. Таковы, например, батитермограф, опрокидывающийся термометр, прибор для взятия проб грунта обитателей дна, грунтовая трубка, приборы для измерения скорости и направления течения, батометры, дрейфующие поплавки, планктонная сетка [3]. Работа на море предъявляет высокие требования к простоте, надежности и механической прочности приборов, т. е. к тем свойствам, которые не присущи электронной аппаратуре. При исследованиях на море приборы подвержены в течение длительного периода времени неблагоприятному воздействию среды, обладающей, к тому же, сильным коррозирующим действием при минимальной возможности ремонта, и, часто, давлению в десятки и сотни атмосфер. Несмотря на это, из-за быстроты регистрации и анализа данных электронная аппаратура приобретает все большее значение при океанографических исследованиях. Причины этого кроются в необходимости решать трудные задачи, которые по самой своей природе требуют сложной аппаратуры. Большинство удачных электронных приборов, используемых в океанографии, было разработано в результате совместных усилий океанографов и физиков или опытных радиоинженеров. Важно, чтобы океанограф предоставил радиоинженеру возможность побывать в море, чтобы тот понял, какие параметры должны быть измерены, и оценил бы те весьма неблагоприятные условия, в которых прибору предстоит работать на море.

Характер решаемых задач и широта распространения электронных приборов для океанографических исследований до 1957 г. были подробно рассмотрены Херси [4]. Настоящая работа ограничена изучением мировой литературы в этой области за последующее пятилетие. Список просмотренных изданий был очень обширен, так как статьи по электронной аппаратуре для океанографических исследований разбросаны в океанографических, геофизических, биологических, радиотехнических и технических изданиях. Для того чтобы исключить возможность пропуска какихлибо значительных достижений в этой области, автор воспользовался содействием известных океанографов всего мира. Многие из них любезно прислали оттиски и рефераты важных работ, выполненных ими или их коллегами. Автор очень высоко оценивает их помощь.

Материал, включенный в последующие разделы, не является исчерпывающим обзором литературы по электронным приборам для океанографии. В результате тщательного анализа текущей литературы, которая в большинстве случаев легко доступна, были отобраны описания образцов приборов, работоспособность которых в условиях эксплуатации на море установлена. Мы старались по возможности избегать ссылки на отчеты лабораторий или институтов, считая их не принадлежащими открытой литературе.

Также не делалось ссылок на обширную литературу частных фирм по следующим соображениям. Перспектива того, что океанографическим исследованиям будет уделено значительно большее внимание, привела к тому, что многие частные фирмы разрабатывают и производят электронную аппаратуру для океанографических исследований. Один известный океанограф попросил автора предостеречь тех, кто намерен покупать вновь разработанную аппаратуру. Он на собственном опыте убедился в том, сколь важно проконсультироваться с океанографами, использогравшими эту аппаратуру, прежде чем покупать ее. Юлиус Рокуэлл (из Бюро коммерческого рыболовства США) в настоящее время собирает описание и спецификацию океанографических приборов, которые производят или собираются производить различные фирмы. В то время, когда писалась эта статья (май 1962 г.), его коллекция занимала стеллаж около метра. Доктор Рокуэлл в настоящее время изучает возможность такой систематизации, при которой подобный материал мог бы быть издан в виде удобной «Энциклопедии океанографических приборов» с вкладными листами, чтобы время от времени эта энциклопедия дополнялась бы новым материалом, отражающим современное состояние вопроса, и была бы доступна подписчикам. Издательство Мак-Гроу-Хилл ежегодно издает очень подробный «Справочник для покупателей электронной аппаратуры» и реферативный журнал, которые включают в себя сведения о многих приборах и электронной аппаратуре, полезной при океанографических исследованиях.

П. РЕГИСТРАТОРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Океанские волны интересовали человечество с незапамятных времен. Громадные волны моря разрушали береговые постройки, разбивали корабли. Небольшие волны вызывают помехи в гидро- и радиолокации, но одновременно, благодаря им, мы наблюдаем прекрасную игру бликов на солнечных и лунных дорожках. Таким образом, как для практических целей, так и из любознательности человек измерял и наблюдал волны океана. В течение многих лет для изучения волн применялись различные механические и оптические методы. Недавно, благодаря использованию электронной аппаратуры, произошли громадные сдвиги в этой области. В следующих параграфах будет дано краткое описание некоторых электронных приборов, отобранных после изучения обширной текущей литературы. В настоящее время удается измерять частоты волн от 0,0002 до 100 гц. Однако весь этот диапазон не может быть перекрыт с помощью какоголибо одного прибора. Интересно отметить, что область перехода между волнами, вызванными силами тяготения, и капиллярными силами лежит вблизи 13 гц.

Судовой волнограф

Необходимость в волнографе, который может быть помещен на корабле, как для исследования механизма возбуждения и распространения волн, так и для изучения поведения корабля при волнении очевидна. Такер [5] описал такой прибор, измеряющий давление в фиксированной точке корпуса корабля и вертикальное перемещение этой точки путем двойного интегрирования выходного напряжения вертикального акселерометра. Этот прибор, помещаемый целиком на корабле, эксплуатировался в течение нескольких лет, и с его помощью были получены многие тысячи записей.

Прибор монтируется посредине корпуса корабля приблизительно в трех метрах ниже ватерлинии. Давление воды воздействует на датчик через отверстие в корпусе корабля, который преобразует давление в электрический сигнал. Величина сигнала пропорциональна расстоянию между отверстием в корпусе и уровнем воды над ним. Это расстояние зависит от высоты волны

и мгновенного положения корабля относительно его положения покоя. Для того чтобы исключить эту последнюю переменную, рядом с датчиком помещен в карданном подвесе тщательно скоиструированный вертикальный акселерометр. С помощью реостатноемкостных (R, C) фильтров и других электрических цепей, которые подробно описаны в цитированной работе, осуществляется двойное интегрирование выходного напряжения датчика акселерометра. В результате на выходе акселерометра получают сигнал, определяющий мгновенную высоту датчика давления. Интегрирование произодится достаточно точно, и, таким образом, влияние вертикальных перемещений корабля может быть исключено из показаний датчика давления.

Если датчик находится на наветренном борту корабля, то вследствие отражения может регистрироваться завышенная высота воли, если на подветренной стороне, — заниженная. Чтобы исключить этот эффект, измерительные элементы помещаются на каждом борту корабля, причем регистрируется среднее арифметическое из показаний двух приборов. При работе волнографа корабль должен лежать в дрейфе, так как в противном случае

регистрировались бы искаженные периоды волн.

Приборы калибруются в лаборатории исключительно сложным методом, который описан в цитируемой работе. В результате повторной калибровки одного из приборов после года эксплуатации было обнаружено изменение на 6% в калибровке акселерометра, установленного на левом борту, на 1% в калибровке акселерометра, установленного на правом борту, и на 3% у датчика давления. Судовой волнограф рассчитан для использования на кораблях водоизмещением 2000 т и меньше. Неучет гидродинамических эффектов и неточность прибора вызывают суммарную ошибку, приблизительно равную 10% для волн с периодами в 8—20 сек.

Буйковый автономный волнограф

Судовой волнограф, описанный выше, предназначен для измерений с дрейфующего корабля. Часто при океанографических исследованиях желательно производить регистрацию волн без этого ограничения. В частности, при измерениях, имеющих целью установить статистическую зависимость между качкой движущегося корабля и волнением на море, необходимо регистрировать волны в одной, более или менее фиксированной точке значительное время, в течение которого корабль совершает маневры. В процессе этих маневров корабль может удалиться на миль от точки измерения.

Лонге-Хиггинс и другие [6] сконструировали удобный автономный буйковый волнограф. Буй изготовлен из литого алюминия, его диаметр 1,8 м, высота 0,3 м. Он содержит батареи, вертикальный акселерометр, гироскопы для измерения бортовой и килевой качки, микробарограф, электрическую схему, многоканальный самописец с фотозаписью и программный часовой механизм. Буй устанавливается против ветра с помощью небольшого плавучего якоря, прикрепляемого к бую бриделем (рис. 1). Такой способ дал удовлетворительные результаты при ветре до 7 баллов. Акселерометр, помещенный в водонепроницаемом корпусе, аналогичен акселерометру, используемому в судовом волнографе Такера [5]. Прежде чем поступить на один из гальванометров 12-канального самописца, выходное напряжение акселерометра дважды интегрируется. Два гироскопа используются для измерения боковой и килевой качки буя. Каждый из гироскопов

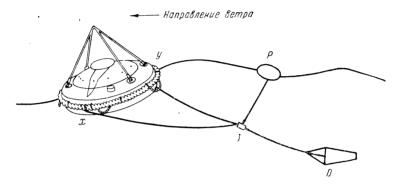


Рис. 1. Устройство для установки буя против ветра. D- плавучий якорь, P- поплавок, x, y- бридель.

снабжен маятниковой коррекцией с постоянной времени, равной приблизительно 6 мин. Для регистрации атмосферного давления непосредственно у поверхности воды под крышкой буя помещен чувствительный микробарограф конденсаторного типа вместе с соответствующей электронной аппаратурой. Микробарограф сообщается с атмосферой через 12 отверстий диаметром 1 мм. Для того чтобы морская вода не заливала эти отверстия, они подняты на 6 см над поверхностью буя. Кроме того, для испарения брызг, попавших в отверстия, установлен испаритель мощностью 5 вт.

Фаза и амплитуда сигнала микробарографа и сигнала на выходе интегрирующих цепей зависят от частоты. Эти характеристики снимались в лаборатории. Сам буй, вследствие того что его размеры конечны, вносит искажения при больших частотах волн. Калибровка вертикальных перемещений и килевой качки буя относительно высоты и крутизны волн производилась в специальном 360-метровом волновом бассейне. Такая калибровка была произведена в диапазоне частот от 0,33 до 0,73 гц.

В результате было обнаружено явление резонанса при частоте 0,63 гц как для вертикальных перемещений, так и для качки. Однако вследствие сильного демпфирования амплитудная характеристика близка к единице для частот, меньших 0,55 гц.

Главными недостатками автономного буйкового волнографа являются трудность обращения с ним из-за его больших размеров и веса, а также недостатки, присущие всем автономным системам; возможно, что всегда что-либо функционировало неверно.

Буйковый волнограф с телеметрической передачей информации

Буйковый волнограф с телеметрической передачей информации (телеметрический волнограф) имеет то преимущество перед автономным, что его работа может непрерывно контролироваться и большинство неполадок может быть обнаружено в момент их возникновения. Таким образом, вероятность недостоверности или потери информации сводится к минимуму. Подобный прибор описан Бойтеном [7] и предназначался для установления зависимости между волнением и качкой движущегося корабля. Приемная и регистрирующая аппаратура размещалась на борту корабля.

Буй представляет собой алюминиевый плот размером 1,8 × 2,7 м. Акселерометр, передатчик и батареи, помещенные в водонепроницаемых корпусах, подвешивались с помощью стальной рамы в центре плота. На корпусе передатчика устанавливалась съемная мачта высотой 4,8 м, на конце которой была укреплена передающая антенна. Для того чтобы центр тяжести был возможно ниже и для обеспечения достаточного демпфирования, на плоту установлена стальная плита весом около 90 кг. Собственная частота плота с установленным на нем оборудованием составляет около 0,5 гц, причем демпфирование близко к критическому. Гироскоп и связанная с ним аппаратура устанавливаются на стальной плите в водонепроницаемом корпусе.

Акселерометр представляет собой массу, подвешенную на пружине. Затухание системы близко к критическому, собственная частота равна 150 гц. Так как частотный спектр измеряемых ускорений лежит ниже 15 гц, используется статическая калибровка акселерометра. Ускорения, воздействующие на акселерометр, изменяют емкость динамического конденсатора, включенного в резонансный контур генератора со средней частотой 80 Мгц. Частотно-модулированный сигнал удваивается по частоте, усиливается, а затем подается на антенну.

Так как высота волны определяется двойным интегрированием показаний вертикального акселерометра, то возникает ошибка при отклонении оси акселерометра от вертикали, которая может быть вычислена, если это отклонение известно. Для измерения угла отклонения буя от горизонтали при бортовой и килевой качке используется гироскоп. Ось гироскопа удерживается в вертикальном положении с помощью корректирующих моторов с большой постоянной времени, управляемых ртутными выключателями. Потенциометры бортовой и килевой качки гироскопа модулируют частоту двух генераторов со средними частотами 1300 и 2300 гц. Индуктивность резонансной цепи генератора 80 Мгц, упоминавшегося ранее, представляет собой ферритовый модулятор, на обмотку которого подано выходное напряжение генераторов 1300 и 2300 гц. Таким образом, несущая частота модулируется акселерометром и поднесущими частотами 1300 и 2300 гц, контролируемыми гироскопом и акселерометром.

На корабле сигнал принимается широкополосным приемником частотно-модулированных сигналов. Выходное напряжение приемника состоит из сигнала, контролируемого акселерометром, и сигналов, содержащих информацию об углах бортовой и килевой качки. Три упомянутых сигнала разделяются фильтрами, и сигнал акселерометра модулирует поднесущую частоту частотой 13 500 гц. Каждая из трех поднесущих частот затем регистрируется на одном из каналов четырехканального магнитного регистратора; на четвертом канале записывается контрольный сигнал частотой 10 000 гц, служащий для получения отметок времени и для устранения детонации и плавания звука в записывающей аппаратуре при воспроизведении данных.

Преимущество магнитной записи заключается в простоте воспроизведения и обработки. Так как данные регистрируются в форме частотно-модулированного сигнала, то с помощью счетчиков и схем стробирования они могут быть легко преобразованы в цифровую форму. При желании легко получить с помощью демодуляторов данные в аналоговой форме.

Буйковый волнограф с телеметрической передачей информации разового действия

Описанные выше буйковые волнографы дорогостоящи, их довольно трудно доставить на место измерений и возвратить на корабль по окончании работ. Поэтому существует потребность в небольших легких и недорогих буйковых волнографах, которые обеспечивали бы приемлемую точность. Макс и Такерман [8] описали усовершенствованный волнограф такого типа.

Буй изготовлен из пенопласта, покрытого фиберглассовой пленкой, пропитанной эпоксидной смолой. Плот размером 1×1 м и толщиной 7,6 см имеет в центре квадратный вырез размером 0.3×0.3 м, в котором помещен деревянный водонепроницаемый ящик с аппаратурой. На крышке ящика монтируется мачта, к концу которой крепится передающая антенна.

Вертикальный акселерометр представляет собой консольный рычаг, демпфированный магнитным полем, создаваемым магни-

том громкоговорителя. Конец консольного рычага находится в непосредственной близости от резонансного контура генератора со средней частотой 69 Мгц и выполняет роль подстроечной емкости этого контура, причем ускорению, равному 1/2 силы тяжести, соответствует изменение частоты на 50 кгц. С помощью схемы, собранной на одной миниатюрной радиолампе, частота сигнала удваивается до 138 Мгц, сигнал усиливается и по коаксиальному кабелю подается на антенну. Питание схемы осуществляется одной 3-вольтовой батареей накала и шестью 45-вольтовыми батареями, которые обеспечивают анодное и экранное напряжение в течение 8 часов работы, после чего их необходимо заменить.

Приемная антенна и приемник частотно-модулированных сигналов располагаются на борту корабля, где частотно-модулированный сигнал преобразуется в постоянное напряжение, величина которого пропорциональна ускорению, воздействовавшему на акселерометр. Сигнал, принятый на корабле, содержит высокочастотную составляющую, обусловленную воздействием на плот короткопериодных волн, которые почти не сказываются на качке корабля. Поэтому на выходе приемника ставится фильтр низких частот с верхней частотой полосы пропускания 0,3 гц, который устраняет нежелательные высокочастотные составляющие сигнала и тем самым позволяет регистрировать желаемую информацию. Регистрируемые данные обычно записываются на магнитную ленту. Запись ускорений обрабатывается с целью получения волнового спектра.

Волнограф рассматриваемого типа, находясь на склоне волны, измеряет результирующее ускорение, которое является суммой ускорения силы тяжести и ускорения, вызванного движением плота. Последнее имеет горизонтальную составляющую. Таким образом, измеряемое ускорение перпендикулярно к плоскости плота. Ошибка, вызываемая этим обстоятельством, была теоретически исследована Такером [9]. Он, в частности, нашел, что при волнении в 6 баллов среднеквадратичная ошибка измеряемой высоты волны составляет приблизительно 4%.

Результаты измерений, получаемые с помощью буйковых волнографов, содержат ошибку, вызываемую дрейфом буя. Но обычно дрейф бывает достаточно медленным, и эта ошибка пренебрежимо мала. Было произведено сравнение спектров, определенных по данным волнографа рассматриваемого типа и судового волнографа, описанного выше, причем измерения производились одновременно в одном и том же месте. Результаты этого единственного сравнения оказались благоприятными.

Волнограф рассматриваемого типа имеет следующие дефекты: уход частоты передатчика, из-за чего приходится периодически подстраивать приемник, и различные механические неполадки. Зингер с сотрудниками, использовавший волнограф

этого типа, усовершенствовал передатчик, в результате чего была значительно улучшена его стабильность, и устранил несколько дефектов в механической схеме прибора.

Телеметрический проволочный волнограф

Судовые и буйковые волнографы, а также волнографы, основанные на измерении волнового давления, предназначены для измерения характеристик относительно длинных низкочастотных волн. В действительности это ограничение является преимуществом в целом ряде исследований. Как было указано ранее, волны малой длины ничего не дают для изучения поведения корабля в море. При изучении приходящей издалека мертвой зыби также очень желательно исключить или отфильтровать высокочастотные составляющие, соответствующие этим волнам, возникающим под влиянием местных факторов. Волны малой длины при подобных исследованиях создают шумы, которые, будучи оставлены на записи, маскируют низкочастотные составляющие, являющиеся предметом исследования.

С другой стороны, имеется ряд важных явлений, которые в основном обусловлены волнами малой длины, а именно, ветровыми волнами, вызванными местными ветрами. К таким явлениям принадлежат отражение и рассеяние света, ультракоротких радиоволн и звуковых волн на границе раздела вода — воздух. Для измерения волн малой длины были разработаны два типа электронных волнографов: проволочно-реостатный и проволочно-емкостный. Фамер и Кетчам [10] недавно опубликовали описание сложного телеметрического волнографа проволочнореостатного типа. Этот прибор широко использовался при измерениях, проводимых со стальной башни, установленной на глубине 13 м в заливе Баззардс, в двух милях от лаборатории Вудс-Холл в штате Массачусетс. Проволоки из нержавеющей стали диаметром 0,38 мм подвешивались группами: каждая группа состояла из трех проволок, расположенных друг от друга на расстоянии 15 см так, что угол между вертикальными плоскостями, проходящими через среднюю и соседние проволоки, составлял 90°. Проволоки, длина каждой из которых равнялась приблизительно 9 м, подсоединялись к внутренней жиле недорогого коаксиального кабеля, который крепился к консолям башни. Направляющие грузы весом 1,3 кг каждый, подвешенные к концам проволоки, находящимся в воде, удерживали ее в заданном положении. При глубине погружения направляющих около 6 м они не подвергались действию сколько-нибудь интенсивных перемещений воды, вызванных волнением. Не было также отмечено никаких перемещений проволоки из-за волнения или ветра (рис. 2).

Успешное применение такого прибора для регистрации волн

требует тщательного расчета измерительной цепи и знания электрических параметров системы вода—проволока. Тщательный анализ этих вопросов приведен в цитированной работе. В результате этого анализа установлена необходимость соблюдения следующих требований: использование тока частотой в 4000 гц, равенство силы тока в каждой проволоке, «заземление» схемы на башню.

Падение напряжения на части проволоки, находящейся над водой, обратно пропорционально мгновенной высоте волны при условии совпадения параметров схемы с расчетными.

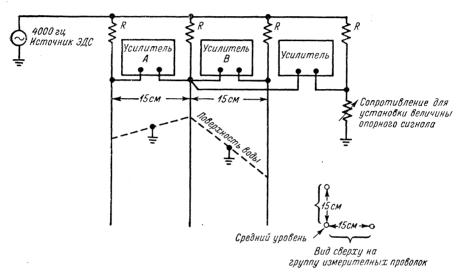


Рис. 2. Блок-схема измерительной цепи волнографа на проволочных сопротивлениях.

Для получения выходного сигнала, пропорционального высоте волны, падение напряжения на средней проволоке группы усиливалось транзисторным дифференциальным усилителем и выпрямлялось фазочувствительным детектором. Применение дифференциального усилителя в схеме позволяет вычитать из напряжения, снимаемого со средней проволоки, опорный сигнал, приблизительно соответствующий среднему уровню воды. Опорное напряжение снимается с регулируемого сопротивления, включаемого параллельно проволокам; таким образом, нужная настройка может быть достигнута независимо от высоты прилива. Поэтому сигнал на выходе дифференциального усилителя обусловлен в основном входным сигналом, развиваемым волной.

Чувствительность усилителя регулируется таким образом, чтобы амплитуда изменения напряжения на выходе усилителя для

волн с предполагаемой максимальной высотой не превышала $\pm 5~\mathrm{B}$.

Для измерения разности напряжения между средней проволокой и двумя проволоками группы, упоминавшимися ранее и расположенными на расстоянии 15 см от средней в двух взаимноперпендикулярных плоскостях, используются два дифференциальных усилителя и фазочувствительных детектора. Выходное напряжение этих цепей пропорционально разности высоты волны между двумя проволоками. Таким образом, при надлежащей калибровке может быть измерен мгновенный угол наклона волны в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Точность измерения высоты уровня воды отвечает стандартному отклонению от среднего уровня, равному приблизительно 5 мм, что при выбранном расстоянии между проволоками обеспечивает измерение угла наклона с ошибкой, равной приблизительно 2°. В процессе исследований, проведенных авторами, было установлено, что данная аппаратура обеспечивает уверенную регистрацию волн в диапазоне частот от 0 до 10 гц. Следует отметить, что это широкий диапазон при подобных измерениях. Измерение угла наклона точно, очевидно, лишь для волн, длина которых много больше 15 см.

Авторы указывают, что 4м — 4 м телеметрическая аппаратура стала доступной лишь благодаря широкому использованию подобных систем в ракетных устройствах. Тем не менее авторами приведено весьма полезное описание телеметрической системы, использованной для передачи данных в лабораторию. В заключение приводится некоторая информация, касающаяся методов, использованных при регистрации и обработке данных.

Емкостный датчик для регистрации волн

Уиттенбери и другие [11] описали электронный прибор для измерения высоты небольших ветровых волн. Изменение высоты волны изменяет емкость датчика, линейно зависящую от высоты волны, которая задает частоту повторений расположенного рядом блокинг-генератора. Сигнал, вырабатываемый блокинг-генератором, может быть передан на значительное расстояние. В месте приема специальная аппаратура преобразует частоту повторений в напряжение, пропорциональное высоте волны, которое может или регистрироваться на стандартных самописцах, или подаваться на аппаратуру, обрабатывающую данные измерений.

Датчик должен находиться на неподвижной опоре и не рассчитан на проведение измерений с корабля. Описываемый датчик представляет собой стальной стержень диаметром 1,6 мм и длиной 16 см, покрытый полистиролом, с емкостью, равной приблизительно 40 мкмкф на сантиметр длины. Стержень, покрытый диэлектриком и погруженный в воду, представляет собой пере-

менный конденсатор, обкладками которого являются стержень и вода, а емкость прямо пропорциональна длине погруженной части стержня. Поэтому точная и непрерывная регистрация величины этой емкости позволяет регистрировать какой угодно сложный профиль волны, проходящей через стержень. Неоднородность диэлектрического покрытия стержня и случайные колебания мениска на границе раздела зонд-вода являются главными причинами возникновения ошибок. Динамическая характеристика (отношение измеряемого смещения к действительному) является плоской в пределах точности 6% для частот от 0 до 28 гц. Лабораторное оборудование не допускает измерения для частот свыше 28 гц. Максимальная чувствительность, использовавшаяся при измерениях, равнялась 8 в на 1 см смещения уровня воды. Среднеквадратическое значение уровня шумов при этой чувствительности, как сообщается, эквивалентно смещению 0,032 мм. Широкий динамический диапазон электронной аппаратуры позволяет производить измерения ряби с одной и той же точностью независимо от степени волнения на море. Вся электронная аппаратура собрана на девяти радиолампах, не считая ламп, используемых в схемах питания.

Телеметрический поплавковый волнограф с емкостным датчиком

Реостатный волнограф и волнограф с емкостным датчиком, описанные выше, рассчитаны на измерение высокочастотных волн относительно малой длины. Каждый из упомянутых приборов устанавливается на неподвижной опоре. Однако в некоторых случаях желательно производить измерения волн малой длины в открытом океане, где никакая неподвижная опора не может быть установлена. Блоком был сконструирован телеметрический поплавковый волнограф с емкостным датчиком [12], позволяющий производить измерения в зоне перехода от капиллярных к гравитационным волнам (рис. 3).

В качестве несущего элемента буя использована труба длиной 4,8 м. Для регулировки глубины погружения на нижнем конце предусмотрено приспособление для подвеса балластных грузов. Положительную плавучесть бую обеспечивает 40-литровый баллон из пластика, заполненный пенопластом и укрепленный на расстоянии 1,8 м от нижнего конца трубы на одной оси с последней. К верхнему концу трубы прикреплена перекладина длиной около 107 см, на которой смонтировано миниатюризованное электронное оборудование и батареи. Между концами перекладины и опорой баллона натянуты с одной стороны электрический провод, с другой — эластичный корд, длина каждого из которых равна 3 м. Провод имеет емкость 5 мкмкф на каждый сантиметр длины проволоки, находящейся в воде.

Вес балластных грузов подбирается таким образом, чтобы

верхний конец трубы длиной около 1,2 м находился над средним уровнем воды. С помощью стабилизатора, прикрепленного к перекладине, под действием ветра буй устанавливается так, что измерительная проволока находится на наветренной стороне буя. Измерительная проволока входит в резонансный контур генератора со средней частотой 2 Мгц, укрепленного на перекладине.

Частота генератора меняется с изменением длины части проволоки, погруженной в воду, пропорционально мгновенной высоте волны. Частотно-модулированный сигнал умножается и усиливается и затем подается на четвертьволновую антенну, укрепленную вертикально в середине стержня.

Волнограф может быть спущен на воду с корабля или вертолета. В существующем виде прибор не может быть использован для измерений при сильном волнении. Явление резонанса для вертикальных колебаний имеет место при длине волн, приблизительно равной 150 м. Для длин волн, равных 7,5 м и менее, не требуется вводить никаких поправок за резонанс. Ошибки, вызываемые качкой, еще требуют исследования. мальная длина волны, при которой еще возможны измерения, определяется в основном диаметром измерительной проволоки и оценивается в 1—2 см.

Частотно-модулированный сигнал принимается на корабле приемником частотно-модулированных сигналов. Выходное напряжение записывается на магнитную ленту, которая затем используется для получения спектрального распределения плотности энергии при данном волнении на море. Это осуществляется с помощью электронной аппаратуры для гармонического анализа, для чего требуется обычно увеличить скорость считывания по меньшей мере в четыре раза по сравнению со скоростью записи, для того чтобы частотные компоненты записи попали в ту полосу, где данная аппаратура может работать.

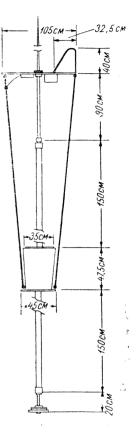


Рис. 3. Размеры емкостного датчика телеметрического волнографа.

Береговой волнограф с датчиком давления

Описанные типы волнографов не приспособлены для регистрации длиннопериодных волн малой амплитуды, вызываемых отдаленными штормами или краевыми волнами, распространяю-

щимися вдоль континентального шельфа и быстро затухающими по амплитуде с удалением от берега. Снодграсс и другие [13] сконструировали прибор, позволяющий регистрировать колебания давления с амплитудой в 1 мм водяного столба при глубине погружения датчика порядка нескольких сотен метров в области частот от 0,0002 до 0,1 гц. В качестве датчика давления используется вибротрон, в котором частота колебания натянутой проволоки зависит от давления. На берегу или корабле определяют частоту колебаний проволоки датчика и производят регистрацию в форме, удобной для проведения в дальнейшем фильтрации и спектрального анализа.

Вибротрон имеется в продаже. Он состоит из вольфрамовой проволоки диаметром 0,025 мм и длиной около 6 см, натянутой на жесткой раме, и небольшой диафрагмы, на которую воздействует давление окружающей среды. Рамка с закрепленной на ней проволокой заключена в вакуумированный цилиндр длиной 9 см и диаметром 2 см, на одном из торцов которого находится диафрагма, к другому подведены провода электрической схемы. Проволока находится под натяжением в 15 000—20 000 бар. Увеличение внешнего давления, отклоняя мембрану внутрь цилиндра, уменьшает натяжение проволоки, а тем самым и частоту собственных колебаний.

Проволока колеблется в магнитном поле постоянного магнита. Измерительная проволока и вторая проволока, находящаяся в спокойном состоянии, включены в электрическую схему моста, сбалансированного по постоянному току. Выходное напряжение мостовой схемы, равное напряжению, индуцируемому в вибрирующей проволоке, усиливается и подается на мост так, чтобы поддерживалось колебание проволоки. Другой функцией, выполняемой усилителем помимо обратной связи, является получение мощности на выходе, достаточной для работы самописца или анализатора, соединенных с прибором посредством кабеля.

Вся система в целом должна обладать хорошей частотной стабильностью. Необходимым условием этого является постоянство амплитуды колебаний проволоки. Эффективным средством получения постоянной амплитуды колебаний является перегрузка последнего каскада усилителя. Возникающие при этом искажения формы сигнала не опасны, так как регистрируемые данные зависят только от частоты перемены знака выходного напряжения.

Зависимость частоты выходного напряжения вибротрона от изменения давления и глубины погружения определяется калибровкой. Частота при изменении этих факторов может изменяться от 17 500 до 10 000 гц. Чувствительность к изменению давления колеблется от 0,4 до 0,6 гц на 1 см водяного столба. Держатель измерительной проволоки рассчитывается таким образом, чтобы свести к минимуму изменение натяжения нити при изменения

температуры. Однако, несмотря на принятые меры, температурный коэффициент приблизительно равен давлению 19-сантиметрового столба воды на один градус Цельсия. Температура придонной воды на глубине в несколько сотен метров может меняться скачками на несколько десятых градуса. Для того чтобы амплитуда температурного шума не превышала чувствительности прибора, необходимо, чтобы флуктуации температуры вибротрона были меньше $^{1}/_{100}$ амплитуды флуктуаций температуры воды. Желаемого результата можно достигнуть, помещая измерительный элемент в деревянный ящик, наполненный песком, или закапывая чувствительный элемент в грунт на дне.

Цифровая регистрация данных осуществляется путем подсчета числа циклов выходного напряжения вибротрона за единицу времени и периодической печати результатов подсчета. Для достижения точности регистрации, эквивалентной давлению 1 мм столба воды, необходимо с помощью электронных устройств увеличивать частоту выходного напряжения вибротрона в 5—10 раз и производить подсчет числа циклов за промежуток времени, равный 3 сек. Отпечаток производится каждую четвертую секунду. Обработка данных осуществляется с помощью электронных цифровых машин.

Термоэлектрический волнограф

Кононкова [14] описала принципиально новый прибор для измерения периодов и высоты волн путем измерения волнового давления на некоторой глубине. Автор указывает, что термоэлектрический волнограф является простейшим и наиболее удобным прибором для регистрации волнового давления. Преобразователь, используемый в приборе, представляет собой полый цилиндр длиной около 8 см и диаметром 12 см. Вся конструкция, за исключением резиновой мембраны на одном из его концов, является жесткой. На другом конце цилиндра щается термоэлемент, состоящий из 100 хромельаллюмелевых термопар. Верхние контакты термоэлемента находятся в термическом контакте с воздухом, находящимся в полости, нижние прикреплены парафином ко дну цилиндра. Внутренние стенки цилиндра также термоизолированы парафином. Температура нижних контактов термопар практически постоянна, вследствие того что они находятся в непосредственной близости с водой, в которую погружается все устройство. На верхние контакты термопар воздействует меняющаяся температура воздуха, находящегося в герметически закрытой полости. Изменение температуры воздуха, находящегося в теплоизолированном замкнутом объеме, при изменении давления, вызываемого проходящей волной, можно считать в первом приближении пропорциональным изменению давления. Термоэлемент преобразует колебания температуры в электрические колебания, которые передаются по кабелю на электронную регистрирующую аппаратуру, находящуюся на корабле или берегу.

Анализ волнограмм

При описании избранных образцов волнографов не освещалась подробно техника анализа данных, регистрируемых этими приборами. В общем производимый анализ волнограмм можно отнести к одной из следующих трех категорий:

- 1. При обычных измерениях требуется регистрировать только высоту и длину волны, которые затем и подвергаются статистической обработке.
- 2. Для иследовательских целей и для вывода расчетных формул может потребоваться определение энергетического спектра волнения в точке.
- 3. Для других исследовательских целей, таких как измерение направленного спектра, и для изучения качки корабля требуется определить взаимный энергетический спектр записей волнения.

Имеется много путей получения упомянутых выше функций и поэтому не имеет смысла описывать специальную аппаратуру, используемую в каждом конкретном случае. Предполагается, что читатель сможет самостоятельно найти интересующие его подробности, касающиеся анализа регистрируемых данных, в работах, цитированных выше. Дополнительно можно рекомендовать следующие работы. Снодграсс и Путц [15] изобрели прибор для автоматического анализа выходного напряжения волномера, осуществляемого в процессе записи. Такер [16] описал технику измерений и анализа данных, разработанную в Национальном институте океанографии Великобритании. Накано [17] коротко охарактеризовал численные методы, используемые для обработки данных в Японии. Колдуэлл и Уильямс [18] привели подробное описание оригинального аналогового анализатора спектра волнения. Блекмен и Туки [19] опубликовали прекрасное математическое исследование, касающееся использования спектров энергии при измерениях волновых явлений.

III. РЕГИСТРАТОРЫ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

Температурный градиент в океанах часто таков, что более низкие слои являются и более плотными, чем верхние. Это, казалось бы, должно было привести к состоянию равновесия. Однако измерения, проводимые с помощью электронных приборов, показывают, что термические слои являются «внутренними волнами», которые ведут себя таким же беспорядочным

образом, как и поверхностные волны. Далее рассматриваются два электронных прибора для измерения флуктуаций поля температур в океане.

Прибор для вычерчивания карт изотерм

Батитермограф был в течение многих лет стандартным прибором для изучения термической структуры верхних слоев океана. Для некоторых целей данные, получаемые батитермографом даже при наибольшей возможной скорости измерения, оказываются недостаточными. Изучение звукопроводимости, внутренних волн и термической микроструктуры являются примерами явлений, где требуется большая скорость измерений. Для этих целей Ричардсон и Хаббард [20] создали тщательноразработанный сложный прибор, который воспринимает данные множества датчиков температуры, расположенных на специальной цепи, буксируемой позади корабля, и осуществляет непрерывную запись вертикального распределения изотерм во времени. Изотермы с интервалом в 0,05, 0,1, 1,0° могут вычерчиваться в области температур от —2 до 32°.

Специальный подъемник с дизель-гидравлическим приводом несет цепь длиной 180 м, состоящую из звеньев с длиной, приблизительно равной 28 см, имеющих сечение более или менее обтекаемой формы. На конце цепи подвешивается гидродинамический заглубитель весом 1500 кг. При измерениях на глубинах до 120 м нормальная скорость буксировки равна 18,5 км/час (рис. 4).

В качестве датчиков температуры используются термисторы, обладающие одинаковыми характеристиками, которые располагаются на расстоянии 7,5 м друг от друга на цепи. Для измерения глубины погружения на конце цепи помещается стандартный потенциометр давления типа Бурдона. Провода, соединяющие термисторы и потенциометр давления с аппаратурой на корабле, собраны в косу.

Напряжение на термисторы подается от общего источника питания, находящегося на корабле, через индивидуальные выравнивающие и линеаризующие цепочки. Выходное напряжение, снимаемое с термисторов с помощью соответствующих схем, равно приблизительно 3 в при температуре —2° и около 1,6 в при температуре, равной 35°. Это выходное напряжение подается на высокоомный интерполирующий и развертывающий потенциометр, который имеет отводы для выходных цепей термисторов, расположенные на равном расстоянии друг от друга. Термисторы подключены к отводам потенциометра в том же порядке, в котором они расположены на цепи. При вращении ползунка потенциометра напряжение на ползунке пропорционально температуре на глубине, соответствующей углу поворота. Напряжение в некоторой точке между двумя отводами пропор-

ционально разности напряжений между этими отводами и расстоянию от одного из отводов.

Вращение оси ползунка потенциометра синхронизировано с движением пера самописца в направлении, перпендикулярном движению чувствительной к току бумаги. Таким образом, каждой линейной развертке соответствует распределение температур вдоль термисторной цепи и пропорциональное температуре напряжение, снимаемое с потенциометра. С помощью довольно сложного механического и электронного устройств на линей-

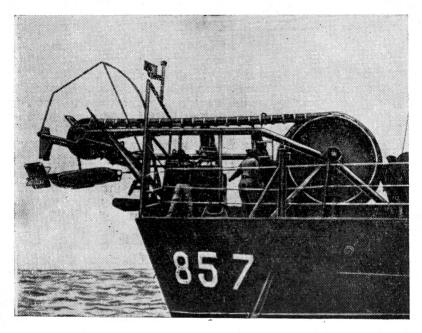


Рис. 4. Спуск цепи датчиков прибора для вычерчивания карт изотерм.

ной развертке отмечаются глубины точек, имеющих заданные температуры в заданном температурном интервале. Скорость протяжки бумаги самописца постоянна, что позволяет при неизменной скорости буксировки определить для каждой абсциссы расстояние по профилю. В результате измерений получают карту изотерм в заданном интервале температур, причем по горизонтали отложено время или расстояние, по вертикали — глубины.

Этим прибором произведены непрерывные измерения термической структуры по профилям общей протяженностью в тысячи километров в Атлантическом и Тихом океанах и в Средиземном море.

Прибор для прослеживания изотерм

Лафонд [21] описал прибор, позволяющий находить заданную изотерму в море и регистрировать изменение глубины изотермы с течением времени. Этот прибор использовался для наблюдения амплитуды и изменения во времени внутренних волн над континентальным шельфом на юго-западном побережье Соединенных Штатов. Для этой цели на консолях океанографической башни в вершинах треугольной сети подвешивалось три прибора. Направление распространения внутренней

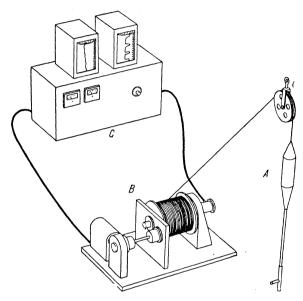


Рис. 5. Прибор для слежения за изотермой. A — чувствительный элемент, B — лебедка с электрическим приводом, C — следящая схема сервомотора и самописцы.

волны определялось по времени прихода волны в трех точках. Подвеска прибора может производиться также и с корабля (рис. 5).

Прибор состоит из трех частей: чувствительного элемента, погружаемого в воду; лебедки с электрическим приводом с намотанным на ней электрическим многожильным кабелем, на котором подвешивается чувствительный элемент; электронной аппаратуры, в которую входит следящая схема сервомотора, и самописца, который регистрирует глубину погружения и температуру датчика.

Датчик температуры (бусинка термистора, электрическое

сопротивление который изменяется с изменением температуры) подключен посредством кабеля к одному из плеч моста Уитстона, входящего в электронную схему прибора. Одно из плеч моста имеет переменное сопротивление, величина которого может быть установлена так, чтобы мост был сбалансирован при любой желаемой температуре в интервале между 10 и 21°. Переменное сопротивление имеет калибровку в градусах. Если датчик прибора находится при температуре, отличной от заданной, то на выходе моста появится напряжение, величина и знак которого определяются величиной и знаком упомянутой разности температур. Усиленное напряжение разбаланса подается вход усилителя сервосистемы, выходное напряжение которого приводит в движение электромотор лебедки; при этом датчик перемещается до тех пор, пока не будет достигнут баланс мостовой схемы. Таким образом, датчик автоматически следует за слоем данной температуры при изменении глубины последнего.

В датчике прибора помещается второй термоэлемент, соединенный кабелем с самописцем электронного блока, служащий для регистрации температуры прослеживаемого слоя. Чувствительный элемент прибора содержит также калиброванный датчик давления, что позволяет регистрировать на втором самописце электронного блока глубину погружения.

Данный прибор позволяет регистрировать глубину слоя, фиксированной температуры на глубинах до 60 м, температура прослеживаемой изотермы определяется с ошибкой $\pm 1^\circ$. Точность работы сервосистемы характеризуется следующими данными. Датчик прибора колеблется около нужной глубины с амплитудой 10 см и частотой 1,1 гц. Считается, что это не является серьезным недостатком.

IV. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Океанографов давно интересует температура океанской воды и океанского дна. Обзор Херси [22], касающийся температурных измерений в океанографии, выполненный пять лет назад, в основном отражает современное положение вещей в этой области. Херси предсказал, что в большинстве электронных приборов для измерения температуры в качестве датчиков будут использоваться, в силу своей высокой чувствительности, термисторы. Его предсказание сбылось. Прибор для вычерчивания карты изотерм, а также прибор для слежения за глубиной изотермы, описанные выше, являются новыми применениями термисторных датчиков. Ниже в качестве дополнения к обзору Херси приводится описание трех приборов (три дополнительные ссылки).

Скважинный термометр

Доиг и другие [23] сконструировали скважинный термометр в качестве датчика температуры, в котором используется генератор с частотой колебаний, зависящей от температуры окружающей среды. Датчик, помещаемый в скважину, соединен с наземной регистрирующей аппаратурой кабелем. Следует отметить, что точность измерения температуры, равная приблизительно 0,05°, совершенно не зависит от типа и кондиции кабеля. Этот прибор дает хорошие результаты при измерении температур в скважинах с глубиной значительно большей 600 м.

Считают, что прибор подобного типа может быть легко приспособлен для океанографических измерений.

В герметическом снаряде, опускаемом в скважину, длиной 40 см и с внешним диаметром 3,2 см помещается транзисторный генератор, буферный усилитель и источники питания. Выходное напряжение, частота которого зависит от температуры окружающей среды, подается через кабель к наземной регистрирующей аппаратуре. В приборе используется генератор со сдвигом фазы. Часть сигнала, снимаемого с коллектора, через фазосдвигающую реостатно-емкостную цепочку обратной связи подается на базу транзистора. Емкость в цепочке, обратной связи постоянная, а в качестве сопротивлений используются термисторы. С изменением температуры сопротивление термисторов изменяется, вследствие чего изменяется и частота генератора. Последняя зависит также и от сопротивления цепи, подключенной к выходу. Для исключения этого нежелательного обстоятельства на выходе генератора ставится буферный усилитель, собранный по схеме с общим коллектором, обладающий высоким входным и малым выходным сопротивлениями. Для сведения к минимуму ухода частоты вследствие изменения напряжения источников питания в качестве последних используются ртутные батареи, кроме того, рекомендуется включать прибор за несколько часов до начала измерений.

В описываемом приборе частоте 1000 гц соответствует температура окружающей среды 18°. С ростом температуры на один градус частота увеличивается на 3%. Диапазон измерений от —10 до 40°. Изменение показаний прибора при постоянной температуре окружающей среды из-за дрейфа частоты генератора не превышает 0,05° за несколько часов работы. Время, необходимое для того, чтобы датчик прибора приобрел температуру окружающей среды, составляет около 3—4 минут. Полагают, что, улучшив конструкцию снаряда, можно значительно сократить время, нужное для производства одного измерения. В качестве кабеля использовался облегченный армейский телефонный провод.

25

Измерение термической микроструктуры

В большинстве случаев для измерения термической микроструктуры используются чувствительные, специальным образом сконструированные датчики, буксируемые кораблем или подводной лодкой. Юрик и другие [24] использовали метод, который позволяет проводить микротермические измерения с медленно дрейфующего или неподвижного корабля с помощью датчиков, укрепленных на специальном стержне. На стержне длиной в 3,6 м были укреплены на различном расстоянии друг от друга 9 термисторов. Разность температур между каждыми двумя соседними термисторами измерялась с помощью мостовой схемы и чувствительного усилителя постоянного тока. Использованный способ регистрации обеспечивал возможность получения корреляционной функции, описывающей распределение температурных изменений, простым методом. В водах Ки-Вест, Флорида, были проведены подобные измерения одновременно с изучением звукопроводимости. Было найдено, что пространственные и термические характеристики микроструктуры, находятся в грубом соответствии с теорией турбулентности Колмогорова. Знание этих параметров позволило произвести оценку звукопроводимости, которая в общем согласуется с результатами наблюдений.

Зонд для измерения температуры глубоководных отложений

Для изучения происхождения и строения Земли большое значение имеет изучение ее теплоотдачи. Подобные измерения лучше всего производить там, где пренебрежимо малы сезонные и другие короткопериодные колебания и где сам процесс измерения (введение зонда) вызывает минимальные возмущения. Этим требованиям наилучшим образом удовлетворяют измерения, проводимые в мягких отложениях дна океана. Жерар [25] разработал термограф, состоящий из трех частей: блока чувствительных элементов, самописца и устройства, с помощью которого блок чувствительных элементов вводится в отложения океанского дна. Он состоит из термисторов, помещенных в стальные цилиндры диаметром 3,2 мм, выступающие на 7,5 см из поршневой грунтовой трубки, к которой они жестко крепятся стальными ребрами. Провода соединяют термисторы с самописцем, заключенным в герметичном корпусе и укрепленном на верхнем конце грунтовой трубки. Приводимый в движение мотором селекторный переключатель, помещаемый в корпусе самописца, соединяет последовательно три термистора, установленные на грунтовой трубке, и три стандартных сопротивления в цепь моста Уитстона, выходное напряжение которого

подается на геофизический гальванометр с записью на фотопленку.

Термисторы, используемые в зонде, подбираются так, чтобы они имели почти идентичные характеристики, прошли процесс а ожидаемое среднегодовое изменение было не более 0,015°. Термограф рассчитан на работу при гидростатическом давлении до 700 кг/см2. Испытания показали, что термисторы, помещенные в стеклянные цилиндры и подверженные высскому давлению, дают совершенно случайные показания. Поэтому стеклянные цилиндры с термисторами помещены в стальные цилиндры, способные выдержать высокое давление. Тепловое равновесие достигается за время, приблизительно равное одной минуте. Питание моста осуществляется от одной ртутной батарейки напряжением 1,35 в, которая обеспечивает исключительно стабильное напряжение питания в условиях работы прибора и достаточна для работы в течение нескольких сотен часов. Максимальная глубина проникновения в отложения океанского дна составляла 13,7 м.

V. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ

Веха с пассивным радиолокационным отражателем

Никитин [26] описал метод расчета и конструктивные данные вехи с отражателем электромагнитных волн, особенно удобной для изучения поверхностных береговых течений. Для слежения за вехой используются навигационные радиолокаторы или радиолокаторы обнаружения, работающие в сантиметровом или дециметровом диапазонах. Основные требования, которым должна удовлетворять конструкция подобных устройств, заключаются в следующем.

Веха должна иметь эффективный отражатель электромагнитных волн, находящийся достаточно высоко над уровнем воды для обеспечения возможности надежного выделения отраженного сигнала на фоне помех, вызываемых волнением.

Подводная часть вехи должна быть рассчитана таким образом, чтобы на ее дрейф не оказывал значительного влияния ветер.

Никитин получил следующую формулу для коэффициента дрейфа:

$$a = \sqrt{(C_{x_1})(S_1)(\rho_1)/(C_{x_2})(S_2)(\rho_2)}$$
,

где a — коэффициент дрейфа вехи; (C_{x_1}) — коэффициент силы лобового сопротивления надводной части вехи; (S_1) — площадь надводной части вехи; (ρ_1) — массовая плотность воздуха; (C_{x_2}) — коэффициенты силы лобового сопротивления подвод-

ной части вехи; (S_2) — площадь подводной части вехи; (ρ_2) — массовая плотность воды.

При коэффициенте дрейфа, меньшим 0,01, не нужно вводить в результаты измерений никакой поправки при любой силе ветра. Если коэффициент дрейфа заключен в интервале 0,01—0,03, влияние ветра на дрейф вехи может быть учтено введением соответствующих поправок. При коэффициенте дрейфа, большем 0,03, рекомендуется производить измерения лишь при слабом ветре.

Прибор, описываемый в цитируемой работе, имеет коэффициент дрейфа, меньший 0,01. Он имеет уголковый отражатель [27], состоящий из трех взаимно перпендикулярных решетчатых пластин с общей площадью около 1 кв. м, укрепленных на верхнем штоке вехи. Уголковый отражатель поднят над поверхностью воды на высоту около 3,5 м. Плавучесть прибору придает поплавок обтекаемой формы, располагающийся вблизи поверхности воды. Для достижения достаточного лобового сопротивления подводной части к нижней части вехи прикреплены две взаимно-перпендикулярные пластины, осредняющие скорости в верхнем 4-метровом слое воды. Пластины имеют ширину 1 м и длину 2 м. К нижнему концу вехи прикреплен груз, удерживающий ее в вертикальном положении.

Робсон и Кокс [28] обсудили возможность использования менее сложного устройства с отражателем электромагнитных волн для изучения океанских течений. В работе приводится подробное описание (спецификация) радиолокационной станции автоматического слежения, работающей на 10-сантиметровых волнах. Два уголковых решетчатых отражателя (размер каждого 46 × 46 см, расстояние между проволоками сетки 1,6 см) устанавливались на высоте 3,8 м над цилиндрическим 18-литровым поплавком. На расстоянии 2 м от дна поплавка подвешивался направляющий груз весом 16 кг, к поплавку прикреплялся парусиновый якорь.

Дрейфующий радиобуй

Бампас и другие [29] сконструировали буй с импульсным повторителем для исследования поверхностных течений, интересующих ихтиологов. Буй представляет собой алюминиевый цилиндр длиной 6 м и диаметром 15 см, в котором помещены передатчик, приемник и батареи питания, кроме того, к бую прикрепляется направляющий груз. На плаву над водой возвышается часть цилиндра высотой 0,6 м, к верхнему концу которого крепится 4-метровая гибкая штыревая антенна. Общий вес всего устройства 100 кг. Для облегчения визуального наблюдения буя с самолета к нему привязывается фанерный диск диаметром 1,2 м, окрашенный в оранжевый цвет, с нарисованным на нем опознавательным номером.

Прием короткого (продолжительностью 1—2 сек.) тональномодулированного сигнала с несущей частотой 2988 кгц вызывает длительные, продолжительностью 15 сек., незатухающие колебания генератора на той же несущей частоте. Этот сигнал используется для определения направления на веху радиопеленгатором, установленным на борту самолета или корабля. В результате нескольких таких определений корабль или самолет может приблизиться к бую настолько, что окажется возможным его визуальное наблюдение, после чего определяются его координаты с помощью системы дальней навигации (система Лоран) либо с помощью метода засечек. Батареи питания обеспечивают работу аппаратуры в течение двух с половиной недель при условии, если местоположение буя определяется 1 раз в день. Расчетным путем установлено, что скорость буя при отсутствии течения равна приблизительно 1/16 скорости ветра (в основу расчета положено соотношение площадей подводной и надводной частей вехи).

Телеметрический измеритель течений

Снодграсс [30] приводит подробное описание прибора с телеметрической передачей информации, измеряющего скорость подводного течения в диапазоне значений $v_0 - 10^4 v_0$ и передающего, кроме того, на корабль данные о глубине и направлении течения. Показания прибора записываются обычным самописцем и магнитным регистратором.

Датчиком скорости подводного течения является специально рассчитанный s-образный ротор из пластика, обладающий нейтральной плавучестью, что уменьшает трение в подшипниках и позволяет повысить чувствительность. По периферии пластикового ротора диаметром 15 см расположены 24 тонких бронзовых диска. Ротор вращается со скоростью 7,3 оборота/сек. при скорости течения 10 км/час. Катушка резонансного контура генератора располагается так, что при вращении ротора бронзовые диски проходят в непосредственной близости от нее. Токи Фуко, индуцируемые в дисках, блокируют транзисторный генератор, работающий на частоте 100 гц, причем частота блокирования пропорциональна скорости вращения ротора. Блокирование генератора используется для запуска другого транзисторного генератора на частоте 5,5 гц, подсоединенного к двухжильному кабелю, по которому осуществляется передача информации на корабль, где производится ее демодуляция и регистрация. Прибор может измерять скорости в диапазоне от 300 до 0,3 см/сек.

Часть прибора, погружаемая в воду и содержащая ротор и связанное с ним электронное оборудование, заключается в корпус, снабженный направляющими ребрами, с помощью

которых корпус ориентируется по направлению течения. В корпусе, кроме того, помещается модифицированный морской компас с фотоэлектрическим устройством, позволяющим определять положение корпуса прибора относительно картушки компаса и передавать эту информацию на корабль в виде частотномодулированного сигнала, где последний демодулируется и регистрируется. Для передачи частотно-модулированного сигнала используется тот же двухжильный кабель.

В качестве датчика глубины используется вибротрон. Частотно-модулированный сигнал, содержащий нужную информацию, передается на корабль по тому же кабелю. Кабель намотан на лебедку, снабженную коллектором. Корпус подводной части прибора соединен с кабелем с помощью специального шарнирного устройства, допускающего его ориентацию в любом азимуте без закручивания кабеля.

Радиоактивный измеритель течений

Авербах [31] описал новый метод определения величины и направления поверхностных течений, идея которого заключается в следующем. В воду в центре окружности, образованной счетчиками ядерных излучений, вводится небольшое количество радиоактивного порошка. Направление течения определяют по тому, какой из счетчиков устройства зарегистрирует излучение; скорость определяется по времени, необходимому для переноса радиоактивного порошка от центра круга к одному из счетчиков.

В приборе используются галогенные счетчики. Сигнал от счетчика поступает на усилитель и затем подается на один из каналов самописца, установленного на корабле или берегу. По этой записи легко может быть установлена величина и направление скорости течения. В качестве радиоактивного вещества в приборе используется изотоп P^{32} в виде порошка красного фосфора.

В методе Авербаха предполагается, что датчик прибора (обойма счетчиков и т. д.) неподвижен. Датчик устанавливается на некоторой желаемой глубине от поверхности воды.

Прибор для измерения турбулентности

Измерения турбулентности течения в малых объемах с линейными размерами порядка 2 дюймов производились прибором, в котором в качестве датчика использовалась нагретая проволока. Прибор был сконструирован специально для этой цели Паттерсоном [32]. Датчиком турбулентности служит платиновая проволока, покрытая тефлоном, температура которой поддерживается постоянной с помощью переменного тока час-

тотой 1500 гц. Теплоотдача проволоки, температура которой постоянна и выше температуры воды, тем больше при прочих равных условиях, чем больше скорость течения. При изменении скорости, обусловленном турбулентностью, изменяется температура проволоки, что вызывает изменение ее сопротивления и, как следствие, возникновение напряжения разбаланса моста, одним из элементов которого она является. Напряжение разбаланса подается на усилитель с отрицательной обратной связью, который регулирует силу тока в проволоке, так, что компенсирует температурные изменения, вызванные турбулентностью. Температура проволоки при этом мало отклоняется от заданной постоянной температуры. Напряжение разбаланса регистрируется перьевым самописцем и магнитным регистратором. Запись очень низких частот на магнитную ленту производится при скорости протяжки ленты равной $\frac{1}{150}$ нормальной, что осуществляется с помощью специального лентопротяжного механизма. Спектральный анализ записи осуществляется спектральным анализатором при нормальной скорости протяжки ленты.

Проволока нагревается до температуры, превышающей приблизительно на 20° температуру воды. Сравнение записей, полученных данным прибором, с записью температуры воды с помощью термисторных датчиков показало, что колебания температуры с амплитудой, равной 0,1°, не вызывает никаких изменений в показаниях прибора. Однако флуктуации температуры с амплитудой, равной приблизительно 1°, делали невозможной регистрацию турбулентной микроструктуры. Для регистрации турбулентной микроструктуры при температурных флуктуациях с амплитудой, превышающей 1°, нужно применять модифицированный датчик, в котором была бы предусмотрена возможность осуществления температурной компенсации.

Поплавки нейтральной плавучести

Обзор Херси [33] поплавков нейтральной плавучести для измерения глубинных течений в океане отражает современное состояние этого вопроса так же хорошо, как и пять лет тому назад. Подобные устройства были сконструированы Дж. С. Суоллоу и состоят из герметической алюминиевой трубки, обладающей меньшим коэффициентом сжатия по сравнению с водой. Вес поплавка подбирается таким образом, чтобы он смог погрузиться на заданную глубину. Простая электронная схема с батарейным питанием имеет на выходе магнитострикционный преобразователь, располагающийся вне трубки, с помощью которого в воде генерируется серия импульсов на частоте 10 кгц, которые и служат для определения местоположения поплавка. Дж. С. Суоллоу [34] и М. Суоллоу [35] опубликовали результаты

дальнейших исследований океанских течений приборами подобного типа. В этих работах также затронут вопрос слежения за перемещениями поплавков. Почапски [36] описал поплавки нулевой плавучести с более совершенной электронной схемой. В этой же работе дан анализ динамической устойчивости при горизонтальных и вертикальных течениях.

VI. АППАРАТУРА ДЛЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Упругие волны давно используются для изучения геологического строения отдельных областей суши. Для возбуждения упругих волн в земной коре при подобного рода исследованиях обычно производят взрывы на поверхности земли или в скважинах. Волны, встречая на своем пути границу раздела двух сред с различными волновыми сопротивлениями, отражаются от нее. По записи отраженных волн можно судить о геологическом строении исследуемой области.

Хотя большая часть сейсмических исследований производится на суше, была разработана аппаратура и для проведения морских сейсмических исследований с целью изучения геологического строения пород, залегающих под дном океана. К счастью, нет необходимости производить взрывы на дне, так как вода является очень хорошим проводником звуковых колебаний. Часть волн давления, распространяясь от источника возбуждения вниз, отражается от дна, другая часть проникает дальше и испытывает отражение от границ раздела пород. Эхолоты, использующие волны высокой частоты, регистрируют в силу этого обстоятельства отражения только от дна. При сейсмических исследованиях используются волны с частотой, меньшей 2000 гц, обеспечивающие достаточную глубину проникновения.

В качестве источников колебаний при морских сейсмических исследованиях широко используются взрывы, так как они обеспечивают возбуждение волн с большей энергией и глубиной проникновения, чем любые другие, известные в настоящее время источники возбуждения. Однако этот способ возбуждения имеет свои недостатки: во-первых, неудобство и опасность обращения со взрывчатыми веществами, и во-вторых, дороговизна работ при необходимости производства большого количества взрывов. Кроме того, взрывные работы по тем или иным причинам можно производить далеко не везде. Хотя новейшие невзрывные источники возбуждения волн позволяют получать меньшую глубину проникновения, однако при достаточно высокой частоте повторяемости процесса возбуждения они могут обеспечить производство непрерывной регистрации отраженных волн с движущегося корабля. В следующих параграфах кратко излагается содержание нескольких, недавно опубликованных

работ по сейсмической аппаратуре для морских исследований с источниками возбуждения как взрывного, так и невзрывного типа.

Локатор для геологического картирования

Мак-Клюр и другие [37] разработали локатор для геологического картирования, используемый в прибрежных мелководных участках моря, который при несколько меньшей разрешающей способности обеспечивает достаточную глубину проникновения. Возбуждение акустических импульсов производится с помощью направленного магнитострикционного преобразователя. Частота повторяемости импульсов равна 12 гц, преобла-

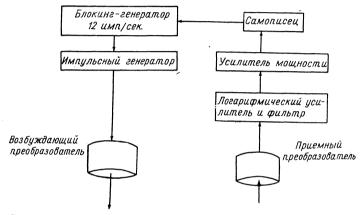


Рис. 6. Блок-диаграмма аппаратуры для построения временных разрезов.

дающими колебаниями в импульсе являются колебания с частотой 3800 гц. Вследствие того что излучение мощности приводит к демпфированию преобразователя, возбуждается короткий импульс, содержащий только одно полное синусоидальное колебание частоты 3800 гц. Импульс, возбуждаемый преобразователем, подобен акустическому импульсу, возникающему при взрыве динамитного патрона (рис. 6). Однако использование последних нерационально вследствие высокой частоты повторяемости импульсов (12 имп/сек.).

Самописец контролирует работу генератора, который используется для запуска импульсного генератора таким образом, чтобы обеспечить подачу 12 электрических импульсов в секунду на электромеханический преобразователь. Преобразователь, опущенный в воду с борта корабля, возбуждает направленные импульсы; отражения от дна и пластов поддонных отложений вос-

принимаются приемным преобразователем направленного действия, выходное напряжение которого фильтруется и усиливается логарифмическим усилителем. Затем сигнал еще раз усиливается усилителем мощности, для того чтобы его можно было регистрировать на электрочувствительной бумаге. Протяжка электрочувствительной бумаги равномерная. Время, за которое перо самописца проходит всю ширину ленты электрочувствительной бумаги, равную 25 см, соответствует времени прихода отраженной волны с глубины 60 м. Самописец регистрирует непрерывный разрез вдоль профиля, по которому движется корабль.

Ось времен градуирована в метрах, причем, так как за скорость распространения волн при такой градуировке выбрана скорость распространения волн в воде, то без искажений регистрируется только рельеф дна. Если требуется получить точные глубины отражающих горизонтов в поддонных отложениях, то вводят поправку, учитывающую разность скорости распространения волн в воде и поддонных отложениях. Этот прибор использовался на мелководных участках моря с глубинами, не превышающими 15 м, в Техасе и Луизиане. Опыт применения этого прибора показал, что с его помощью легко могут быть обнаружены мелководные геологические образования мощностью до 9 м, такие как старые русла, рифы, складки, выклинивание пластов и т. д. Однако геологическая интерпретация полученных результатов проводится гораздо увереннее, если при подобных исследованиях предусмотрен отбор образцов.

Аппаратура сейсмического профилирования

Бекман и другие [38] описали аппаратуру непрерывной регистрации глубины отражающих горизонтов, используемую для изучения подводных геологических структур и состоящую из эхолота, работающего в широкой полосе частот и использующего один из двух различного типа мощных преобразователей для возбуждения звуковых волн. В качестве последних используется искровой разрядник, который обеспечивает глубину проникновения свыше 180 м, при глубине дна 15 м и камера сгорания, работающая на смеси пропана и кислорода, для которой глубина проникновения волн превышает 480 м при глубине моря 24 м. Размеры, полученные с помощью этого прибора, хорошо согласуются с данными контрольного бурения и данными метода преломленных волн (рис. 7).

Большая часть энергии импульса, возбуждаемого искровым разрядником, падает на область частот между 300 и 5000 гц, что обеспечивает высокую разрешающую способность. Частота повторения импульсов колеблется от 1 до 4 гц. Основная частота колебаний, возбуждаемых камерой сгорания, равна 35 гц, однако спектр импульса включает и гармоники с частотой до

3000 гц. Взрывы могут производиться через интервалы времени 0.5 и 1 сек.

В приборе используется регистратор с электрохимической бумагой. Регистратор включает в себя схему, обеспечивающую подачу синхронизирующих импульсов при крайнем левом положении пера регистратора. Если в качестве источника возбуждения используется искровой разрядник, то с помощью синхронизирующего импульса производится подключение конденсатора с напряжением на обкладках до 8000 в к электродам искрового разрядника, буксируемого кораблем на кабеле. В случае, если

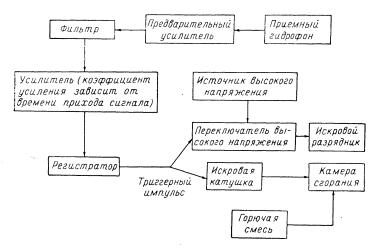


Рис. 7. Блок-диаграмма аппаратуры для регистрации глубины отражающих горизонтов.

используется камера сгорания, запал смеси пропана и кислорода, непрерывно подаваемой в камеру сгорания, осуществляет синхронизирующий импульс. Камера сгорания буксируется за кораблем на глубине 0,6—1,5 м.

Приемные гидрофоны также буксируются за кораблем. Отраженный сигнал, усиленный предварительным усилителем, проходит через настраиваемый пассивный фильтр, усиливается и затем регистрируется на бумаге. Для усиления сигнала используется усилитель с коэффициентом усиления, зависящим от времени, что позволяет видеть на записи более глубокие горизонты, так как более интенсивные отражения от мелких горизонтов не регистрируются самописцем (не зачерняют электрочувствительную бумагу). Изменение коэффициента усиления во времени осуществляется триггерными импульсами, вырабатываемыми регистратором. Ширину ленты перо регистратора проходит за

1 сек., что соответствует приходу отраженного сигнала с глубины 720 м.

Этим прибором произведены измерения по профилям, общая длина которых составляет около 5500 км. Съемки проводились в проливе Род-Айленд, заливе Чесапик, Красном море, у мыса Горн и на атлантическом побережье Северной Америки.

Звуковой сампер

Херси и другие [39] изобрели мощный электродинамический преобразователь, позволяющий периодически возбуждать импульсы, спектр которых состоит из низкочастотных гармоник, называемый «сампером». В сампер входит система, преобразующая энергию бортовой сети корабля в постоянный ток высокого напряжения, заряжающий конденсаторы общей емкостью 160 мкф. При подаче управляющего сигнала на триггерную схему последняя осуществляет разряд конденсаторов через оригинальный электромеханический преобразователь. Собственно преобразователь состоит из плоского алюминиевого диска диаметром 46 см и толщиной 0,64 см, который прижимается к торцу плоской спиральной катушки пружиной. При прохождении импульса тока через катушку меняющееся магнитное поле последней вызывает образование токов Фуко в алюминиевом диске, магнитное поле которых направлено противоположно магнитному полю катушки. В результате взаимодействия этих двух полей возникают силы, отбрасывающие диск от закрепленной катушки. Коэффициент полезного действия преобразователя равен приблизительно 10%. Амплитуда перемещения алюминиевого диска составляет приблизительно 1,3 см, акустическое давление на расстоянии 1 м от катушки равно 1 ⋅ 106 дин/см2.

Спектр сампера содержит как высокие частоты (1000 гц), так и низкие (125 гц). Проникающая способность звуковых волн тем меньше, чем выше их частота. Волны высокой частоты позволяют получить детальный рельеф морского дна и неглубоко залегающих структур. Волны низкой частоты, наоборот, обладают большей глубиной проникновения при меньшей разрешающей способности. Если, используя соответствующие фильтры, производить регистрацию на отдельных самописцах волн как высокочастотного, так и низкочастотного концов спектра, то можно получить детальный рельеф дна и отражения от глубоких горизонтов.

С помощью сампера получена глубина проникновения до 100 м. Сампер, как это ясно из предыдущего описания, является преобразователем ненасыщенного типа. Поэтому предполагают, что можно сконструировать мощные самперы насыщенного типа. Были построены автономные, погружаемые на дно самперы с батарейным питанием.

Прочая морская сейсмическая аппаратура

Краткая история морских сейсмических исследований освешена в обзоре Херси [40]. В следующих параграфах приведены рефераты работ, опубликованных после написания этого обзора и посвященных аппаратуре, используемой при морских сейсмических исследованиях.

Хоскинс и Кнот [41] провели геофизические исследования в заливе Кейп-Код (Массачусетс). В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась аппаратура для непрерывного сейсмического профилирования. Опубликованная ими статья в основном касается интерпретации полученных результатов, однако там приведены блок-схема электронной части прибора и буксируемого устройства, используемого при сейсмическом профилировании и при работе методом отраженно-преломленных волн.

Юинг и Тири [42] привели детальное описание электронной аппаратуры, использованной ими для регистрации преломленных и отраженных волн и для изучения проводимости звуковых волн. С помощью этой аппаратуры проведены многочисленные исследования в Мексиканском заливе, Северной Атлантике, Карибском море и юго-восточной части Тихого Общая протяженность профилей, на которых проводились работы с этой аппаратурой, составляет многие сотни километров. Дж. Юингом и М. Юингом [43] дан исторический обзор и обзор современного состояния исследований по разработке донных сейсмографов. Сейсмограф, недавно разработанный и используемый ими, состоит из вертикального сейсмографа для регистрации коротко- и среднепериодных волн и усилителя, выходное напряжение которого модулирует частоту источника акустических волн со средней частотой 12000 гц, с помощью которой осуществляется телеметрическая передача информации на корабль. Батарейное питание обеспечивает непрерывную работу прибора в течение недели. Уровень шумов в этом сейсмографе меньше, чем в донных сейсмографах, в которых для передачи информации используется кабель, так как в фон последнего входят сотрясения прибора, вызываемые движением длинного кабеля. Предполагая, что на океанском дне нет шумов, создаваемых метеорологическими явлениями и деятельностью человека, надеются, что это обстоятельство позволит регистрировать слабые землетрясения и ядерные взрывы на значительно больших расстояниях, чем это было возможно раньше.

Савит и другие [44] в целях оценки возможности применения стандартной сейсмоакустической аппаратуры, используемой обычно при разведке нефти на мелководных участках моря, для изучения кристаллических пород дна океана произвели наблюдения на профиле протяженностью 33 км северо-восточнее Багамских островов методом преломленных волн. При производ-

стве работ ими использовались два корабля. Корабль с регистрирующей аппаратурой буксировал от неподвижного кораблявзрывпункта косу длиной 1,8 км с 24 равностоящими гидрофонами. Взрывы производились через промежутки времени, в течение которых буксируемый кабель перемещался на расстояние, равное собственной длине. В качестве запального устройства использовались электродетонаторы. Сейсмические скорости могли быть определены в результате одного взрыва, произведенного на сравнительно небольшом расстоянии, по известным длине кабеля и времени прохождения волн. Знание углов наклона, определенных с помощью метода отраженных волн, позволило провести уверенную интерпретацию данных метода преломленных волн. Были выделены слои с кажущимися скоростями, равными 2,18; 4,98; 5,74; 7,04 км/сек., которые ориентировочно интерпретировались как соответствующие малоуплотненному слою осадков мощностью 1,67 км, слою уплотненных осадочных пород или кристаллических пород мощностью в 1,14 км, гранитному слою мощностью 1,85 км и, наконец, подстилающему слою габрро или слою океанической коры ложа, мощность которого не была установлена.

VII. ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ ЗВУКА

Импульсный измеритель скорости

Гринспэн и Тшигг [45] и Тшигг и Хейс [46] разработали относительно простой прибор для измерения скорости звука в океане. Последняя модель прибора использовалась для измерения этой скорости в батискафе «Триест» Военно-морских сил США на глубинах до 5700 м [47]. Почти полное отсутствие сползания нульпункта и высокая чувствительность прибора позволяют производить абсолютные измерения скорости с точностью до 0,02%. Отсчеты на глубинах, превышающих 1300 м, воспроизводимы с точностью до 0,01%, причем эта цифра включает влияние на работу прибора старения батарей питания и влияние изменения температуры на элементы электрической схемы. В цилиндре из нержавеющей стали диаметром 7,5 и длиной 35 см помещается электрическая схема на транзисторах и батареи питания. Корпус с электрической схемой и собственно измерительное устройство (преобразователи), располагающиеся вне корпуса, способны выдерживать давление в 1125 кг/см2, т. е. давление на глубине 11 км (рис. 8).

Принцип работы прибора заключается в измерении времени задержки ультразвукового (с частотой в несколько Мгц) импульса вдоль пути известной длины, которое обратно пропорционально скорости распространения звука в воде. В приборе имеются два преобразователя, расположенные вблизи центра несущей

плиты датчика диаметром 12,7 см, прикрепленной к крышке водонепроницаемого корпуса, упоминавшегося выше. Импульс, возбужденный передающим преобразователем, распространяясь в воде, доходит до отражателя, который направляет его к отражателю, установленному на противоположном конце плиты, в свою очередь, направляющему его к приемному преобразователю. Длина зигзагообразного пути, проходимого импульсом, равна 21 см. Форма пути, проходимого импульсом, чтобы ошибка из-за эффекта Допплера при измерениях с движущимся в воде прибором была минимальна.

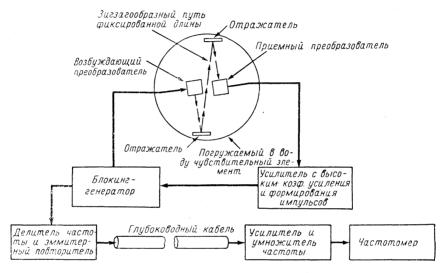


Рис. 8. Блок-диаграмма импульсного измерителя скорости.

Возбуждающая обмотка преобразователя подключается к выходу блокинг-генератора. Звуковой импульс, пройдя зигзагообразный путь, воспринимается приемным преобразователем, выходное напряжение которого усиливается усилителем с большим коэффициентом усиления. Усиленный импульс подается на вход блокинг-генератора и запускает последний. Этот процесс повторяется вновь и вновь с периодом, равным времени прохождения зигзагообразного пути длиной 21 см звуковым импульсом. Частота колебаний блокинг-генератора после соответствующей калибровки может служить для измерения скорости распространения звука в воде, в которую погружен прибор. В качестве стандартной жидкости для калибровки используется дистиллированная вода. Частота колебаний блокинг-генератора определяется с помощью электронного частотомера подсчетом числа колебаний в секунду.

В случае, когда частотомер соединен с прибором длинным кабелем, возникают трудности вследствие нежелательного искажения и ослабления сигнала. Ослабление этих искажений достигается использованием на выходе прибора электронной схемы деления частоты и передачей по кабелю сигналов меньшей частоты. Напряжение, снимаемое с кабеля, предварительно усиливается, формируется и затем с помощью схемы умножения частоты восстанавливается первоначальная частота сигнала, после чего последняя регистрируется счетчиком.

Резонансный измеритель скорости

Лиц, интересующихся использованием звуковых волн низкой частоты при океанографических исследованиях, мы отсылаем к статье Шафера [48]. В ней описан измеритель скорости, в котором в качестве резонатора используется погружае-

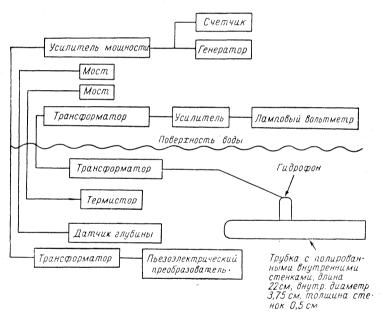


Рис. 9. Блок-диаграмма резонансного измерителя скорости.

мая в воду толстостенная трубка с открытыми концами. Колебания в столбе воды, находящейся в трубке, возбуждаются источником звуковых волн, располагающимся вблизи одного из ее концов; гидрофон, установленный в середине трубки, регистрирует изменение давления. Острая резонансная кривая (Q=450) позволяет производить относительные измерения с

ошибкой, меньшей чем 0,2 м/сек., при резонансной частоте колебаний столба воды, равной приблизительно 570 гц (рис. 9).

Работа прибора основана на том, что резонансная частота колебаний столба воды в трубке прямо пропорциональна скорости распространения волн в нем. Скорость распространения волн в свободной воде может быть определена по скорости распространения волн в столбе воды в трубке введением соответствующих поправок. Источник звуковых волн приводится в действие выходным напряжением генератора с плавной настройкой в узкой полосе частот, включающей резонансную частоту. Для точного определения резонансной частоты необходим вследствие большого Q генератор с тонкой настройкой. Резонансная частота определяется по максимуму выходного напряжения гидрофона. После установки генератора на резонансную частоту измеряют с помощью электронных счетчиков время, равное 10 периодам. Скорость распространения волн в свободной воде определяется затем по калибровочной кривой. Статья представляет собой короткую заметку, в которой сообщается о факте построения прибора и его испытания. В заметке не приведена теория поправок, о которых говорилось выше.

Резонансный измеритель скорости звука в осадках

Шамуэй [49, 50] произвел измерения скорости и затухания волн в рыхлых отложениях дна моря резонансным методом. Измерения проводились на образцах, заключенных в тонкостенные пластмассовые цилиндры, не сохраняющие давления, существовавшего в образцах в момент отбора. Скорость определялась по частоте резонанса. При использовании цилиндрических контейнеров диаметром 5 см и длиной 10 см резонансная частота лежит в области частот от 23 до 36 гц. Затухание определялось по остроте резонансной кривой. Образцы на мелких участках моря отбирались водолазом с помощью пластмассовых цилиндров, используемых при измерениях. При больших глубинах моря образцы отбирались из керна, поднятого грунтовой грубкой. Первый способ отбора обеспечивал получение образцов относительно мало нарушенной структуры.

Скорости в мелководных отложениях Сан-Диего измерялись от 1487 м/сек. $(0,978\ v_0)$, где v_0 — скорость распространения звука в воде) для тонкого ила до 1735 м/сек. $(1,147\ v_0)$ для песка средней зернистости. Приведенные величины скоростей измерялись при температуре $15,6^\circ$ и атмосферном давлении. Коэффициент затухания менялся от 1 до 4 децибел/30 см для ила и от 3 до 8 децибел/30 см для песков (рис. 10).

Электронное оборудование, используемое при этих измерениях, состоит из сигнал-генератора с плавной настройкой, усилителя, лампового вольтметра и двух кристаллических звуко-

снимателей, один из которых служит для возбуждения, а второй для регистрации колебаний в образце. Для подавления посторонних помех используется настраиваемый фильтр. Частота колебаний регистрируется счетчиком.

VIII. ГИДРОФОТОМЕТРЫ

Дантли [51] отметил, что в солнечный полдень на каждый квадратный метр поверхности моря падает лучистая энергия мощностью 75 вт. Приблизительно 5% этой энергии отражается, остальная часть поглощается водой, $^{3}/_{4}$ всей энергии приходится на инфракрасную область спектра и поглощается вблизи поверхности. Глубокие слои, таким образом, поглощают лишь энергию видимой части спектра, средняя длина волны которой равна 480 ммк.

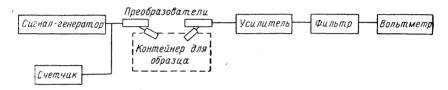


Рис. 10. Блок-диаграмма измерителя скорости звука в осадках.

Для протекания процесса фотосинтеза у растений необходима интенсивность освещения, несколько большая 0,01 интенсивности дневного света. Освещенность такой величины легко измеряется (на глубинах порядка 100 м) простым фотогальваническим элементом. Однако животные способны реагировать на свет гораздо меньшей интенсивности. Имеются доказательства того, что рыбы могут видеть мелкие объекты при освещенности равной 10^{-10} дневной. Многие типы планктона совершают суточные вертикальные миграции значительной амплитуды, в процессе которых они достигают глубин с еще меньшей освещенностью. Многие виды морских животных имеют органы, способные люминесцировать. Измерение освещенности и биолюминесценции на больших глубинах требует использования электронных фотоумножителей в батифотометрах.

Кларк [52] изложил результаты изучения проникновения дневного света вдоль атлантического побережья США. С помощью батифотометра с фотоэлектронным умножителем ему удалось провести такие измерения до глубины 600 м (измерения проводились около полудня). Подобные же измерения проводились и в полночь, когда не было Луны и небо было покрыто облаками. На поверхности интенсивность освещения в этих условиях равнялась 10^{-8} дневной. В верхних слоях интен-

сивность освещения уменьшалась точно с такой же скоростью, как и днем. Однако на глубинах, больших 100 м, скорость уменьшения несколько земедлялась из-за люминесценции. На глубинах, больших 400 м, из-за биолюминесценции освещенность обнаруживала стремление к возрастанию вследствие наложения биолюминесцентных вспышек. Биолюминесцентные вспышки меньшей яркости были зарегистрированы и на глубине 2700 м. Средняя частота появления вспышек равнялась одной вспышке в минуту.

Мелководный батифотометр

Океанологам, занимающимся морской биологией и биологической океанографией и изучающим фотосинтез фитопланктона и прибрежных водорослей, часто приходится измерять освещенность и коэффициент поглошения света. Прибор для измерения иррадиации, описанный Холмсом и Снодграссом [53], надежен и широко применяется при исследованиях роли света в фотосинтезе в условиях открытого моря. Фотометр, разработанный ими для подводных измерений, позволяет производить прямые измерения интенсивности излучения в голубом и зеленом частях спектра (470 ммк) до глубин 100—200 м при коэффициенте поглощения в этой части спектра, равном 0,04/м. В батифотометре могут быть установлены пять чувствительных элементов, а также датчик глубины. В качестве датчика в приборе используется коллектор светового потока с косинусоидальной характеристикой направленности и дисковый фотоэлемент с запорным слоем. Қаждый датчик может быть ориентирован горизонтально и вертикально (вверх или вниз). С помощью специального переключающего механизма с управляющей кнопкой можно подключать любой из датчиков к демпфированному многошкальному микроамперметру с малым внутренним сопротивлением, установленному на корабле. В приборе нет никаких усилителей. При нормальных условиях работы прибор дает хорошо воспроизводимые показания. Чувствительность фотоэлемента остается практически неизменной в течение двух лет.

Для нормальной работы прибора необходимо, чтобы сопротивление цепи, соединяющей фотоэлемент с гальванометром, не превышало четырех ом. Если сопротивление более этой величины, то понижается чувствительность фотоэлемента и ухудшается линейность его характеристики. Последнее обстоятельство особенно заметно при работе на небольших глубинах, т. е. при большой освещенности. Вместо второго провода в приборе используется морская вода. Сопротивление этой цепи обычно меньше 0,25 ом; таким образом, сопротивление соединительного провода не должно превышать 3,75 ом. Понятно, что прибор не может использоваться в пресноводных бассейнах.

Глубоководный батифотометр

Дантли [51] описал простой батифотометр с фотоумножителем для глубоководных измерений. Фотоэлектронный умножитель, электронная лампа и батареи питания помещаются в водонепроницаемый корпус, способный выдерживать большие давления. В статье приводится детальное описание электронной схемы прибора. Использование фотоэлектронного умножителя при фотометрических измерениях, помимо его высокой чувствительности, выгодно еще и потому, что он может быть использован в качестве элемента с логарифмической характеристикой. Для получения тока постоянной величины на выходе фотоумножителя должно быть подано напряжение такой величины, которая зависит экспоненциально от интенсивности освещения. Поэтому, если в качестве измерителя напряжения, поданного на фотоумножитель, использовать ламповый вольтметр, то показания последнего будут пропорциональны логарифму интенсивности освещения.

Прибор подобного типа с питанием от батарей обладает почти строго линейной логарифмической характеристикой в диапазоне, ширина которого равна $1\cdot 10^6$. Этот диапазон покрывается одной шкалой без переключений. Прибор соединяется с кораблем двумя кабелями, вместо третьего используется морская вода. В статье подробно описан и более совершенный прибор такого же типа, имеющий датчик давления для измерения глубины. Аналогичный прибор подробно описан в работе Кларка и Вертейма [54].

Другие гидрофотометры

Для ознакомления с электронными схемами приборов для гидрофотометрических исследований вполне достаточно цитированных выше работ. В силу своей сложности здесь не приводится описание оптики приборов для гидрофотометрических исследований, техники измерения световых потоков и связанных с ней величин. Основные сведения об этих вопросах могут быть почерпнуты в следующих работах.

Тайлер [55] обсудил применимость методов, разработанных в радиометрии для фотометрических измерений в море. Козлянинов [56] описал гидрооптическую аппаратуру и методы морских гидрофотометрических исследований. Николь [57] составил обзор методов и приборов для лабораторного измерения люминесценции полиноидов. Сасаки и другие [58] обсудили вопрос об угловом распределении рассеянного света в глубоких слоях моря. Эти же авторы [59] разработали аппаратуру для дистанционного измерения углового распределения рассеянного света в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

ІХ. ИНДУКТИВНЫЕ СОЛЕМЕРЫ

В течение многих лет измерения солености морской воды основывались на гипотезе о постоянстве отношения концентрации главных ее составляющих. Для измерения солености морской воды, согласно этому предположению, достаточно измерить концентрацию одной какой-либо компоненты. Однако эта гипотеза не является абсолютно верной и выяснение того, насколько она верна, является одной из важных задач будущих исследований. Если считать эту гипотезу верной, то морскую воду можно рассматривать как сложный электролит, электрическая проводимость которого является однозначной функцией температуры, суммарного содержания солей и давления.

С увеличением температуры и солености проводимость возрастает, причем зависимость последней как от первого, так и второго фактора нелинейна. Величина проводимости изменяется от нуля для пресной воды до 60 ммо/см³ для морской воды высокой солености и температуры. Зависимость проводимости от давления является относительно слабой и в настоящее время точно не изучена. Потребуются дальнейшие исследования в этой области, если будут произведены точные измерения на больших глубинах.

Несколько лет тому назад был сделан важный шаг в области разработки приборов для океанографических измерений—создан индуктивный солемер. Ранее различные приборы, созданные для этой цели, использовали платиновые электроды. Общим недостатком, свойственным всем этим приборам, была поляризация электродов и обрастание. В индуктивных приборах нет прямого контакта с морской водой, вследствие чего они свободны от этих недостатков.

Притчард [60], Шимер и Притчард [61] описали один из приборов подобного типа. Прибор состоит из погружаемого в воду на многожильном кабеле датчика, индикаторов проводимости и температуры. Датчик проводимости состоит из двух тороидальных катушек с железными сердечниками, устанавливаемых коаксиально по отношению друг к другу. Катушки залиты эпоксидной смолой для защиты от морской воды и для придания правильной формы центральному отверстию катушек, заполняемому морской водой при погружении датчика. Катушка возбуждения, обмотка которой находится под переменным напряжением 115 в частоты 60 гц, создает в центральном отверстии перепад напряжения, равный приблизительно 0,2 в. Для центрального отверстия неизменной формы сила протекающего через него тока прямо пропорциональна проводимости заполняющей его морской воды. Этот ток индуцирует э. д. с. в измерительной катушке. Измерительная катушка, обмотка которой подключена к цепи с высоким входным сопротивлением, работает как трансформатор тока. Это означает, что напряжение на нагрузочном сопротивлении также приблизительно пропорционально току в катушке возбуждения. Для исключения зависимости показаний прибора от изменения питающего напряжения с одного из витков обмотки катушки возбуждения снимается опорное напряжение, часть которого подается на прецизионный десятиоборотный потенциометр с сервобалансировкой. Напряжение, снимаемое с измерительной катушки, после фазовой коррекции, осуществляемой постоянной емкостью, сравнивается с частью опорного напряжения. Напряжение разбаланса, равное разности этих напряжений и усиленное усилителем, приводит в действие сервомотор, который поворачивает движок потенциометра до тех пор, пока напряжение разбаланса не станет равным нулю.

Ось потенциометра связана с четырехдекадным цифровым счетчиком, показания которого равны величине проводимости в ммо/см³, так как напряжение, снимаемое с трансформатора тока, приблизительно пропорционально величине проводимости. Прибор может измерять проводимость, меняющуюся от 0 до 60 ммо/сек³. Показания прибора in situ воспроизводимы с точностью 0.02 ммо/см³. Для исключения нелинейности используется калибровочная кривая, с помощью которой величина проводимости определяется с точностью ± 0.2 ммо/см³.

Для определения солености по измеренной величине проводимости нужно знать температуру воды в месте измерения. Поэтому в приборе имеется регистратор температуры, датчиком которого служит бусинка термистора. Сопротивление термистора измеряется с помощью моста Уитстона с сервобалансировкой. Регистратор может измерять температуру от -2 до 32° . Показания in situ воспроизводимы с точностью $\pm 0,02^\circ$. При должной калибровке прямой отсчет может быть взят с точностью $+0,02^\circ$.

Соленость определяется по измеренным величинам проводимости и температуры со среднеквадратической ошибкой, равной $\pm 0.03\%$. Эта цифра, однако, относится к измерениям вблизи поверхности. Зависимость измеряемой величины проводимости от давления не определялась, однако можно полагать, что влиянием давления на показания прибора можно пренебречь для глубин, меньших $60~\mathrm{M}$.

Ниже приводятся ссылки на три недавно опубликованные работы. Браун и Хэмон [62] описали индуктивный солемер, обеспечивающий относительную точность измерений 0,003°/00. Хунджуа [63] разработал общую теорию измерения проводимости морской воды с помощью тороидальных индуктивных катушек. В работе выведены формулы, позволяющие рассчитывать скалярный потенциал и компоненты напряженности электрического вектора. Получены функции распределения токов

проводимости, а также значение полного сопротивления внешней среды и распределение сопротивления вдоль цепи.

Уильямс [64] описал малогабаритный прибор для измерения солености и температуры.

х. навигационные системы

Интерпретация почти всех океанографических измерений возможна при условии, если известны географические координаты точек измерения. Таким образом, одним из основных условий при проведении океанографических исследований является наличие точных навигационных данных. В разных странах было разработано много электронных приборов для навигации различной точности и радиуса действия. Источником информации о большинстве важных современных радиотехнических и радиолокационных средств для морской навигации и гидрографии является Международное гидрографическое бюро в Монте-Карло (Монако) [65]. Кроме того, бюро публикует оперативные сообщения о действительном использовании таких систем [66]. Эти издания содержат весьма подробную библиографию.

Здесь кратко рассмотрены две новые навигационные системы, которые, вероятно, будут широко использоваться при океанографических исследованиях как на современном этапе, так и в будущем. Упомянутые выше издания не содержат каких-либо сведений или библиографию, касающуюся этих систем.

Лоран С

Система гиперболической навигации «Лоран С» подобна навигационной системе «Лоран А», разработанной во время мировой войны 1939—1945 гг., но значительно более совершенна. Точность системы «Лоран А» при измерениях на море составляет несколько километров при дальности в немногие сотни километров. Станции системы «Лоран С» осуществляют передачу в полосе частот 80—110 кгц, которая была отведена для дальней навигации. Ведущая станция излучает высокочастотные импульсы, ведомые станции излучают импульсы, асинхронизированные с импульсами задающей станции. Приемник системы «Лоран С» измеряет разность времен прихода импульсов ведущей и ведомой станций и, кроме того, измеряет фазу несущей частоты каждого импульса. Это значительно увеличивает точность измерения разности времен прихода импульсов.

В каждый период следования импульсов станции системы «Лоран С», в противоположность системе «Лоран А», передававшей один импульс, передают группу из 8 импульсов. Система фазового кодирования позволяет различать сигналы задающей и каждой из ведомых станций. Система фазового кодирования

и техника временной импульсной модуляции позволяет уменьшить погрешности приема волн, отраженных от ионосферы. Точность при измерениях на море равна приблизительно 0,5 км при дальности 1000 км.

Сигналы системы «Лоран С» могут быть приняты почти во всех пунктах, представляющих интерес для океанографов. Система «Лоран С» в настоящее время используется Морским гидрографическим ведомством США при съемках. Система «Лоран С» очень чувствительна к помехам, вызываемым трансокеанской передачей, и требуется сложная процедура калибровки для определения надежности приема и точности навигации. Вопросы точности и дополнительная информация о системе «Лоран» приводятся в статьях Франца и др. [67], Дина и Райса [68], Дохерти и др. [69] и Генри [70]. Аппаратура системы «Лоран С» имеется в продаже.

Омега

Кэслман с сотрудниками [71, 72] описал навигационную систему, работающую в диапазоне сверхдлинных волн. Автор настоящего обзора полагает, что хотя эта система может быть использована для практических измерений лишь через несколько лет, она обладает большими возможностями и со временем будет весьма полезной океанографам.

Гиперболическая система «Омега» работает в международной полосе радиочастот 10—14 кгц, предполагаемый радиус действия—9000 км. Проектом предусматривается создание мировой сети всего из 8 передающих станций, которые должны обеспечить 15 возможных систем линий положения на поверхности земли, причем по меньшей мере две системы доступны оператору в любое время для определения места по лорановским координатам.

На тех частотах, где работает «Омега», невозможно передавать достаточно узкие импульсы, которые позволяли бы производить надежное разделение сигналов, распространяющихся по различным путям (поверхностные волны, одно отражение, два отражения, три отражения и т. д.). Поэтому необходимо использовать программированную систему измерения незатухающих волн, причем сигнал, принимаемый от какой-либо передающей станции, образуется за счет наложения всех видов волн. Многократные измерения сигналов на линии Сан-Диего (Гавайские острова) — Калифорния (4200 км) и на линии Гавайи — Вашингтон обнаружили поразительную стабильность сигналов и возможность определения линии положения с точностью 2 км на расстоянии 9000 км. Таким образом, осуществимо глобальное обслуживание с точностью 1 км всего при восьми передающих станциях. Система осуществляет передачу в очень узкой

полосе частот, вследствие чего мощность передатчика составляет всего лишь несколько киловатт. Экспериментальные приемники системы «Омега» использовались на стационарных и передвижных станциях, на надводных кораблях и самолетах. Такие приемники при данной несущей частоте смогут принимать сигнал на подводной лодке, находящейся на глубине до 15 м. Дальнейшие сведения о возможном применении системы даны Брогреном и другими [73].

хі. ИНДИКАТОРЫ ГЛУБИНЫ

Интересно отметить, что в изданиях последних лет описано относительно малое число электронных приборов для точного измерения глубины погружения океанографических приборов. Это, вероятно, объясняется тем, что во многих случаях такие измерения удобнее производить с помощью механических или электромеханических устройств, таких как трубка Бурдона, нли датчиков давления сильфонного типа, соединенных с маломоментным потенциометром. В следующих параграфах приводится описание двух электронных устройств для измерения глубины погружения океанографических приборов, отобранное из текущей литературы.

Сонар для фиксации датчиков на определенном расстоянии от дна

Индикатор положения прибора относительно дна очень полезен в тех случаях, когда требуется установить прибор на определенном расстоянии от дна или при погружениях прибора на дно на больших глубинах. Такой индикатор необходим, например, когда требуется установить прибор над дном на расстоянии 3 м при глубине погружения 6000 м. Растяжение кабеля, неточность отсчета длины кабеля (троса) и тот факт, что кабель при погружении прибора никогда не висит вертикально, исключают возможность определения высоты прибора над дном простым вычитанием длины кабеля из глубины в месте погружения.

Эджертоном и Кусто [74] было предложено простое решение этой проблемы. Дополнительные сведения по этому вопросу даны Херси и другими [39] и Эджертоном [75]. На приборе, погружаемом в воду (бутылке для отбора воды, пробоотборнике, геотермическом зонде и т. д.), устанавливается пингер с батареями питания. Периодически пингер испускает звуковые импульсы продолжительностью 1 мксек. на частоте 12 гц. Приемник сонара воспринимает эти импульсы, и они регистрируются самописцем или наблюдаются на экране осциллографа, что позволяет осуществлять постоянный контроль разности времен прихода прямых и отраженных импульсов, пропорциональной расстоянию прибора от дна. Например, если разность времен прихода

равна двум миллисекундам, то прибор находится на расстоянии 1,5 м от дна. Оператор, наблюдающий за экраном, дает соответствующие указания по телефону лебедчику, что оказывается вполне достаточным, для того чтобы удерживать прибор на фиксированном расстоянии от дна.

Детальная схема пингера приведена в цитируемых работах. Аппаратура использовалась в течение нескольких лет при проведении различных исследований. С помощью этой аппаратуры прибор удерживался на расстоянии 1—2 м от дна при глубине погружения 7,5 км в течение часа, несмотря на дрейф корабля, качку и изменение глубины дна при дрейфе.

Прибор для измерения глубины

Часто глубина погружения прибора, опускаемого на кабеле с корабля, определяется измерением длины и угла наклона кабеля. Такой метод измерения не может обеспечить достаточной точности измерения глубины погружения при большой длине и больших углах наклона кабеля. Необходимость более точных определений глубины погружения побудила Холмса и Снодграсса [53] (рис. 11) создать прибор для таких измерений.

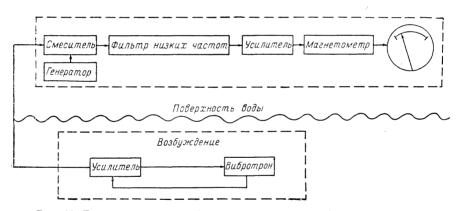


Рис. 11. Блок-диаграмма прибора для измерения глубины погружения.

Датчик давления, называемый вибротроном, состоит из вибрирующей проволоки, помещенной в вакуум, колебания которой поддерживаются усилителем, собранным на транзисторах с батарейным питанием. Один из концов проволоки прикреплен к мембране, воспринимающей давление окружающей среды. С изменением этого давления меняется натяжение проволоки и, следовательно, частота колебаний последней. Выходное напряжение усилителя по двухжильному кабелю передается на корабль, где сигнал поступает на смеситель, на вход которого по-

дается также напряжение с генератора, настроенного таким образом, что его частота равна частоте колебаний проволоки вибротрона при атмосферном давлении. Выходное напряжение смесителя имеет частоту, равную разности частот колебаний проволоки вибротрона и генератора. Таким образом, эта частота равна нулю, если вибротрон находится на поверхности, и увеличивается с увеличением глубины погружения вибротрона, причем частота растет пропорционально глубине погружения. С помощью специальной электронной аппаратуры выходной сигнал смесителя преобразуется в постоянный ток, величина которого пропорциональна глубине погружения, регистрируемой микроамперметром.

Калибровка прибора производится в лабораторной камере давления сравнением его показаний с показаниями стандартного манометра давления. Точность прибора в диапазоне глубин 50—100 м равна 2%. При измерениях с этой точностью можно не учитывать влияние температуры, если последняя находится в интервале от 2 до 25°. В измерения, производимые при температуре окружающей среды, лежащей вне указанного интервала, необходимо вносить поправку, предварительно определив температурный коэффициент вибротрона.

XII. МАГНИТОМЕТРЫ

В последние несколько лет при измерениях земного магнитного поля получили распространение протонные магнитометры. Отношение магнитного момента отдельных ядер атома вещества, например воды, к собственному механическому моменту равно скалярной постоянной ψ , называемой гиромагнитным отношением. Взаимодействие магнитного момента с внешним магнитным полем напряженности H вызывает прецессию спина ядра относительно магнитного поля, аналогичную прецессии гироскопа в поле тяготения. Частота прецессии f связана очень простым соотношением с полной напряженностью внешнего магнитного поля H, именно, $2\pi f = \psi H$. Прецессия ядра обусловливает появление индуцированной, периодически меняющейся э.д.с. в измерительной катушке. Однако, если не предусмотреть специальную методику измерения, э.д.с., наводимые отдельными протонами в измерительной катушке, не создают практически никакого суммарного эффекта. Для получения измеримого сигнала в катушке векторная сумма магнитных моментов частиц образца должна иметь отличную от нуля составляющую, перпендикулярную к измеряемому полю. Методика измерения заключается в следующем.

1) Образец поляризуется магнитным полем напряженностью в несколько сотен гауссов в направлении, приблизительно перпендикулярном к направлению земного магнитного поля. За время, измеряемое несколькими секундами, в образце возникает

суммарный магнитный момент, величина которого пропорциональна напряженности наложенного магнитного поля, а направление перпендикулярно направлению земного магнитного поля.

2) Поляризующее поле быстро снимается таким образом, что суммарный магнитный момент не успевает следовать за уменьшением результирующего поля и сохраняет направление, перпендикулярное земному магнитному полю.

3) Суммарный магнитный момент приобретает свою первоначальную величину и направление, которые он имел в земном поле, прецессируя с частотой $f=\frac{\psi\,H}{2\,\pi}$. Прецессируя, он индуцирует э.д.с. в измерительной катушке, навитой вокруг образца. Измеряя частоту э.д.с. индукции, можно определить с высокой точностью величину напряженности земного магнитного поля. Измерение частоты должно быть произведено за время релаксации, равное для образца воды нескольким секундам. Частота прецессии, равная приблизительно 2000 гц для воды, определяется с помощью прецизионного счетчика периодов за фиксированный интервал времени. Более детальное описание протонных магнитометров дано Ван Алленом [76] и Вальтером и Филлипсом [77].

Судовой протонный магнитометр, описанный Хиллом [78], широко использовался при морских измерениях вектора полной напряженности земного магнитного поля. Образец (бутылка с водой), поляризующая и измерительные катушки, предусилитель с выключателем поляризующего поля помещались в обтекаемой гондоле, буксируемой кораблем на семижильном кабеле длиной 210 м. На борту корабля находятся генератор с кварцевой стабилизацией частоты, служащий отметчиком времени, блок счетчиков, регистратор с перфорацией данных на ленту и блок управления. При скорости буксировки равной 18,5 км/час и длине кабеля 150 м гондола погружена на глубину около 9 м. Для исключения влияния магнитного поля корабля гондола должна находиться от корабля на расстоянии большем, чем удвоенная длина его корпуса. Ошибка измерения меньше одной гаммы, т. е. относительная ошибка измерений, не превышает $\frac{1}{50,000}$. Судовые протонные магнитометры имеются в продаже. Обсуждалось использование гелиевых и рубидиевых магнитометров для измерения вектора полной напряженности магнитного поля на дне океана в глубоководных его частях.

ХІІІ. ГРАВИМЕТРЫ

Харрисон [79] указал, что трудность измерения силы тяжести на море заключается в том, что ускорения, возникающие при качке корабля, значительно превышают желаемую точность измерения. Возмущающие ускорения, которые могут превосходить

100 000 млгал на поверхности, уменьшаются с глубиной. На глубине 75 м при измерениях на подводной лодке они, как правило, не превосходят 5000 млгал. Спектр возмущающих колебаний заключен в основном в области частот от 3 до 18 гц. Короткопериодные возмущения затухают с увеличением глубины быстрее, чем длиннопериодные. Производя наблюдение в течение значительного промежутка времени, можно уменьшить влияние возмущающих ускорений с помощью осреднения и введения поправок.

Инструментальная точность измерения должна быть выбрана с учетом точности навигации. Инструментальная ошибка порядка 2 млгал меньше ошибки, обусловленной неточностью навигации. Однако эта ошибка не должна превосходить 5 млгал, в противном случае ценность съемки значительно снижается.

Результаты гравиметрической съемки имеют какую-либо ценность, если только они могут быть сравнены с величиной нормальной силы тяжести для данной широты. Нормальная сила тяжести, определяемая по международной формуле, изменяется для средних широт на величину, приблизительно равную 1 млгал/км. Таким образом, навигационная ошибка в 1 км по широте эквивалентна ошибке измерения в 1 млгал. Тело, движущееся в широтном направлении по поверхности земли, испытывает воздействие силы Кориолиса, направленной по вертикали. В измеренную величину силы тяжести должна быть внесена поправка на эффект Этвеша. При точности измерения ± 2 млгала широтная составляющая скорости должна быть известна с ошибкой, не превышающей ± 5 км/час.

При измерениях на море используются три типа приборов. Сложный маятниковый прибор, разработанный Венинг-Мейнесом, в течение длительного периода времени успешно использовался для измерений на подводных лодках. Обработка данных сложна и утомительна. Прибор является механическим по своей природе. В другом типе прибора используется адаптация длиннопериодного, сильно демпфированного сейсмографа, где сила тяжести, воздействующая на массу М, уравновешивается упругой силой пружины. Приборами этого типа являются гравиметры Графа и Лакоста. Несмотря на то что по своей природе оба прибора являются механическими, в них используется электронная аппаратура отсчета, сервомеханизм и электронная регистрирующая аппаратура. В третьем типе приборов используется вертикальная проволока, к концу которой подвешена масса М, и сила натяжения которой равна Мд. Собственная частота индуцированных колебаний проволоки служит мерой силы тяжести. Электронная аппаратура используется для поддержания колебаний проволоки и измерения собственной ча-€ТОТЫ.

Спис, Браун [80] и Уорзель [81] использовали гравиметры, основанные на принципе вертикального сейсмографа, для измерения силы тяжести на подводных лодках и кораблях. Лозинской [82] предложен метод и разработана конструкция струнного гравиметра с автоматической регистрацией частоты колеблющейся проволоки.

В различных странах, как это обнаруживается при просмотре текущей литературы, проделана значительная работа по приспособлению различных типов приборов для измерения на корабле, по учету или минимизации ошибок и произведено сравнение точности и стабильности различных типов приборов.

XIV. ГИДРОЛОКАЦИЯ

Гидролокация имеет важные приложения в океанографии. Она используется в навигации, рыболовстве и для контроля за погружением океанографических приборов. Однако гидролокация менее известна, чем ее более поздний двойник — радиолокация. Применение радиолокации для обнаружения самолетов, морской и воздушной навигации и даже для контроля за скоростью на гонках общеизвестно, а гидролокация известна относительно небольшому кругу лиц.

Для обозначения измерения расстояния акустическими методами в приблизительно горизонтальном направлении англичане используют слово АСДИК, в США используется слово SONAR, в СССР — СОНАР. Интересной особенностью терминологии является то, что измерение акустическими методами глубины было названо «echo-sounding» как в США, так и в Англии. В СССР для этого используется термин «гидролокация».

Аппаратура для измерения расстояний акустическими методами в последние пять лет значительно усовершенствована. При просмотре открытой литературы не было обнаружено описания сколько-нибудь значительных достижений в этой области, заслуживающих того, чтобы они были продемонстрированы при описании какой-либо аппаратуры. Однако наблюдается значительная активность частных фирм. Макдональд [83] перечисляет имена и адреса около 50 производителей, которые хотели бы поставлять оборудование для океанографических исследований. Ритер и другие [84] перечисляют около 12 изготовителей аппаратуры для гидролокации в Англии, Японии и США. Несомненно, что эта аппаратура изготавливается и в других странах.

Недавние публикации, касающиеся гидролокации и заслуживающие упоминания, перечисляются ниже. Барнс [85] посвящает главу своей книги технике использования акустических методов при океанографических и морских биологических исследованиях. Такер [86] рассмотрел всю область применения акустических методов и изложил принципы работы современной

аппаратуры, а также и инженерные аспекты этого вопроса. Оффисер [87] изложил введение в теорию распространения звуковых волн в книге, предназначенной для студентов старших курсов университетов. Бреховских и Михальцев [88] широко обсудили роль акустических методов при океанографических исследованиях. Такер и Стабз [89] детально описали аппаратуру, работающую в узкой области частот, предназначенную для геологических исследований и рыболовства. Колдеуэй и другие [90] описали транзисторную портативную установку для аквалангистов. Кнот и Херси [91] описали аппаратуру высокой разрешающей способности и обсудили ее применение в батиметрии, морской геологии и биологии.

XV. ИЗМЕРИТЕЛЬ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАЛЛОВ

Фэбриканд и другие [92] использовали спектрометр поглощения для измерения малых концентраций металлов в морской воде. Измерения следов Си, Fe, Mn, Ni и Zn достаточно точны и просты и могут в силу этого служить стандартом при сравнении качества работ различных сотрудников в различных лабораториях. Этим методом можно за несколько секунд измерить концентрацию, равную одной десятибиллионной, причем достаточно иметь объем морской воды, меньший 1 см³, взятый прямо из пробоотборника.

Анализатор представляет собой модификацию инфракрасного спектрофотометра, используемую в качестве спектрометра поглощения. В спектрофотометр были внесены следующие изменения: источник инфракрасного излучения и его оптика заменены газоразрядной лампой с полым катодом, содержащей пары исследуемого элемента, с соответствующей оптикой. На место образца помещалась кислородно-водородная или кислородно-ацетиленовая аспираторная горелка прямого типа.

Свет газоразрядной лампы, состоящий из спектральных линий исследуемого элемента, проходил сначала через пламя горелки, затем через монохроматор, выделяющий одну из линий спектра, и попадал, наконец, на фотоумножитель. Анализируемый раствор засасывался горелкой в пламя, где вследствие высокой температуры происходил процесс распадения на атомы. Атомы исследуемого элемента, только они и никакие другие, поглощают свет газоразрядной лампы, уменьшая тем самым интенсивность света, падающего на фотоумножитель. Свет лампы прерывался 13 раз в секунду, выходное напряжение фотоумножителя усиливалось усилителем, работающим на частоте 13 гц. Это обеспечивало дальнейшее ослабление шумов, прошедших через монохроматор, источником которых является пламя горелки.

Для измерения абсолютных величин неизвестных концентраций металлов в морской воде были сняты калибровочные кривые (кривые зависимости ослабления интенсивности светового луча от концентрации измеряемого элемента). Для получения калибровочных кривых были приготовлены однопроцентные растворы исследуемых элементов, которые затем разбавлялись дистиллированной и морской водой. После калибровки прибора с помощью стандартных растворов исследуемый раствор вводился в пламя горелки и наблюдалось уменьшение интенсивности пучка света. Затем по калибровочным кривым определялось абсолютное содержание исследуемого элемента. Прибор использовался для измерений как на корабле, так и в лаборатории.

XVI. ДЕНСИТОМЕТРЫ

Ричардсон [93] описал устройство для измерения плотности и других величин, от которых может зависеть плотность. Прибор является простой модификацией камертона с электрическим возбуждением. Стабильность подобных устройств, являющихся эталонами высоты звука и используемых также в качестве отметчика времени, известна. Подобные устройства обладают высокой Q и, следовательно, очень стабильны по частоте. Частота колебаний камертона (или стержня) определяется его длиной, массой на единицу длины и упругостью материала, из которого он изготовлен. Зависимость частоты от температуры определяется изменением с температурой перечисленных выше величин. Было экспериментально обнаружено, что изменение частоты колебаний стержня из инвара, относительная величина которого больше чем $1 \cdot 10^{-6}$, обусловлено изменением температуры и, следовательно, легко может быть устранено. Ричардсон предложил заменить стержень трубкой, заполняемой водой, плотность которой хотят определить. Очевидно, что если трубка заполнена водой, то масса на единицу длины, а следовательно, и собственная частота будет зависеть от плотности волы.

Измерения показали, что может быть достигнута чувствительность порядка 50 гц на 1 г/см 3 при специальной форме трубки. Отмечается также, что величина Q не уменьшилась значительно и что предельная чувствительность имеет порядок 10^{-5} г/см 3 .

В приборе использовался стержень с собственной частотой порядка 1000 гц.

Для измерений in situ предлагается перегородить полую трубку таким образом, чтобы вода могла непрерывно накачиваться с помощью подходящего насоса в один из ее концов, и вытекать из другого.

XVII. ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА

Измерение толщины льда водоемов и его физических свойств представляет научный и практический интерес. Вероятно, наилучшим методом измерения толщины льда является использование звуковых импульсов, распространяющихся от верхней границы раздела воздух — лед и отраженных от границы лед — вода, или использование звуковых импульсов, распространяющихся в воде и отраженных как от границы раздела вода — лед, так и от границы раздела лед — воздух. В любом случае толщина льда может быть определена по разности времени прихода импульсов, равному времени прохождения импульса через удвоенную толщину льда, при условии, что скорость распространения звука во льду известна.

Богородский [94] приводит элементы теории и результаты некоторых экспериментов, касающиеся скорости распространения звука во льду пресноводных бассейнов и моря в зависимости от изменения кристаллической структуры, плотности и солености. Для измерений использовались импульсы частоты 500 гц, мощность которых составляла 150—200 вт, что обеспечивало глубину проникновения 1—5 м. Измерения были проведены в Советском Союзе на станции Северный полюс. Звуковой преобразователь имел непосредственный контакт с поверхностью льда. Для получения большей глубины проникновения необходимо использовать импульсы частоты и большей мощности.

XVIII. КАБЕЛЬ

В электронной аппаратуре для океанографических исследований обычно используется для передачи информации кабель. Готового кабеля, имеющего заданные параметры (механические и электрические), и желаемой длины часто не бывает на складах и он должен быть рассчитан и заказан. Так как в настоящее время в распоряжении фирм, изготавливающих кабель, имеется много новых материалов, то удовлетворительное решение этой проблемы ускорит предварительная консультация у лиц, занимающихся его проектированием. Маклоуд [95] приводит перечень многих факторов, влияющих на расчет кабеля для океанографических измерений. В информационном дополнении приведены расчетные данные кабеля. Дополнительные сведения о расчете кабелей и воздействии органической активности на кабель в море привели Леберт и др. [96] и Сноук [97].

ХІХ. ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Успехи в области телеметрии и автоматической обработки данных в течение последних нескольких лет обусловлены значительными усилиями в области разработки управляемых снарядов и космических исследований. Во многих отношениях проб-

лема получения информации и ее обработка при океанографических исследованиях («внутреннего» пространства) сходны с аналогичными проблемами в области исследований космического «внешнего» пространства. Океанографы и инженеры, сотрудничающие с ними при разработке электронной аппаратуры, использовали для своих целей многие разработки, выполненные в области управляемых снарядов и космических исследований. По существу при каждом океанографическом исследовании необходима телеметрическая передача данных и, как следствие, аппаратура для преобразования данных, соответствующая сложности и объему программы. Частично аппаратура, используемая океанографами, описана в цитируемых работах. Текущая доступная литература не содержит, по-видимому, хорошего исчерпывающего исследования по этому вопросу. Однако имеется несколько работ, которые особенно близки к этой важной области и могут быть полезны океанографам.

Рибле [98] недавно дал прекрасный обзор методов радиотелеметрии и используемой при этом аппаратуры для преобразования данных. Интересный пример использования методов телеметрии при океанографических исследованиях дан Снодграссом [99] и Доу [100]. Обзор автоматических систем для обработки данных при физических исследованиях дан Барлоу и другими [101].

ХХ. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗРАБОТКЕ АППАРАТУРЫ

В этом обзоре отмечаются следующие намечающиеся направления в разработке электронной аппаратуры для океанографических исследований. Порядок изложения ни в коей мере не связан с их относительной ценностью.

- 1. Для измерения ветровых волн разработано много различного типа специализированных электронных приборов. В настоящее время с помощью этой аппаратуры возможно получение большого количества статистических данных, которые, однако, дают мало сведений для дальнейшего изучения протекающих здесь физических процессов. Требуется дальнейшее развитие теории и более тесная связь теории и эксперимента. Эксперимент должен ставиться для проверки тех или иных теоретических выводов. Должна быть разработана аппаратура для измерения турбулентности в ветровых потоках над поверхностью океана.
- 2. Будущие электронные приборы должны обеспечивать быстрые и надежные измерения in situ таких величин, как глубина, температура, соленость, проводимость, направление и скорость течения, скорость распространения звука, плотность, концентрация растворенного кислорода, на больших глубинах с высокой точностью. В прошлом большинство измерений производилось на глубине порядка немногих сотен метров. Однако около трех

четвертей площади Мирового океана имеет глубину порядка 3-6 км. Фронт будущих исследований будет располагаться на глубинах порядка нескольких километров. Для некоторых целей требуется следующая или более высокая точность измерений: температура $\pm 0{,}002^\circ$, соленость $\pm 0{,}022\%$, плотность 10^{-5} г/см³. Для ознакомления с этим вопросом рекомендуется статья Притчарда [104].

3. Вес корпуса, защищающего электронную аппаратуру от давления воды при глубоких погружениях, часто в 100 раз превосходит вес электронной аппаратуры. Предполагается, что в будущем большинство электронных схем будет работать при произвольном давлении в пластиковом покрытии или погруженные в масло. Быокенен и Флэтоу [105] нашли, что некоторые образцы современных, легко доступных конденсаторов, сопротивлений, индуктивностей, радиоламп, транзисторов, газоразрядных ламп и батарей могут выдерживать давление до 700 кг/см² при незначительном изменении электрических характеристик, что соответствует глубине погружения до 6 км.

4. Глубоководные измерения в фиксированной точке производятся в настоящее время в течение очень короткого отрезка времени. В будущем необходимо разработать автономно работающие электронные приборы, которые могли бы работать и хранить данные при глубоководных измерениях по меньшей мере в течение года. Тогда станет возможным изучение сезонных вариаций. Наиболее трудными проблемами при разработке такой аппаратуры будут вопросы надежности, питания, хране-

ния данных и возвращения.

5. Представляется вероятным, что синоптические измерения над океаном в будущем будут важны по тем же самым причинам, по которым синоптическая метеорологическая информация необходима для понимания динамики погоды. Большинство синоптических наблюдений над океанами можно, вероятно, производить менее детально, чем наблюдения за погодой, так как большинство океанографических изменений происходит гораздо более медленно, чем метеорологические изменения.

6. В будущем будет уделено гораздо большее внимание разработке электронных приборов для океанографических исследований, регистрирующих информацию в цифровой форме, чтобы ее обработку и анализ можно было бы производить на электронных цифровых вычислительных машинах. Возрастает использование судовых вычислительных машин для обработки данных. Результаты стандартных измерений всех исследователей должны представляться в более или менее стандартизованной форме в центры хранения данных, где ими может воспользоваться каждый. Организация этих центров должна быть подобна организации Национального центра хранения океанографических данных США, описанного Лонгом [106].

ЛИТЕРАТУРА

- Л. А. Зенкевич. Deep-Sea Research 4, 70, 1956.
- 2. J. Lyman. Ocean and Oceanography. Encyclopedia Britannica 16, 681, 1960.
- 3. H. Barnes, Oceanography and Marine Biology A Book of Techniques. Macmillan, New York, 1959.
- 4. J. B. Hersey. Advances in Electronics and Electron Physics, 9, 239, 1957.
- 5. M. J. Tucker. Trans Inst. Naval Architects 98, 236, 1956.
- 6. M. S. Longuet-Higgins, D. E. Cartwright and N. D. Smith. Ocean Wave Spectra. Proc. NAS Conf., Easton, Maryland, 1961, p. III. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.
- 7. E. H. Boiten. Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., The Hague, 1960, I. 114,
- 8. W. Marks and R. G. Tuckerman. Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., The Hague, 1960 I, 100, 1961.
 - 9. M. J. Tucker. Deep-Sea Research 5, 185, 1959.
- 10. H. G. Farmer and D. D. Ketchum. Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., The Hague, 1960 I, 77, 1961.
- 11. C. G. Whittenbury, E. A. Huberand G. S. Newell. Rev. Sci. Instr. 30, 674, 1959.
- 12. M. J. Block. Private communication, 1961.
- 13. F. Shodgrass, W. Munk and M. I. Tucker. Trans. Am. Geophys. Union 39, 114, 1958.
- 14. Г. Ю. Кононкова. Изв. высшей школы. Физико-математические науки, 2, 228, 1958.
- 15. F. E. Snodgrass and R. R. Puts. Proc. 6th Conf. on Coastal Eng., Gainesville, Palm Beach, and Miami Beach, 1957, p. 209, 1958.
- 16. M. J. Tucker. Ocean Wave Spectra. Proc. NAS Conf., Easton, Maryland, 1961, p. 219. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.
- 17. M. Nakano. Intern. Oceanogr. Congr. New York, 1959, p. 774, 1959.
 18. J. M. Caldwell and L. C. Williams. Ocean Wave Spectra. Proc. NAS Conf., Easton, Maryland, 1961, p. 259. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nw Jersey, 1963.
- 19. R. B. Blackman and J. W. Tukev. The Measurement of Power Spectra, Dover, New York, 1959.
- 20. W. S. Richardson and C. J. Hubbard, Deep-Sea Research 6, 239, 1960.
- 21. E. C. La Fond. J. Marine Research (Sears Foundation), 19, I, 1961.
- 22. J. B. Hersey. Advances in Electronics and Electron Physics 9, 247, 1957.
- 23. V. A. Doig, V. A. Saull and R. A. Butler. J. Geophys. Research 66, 4263, 1961.
- 24. R. J. Urick, L. C. Pharo and E. Skudrzyk. Trans. Am. Geophys. Union 39, 237, 1958.
- 25. R. Gerard. Instrument-Automation Conf., New York, 1960, I. S. A. Preprint No. 50-NY60.
- 26. И. С. Никитин. Метеорология и Гидрология, 4, 47, 1957.
- 27. L. N. Ridenour Radar Systems Engineering. M. I. T. Radiation Lab. Ser., vol. I, p. 67 McGraw Hill, New York, 1947.
- 28. R. A. Robson and L. V. Cox. Proc. Inst. Radio Engrs. Australia 17, 419, 1956.
- 29. D. F. Bumpus, J. Chase, C. C. Day, D. H. Frantz, D. D. Ket-chum and R. C. Walden. J. Fisheries Research Board Can. 14, 931, 1957.
- 30. J. M. S n o d g r a s s. Instrument-Automation Conf., New York, 1960, I. S. A. Preprint No. 62—NY60.
- 31. Н. В. Авербах. Метеорология и Гидрология, 9, 41, 1959.
- 32. A. M. Patterson, Limnol. and Oceanogr. 3, 171, 1958. 33. J. B. Hersey, Advances in Electronics and Electron Physics, 9, 255, 1957.
- 34. J. C. S w allow. Deep-Sea Research 4, 93, 1957.

35. M. S w a 11 o w, Oceanus 7, No. 3, 2, 1961.

36. T. E. Poch apsky. I. S. A. Journal 8, 10, 34, 1961.

- 37. C. D. McClure, H. F. Nelson and W. B. Huckabay. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 42, 701, 1958.
- 38. W. C. Beckmann, A. C. Roberts and B. Luskin. Geophysics 14, 749, 1959.
- 39. J. B. Hersey, H. E. Edgerton, S. O. Raymond and G. Hayward. Instrument-Automation Conf., New York, 1960, I. S. A. Preprint No. 21--60.
- 40. J. B. Hersey. Advances in Electronics and Electron Physics, 9, 286, 1957.
- 41. H. Hoskins and S. T. Knott. J. Geol. 69, 330, 1961.
- 42. J. I. Ewing and G. B. Tirey. J. Geophys. Research 66, 2917, 1961.
- 43. J. Ewing and M. Ewing. J. Geophys. Research 66, 3863, 1961. 44. C. H. Savit, D. M. Blue and J. G. Smith. J. Geophys. Research 67, 1919, 1962,
- 45. M. Greenspan and C. E. Tschiegg. Rev. Sci. Instr. 28, 897, 1957.
- 46. C. E. Tschiegg and E. E. Hays. J. Acoust. Soc. Am. 31, 1038,
- 47. L. Dulberger. Electronics 34, 41, 1961.
- 48. J. D. S h a f f e r. Rev. Sci. Instr. 31, 1318, 1960.
- 49. G. Shumway. Geophysics 21, 305, 1956.
- 50. G. Shumway. Geophsics 25, 451, 659, 1960.
- 51. S. Q. D u n t l e v. Committee on Undersea Warfare, NAS NRC Publ. No.
- 473, 79, 1957. 52. G. L. Clark. Proc. 9th Pacific Sci. Congr. (Oceanography) Bangkok, Thailand, 1957, 16, 239, 1958.
- 53. R. W. Holmes and J. M. Snodgrass. J. Marine Research 19, 40, 1961.
- 54. G. L. Clark and G. K. Wertheim. Deep-Sea Research 3, 189, 1956.
- 55. J. E. Tyler. Proc. 9th Pacific Sci. Congr. (Oceanography) Bangkok, Thailand, 1957 16, 237, 1958.
- 56. М. В. Козлянинов. Бюллетень океанографической комиссии 2, 55, 1958.
- J. A. C. Nicol. J. Marine Biol. Assoc. U. K. 37, 33, 1958.
 T. Sasaki, N. Okami, G. Oshiba and S. Watanabe. Oceanogr. Works in Japan 5, No. 2, 1, 1960.
- 59. T. Sasaki, S. Watanabe, G. Oshiba and N. Okami. Records of Oceanogr. Works in Japan, Spec. No. 4, 197, 1960.
- 60. D. W. Pritch ard. Conf. on Phys. and Chem. Properties of Sea Water. Easton, Maryland, 1958, NAS — NRC Publ. No. 600, 146, 1959.
- 61. E. W. Schiemer and D. W. Pritchard. Tech. Rept. 25 Chesapeake Bay Inst. (Johns Hopkins), 1961.
- 62. N. L. Brown and B. V. Hamon, Deep-Sea Research 8, 65, 1961.
- 63. Г. Г. Хунджуа. Бюллетень АН СССР. Геофизическая серия, № 2, 176, 1961.
- 64. J. Williams. Instrument-Automation Conf., New York, 1960, I. S. A. Preprint Number 43-NY60.
- 65. Radio Aids to Maritime Navigation and Hydrography. Intern. Hydrogr. Bur. (Monaco). Spec. Publ. No. 39, 1956; Suppl. Papers: I (1960), 2 (1960) and 3 (1961).
- 66. Radio Aids to Maritime Navigation and Hydrography. (Operational Reports), Intern. Hydrogr. Rev. Suppls. 1 (1960) and 2 (1961). 67. W. P. Frantz, W. N. Dean and R. L. Frank. IRE Natl. Convention
- Record. Pt 8, 79, 1957.
- 68. W. N. Dean and W. F. Rice. Tech. Papers 6th Ann. East Coast IRE Conf. on Aeronaut. and Navigat. Electronics 3.5—I, 1959.
- 69. R. H. Doherty, G. Hefley and R. F. Linfield, Proc. I. R. E. 49, 1659, 1961,
- 70. W. O. Henry. J. Geophys. Research 65, 506, 1960.

- 71. C. J. Casselman and M. L. Tibbals. Proc. 2nd Natl. Convention: on Military Electronics (P. G. M. E., I. R. E.), Washington D. C., 1958, p. 385, 1958.
- 72. C. J. Casselman, D. P. Heritage and M. L. Tibbals, Proc. I. R. E. 47, 139, 1959.
- 73. J. W. Brogren, A. W. Coven and M. F. Williams. Frequency I. No. 3, 24, 1963.
- 74. H. E. Edgerton and J. V. Cousteau. Rev. Sci. Instr. 30, 1525, 1959.
- 75. H. E. E d g e r t o n, Electrinics 30, 93 (1960).
- 76. L. J. Cahill, Jr. and J. A. Van Allen. J. Geophys. Research, 61, 547, 1956.
- 77. G. S. Walters and G. Phillips. Geophys. Prospecting 4, 1, 1956.
- 78. M. N. H i l l. Deep-Sea Research 5, 309, 1956.
- 79. J. C. Harrison. Methods and Techniques in Geophys. 1, 211, 1960.
- 80. F. N. Spiess and G. L. Brown. Trans. Am. Geophys. 39, 391, 1958.
- 81. J. L. Worzel. J. Geophys. Research 64, 1299, 1959.
- 82. А. М. Лозинская. Бюллетень АН СССР, Геофизическая серия, № 3.
- 263, 1960. 83. W. W. MacDonalded., Electronics (Buyers'Guide and Ref. Issue) 34, 118, 1961.
- 84. J. E. Ryther, C. S. Yentsch and G. H. Lauff. Limnol. and Oceanogr. 3, 357, 1958.
- 85. H. Barnes. Oceanography and Marine Biology A Book of Techniques, p. 72. Macmillan, New York, 1959.
- 86. D. G. Tucker, J. Brit. Inst. Radio Engr. 16, 243, 1956.
- 87. C. B. Officer. Sound Transmission. MsGraw-Hill, New York, 1958.
- 88. Л. М. Бреховских и И. Ю. Михальцев. Вестник АН СССР, 30, 28. 1958.
- 89. M. J. Tucker and A. R. Stubbs. Brit. J. Appl. Phys. 12, 103, 196!. 90. I. R. Colldeweih, E. L. Walls and R. D. Lee. Electronics 34, 37, 1961.
- 91. S. T. K n o t t and J. B. H e r s e y. Deep-Sea Research 4, 36, 1956.
- 92. B. P. Fabricand, R. R. Sawyer, S. G. Ungar and S. Adler. Trace Metal Concentrations in the Ocean by Atomic Absorption Spectroscopy. Hudson Labs. Contrib. No. 144 (Columbia University), to be published in Geochim. et Cosmochim. Acta.
- 93. W. S. Richardson. Conf. on Phys. and Chem. Properties of Sea Water. Easton, Maryland, 1958, NRC — NAS Publ. No. 600, 1959.
- 94. В. В. Богородский. Проблемы Арктики 4, 65, 1958.
- 95. K. W. McLoad. Instrument-Automation Conf., New York, 1960. I. S. A. Preprint Number 28-NY60-I.
- 96. A. W. Lebert, H. B. Fischer and M. C. Biskeborn. Bell System Tech. J. 36, 189, 1957.
- 97. L. R. S n o k e. Bell System Tech. J. 36, 1095, 1957.
- 98. H. B. Riblet. Advances in Electronics and Electron Phys. 11, 287, 1959.
- 99. J. M. Snodgrass. Natl. Telemetering Conf. Baltimore, Maryland, 1958, p. 139, 1958.
- 100. W. Dow. Deep-Sea Research 7, 142, 1960.
- 101. G. E. Barlow, J. A. Ovenstone and F. F. Thonemann. Advances in Electronics and Electron Physics, 41, 185, 1959.
- 102. W. J. Lawless. Advances in Electronics and Electron Physics, 10, 153, 1958.
- 103. G. E. R. Deacon. Ocean Wave Spectra. Proc. NAS Conf. Easton, Maryland, 1961, p. 3 Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.
- 104. D. W. Pritchard. Problems in Oceanographic Instrumentation. Chesapeake Bay Inst., Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.
- 105. C. L. Buchanan and M. Flato. I. S. A. Journal 8, No. 11, 38, 1961.
- 106. F. J. Long. Proc. U. S. Naval Inst. 137, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предис	повие к переводу Введение Регистраторы поверхностных волн Судовой волнограф Буйковый автономный волнограф Буйковый волнограф с телеметрической передачей информации
1.	Введение
11.	Регистраторы поверхностных волн
	Судовой волнограф
	Буйковый автономный волнограф
	Буйковый волнограф с телеметрической передачей информации
	Dynkobbin bolinolpaw c lellemelphacekon nepedaaen nhwobmanni
	разового действия
	разового действия
	Емкостный датчик для регистрации волн
	Телеметрический поплавковый волнограф с емкостным латчиком
	Береговой волнограф с датчиком давления
	Термоэлектрический волнограф
	Анализ волнограмм
III.	Анализ волнограмм
	Прибор для вычерчивания карт изотерм
	Прибор для прослеживания изотерм
IV.	Температурные измерения
	Скважинный термометр
	Измерение термической микроструктуры
	Измерение термической микроструктуры
V.	Приборы для измерения течений
	Приборы для измерения течений
	Дрейфующий радиобуй Телеметрический измеритель течений
	Телеметрический измеритель течений
	Радиоактивный измеритель течений
	Прибор для измерения турбулентности
	Поплавки нейтральной плавучести Аппаратура для сейсмоакустических исследований
VI.	Аппаратура для сейсмоакустических исследований
	Локатор для геологического картирования
	Аппаратура сейсмического профилирования
	Звуковой сампер
	Произа морская сейсмическая аппаратура
VII	Измерители скорости звука
	Звуковой сампер Прочая морская сейсмическая аппаратура Измерители скорости звука Импульсный измеритель скорости Резонансный измеритель скорости
	Резонансный измеритель скорости
	Резонансный измеритель скорости звука в осадках
VIII	Гидрофотометры
V 111.	Гидрофотометры
	Глубоководный батифотометр
	Пругие гидрофотометры
īV	Другие гидрофотометры
IA.	индуктивные солемеры
A.	Навигационные системы
	_ *
	Омега

XI.	Индика	аторь	і глу(бин	ы															•			49
	Сонар для фиксации датчиков на определенном													I	рá	1							
																							_
Ι	Трибор	ДЛЯ	изме	рен	КИІ	ΓЛ	уби	Η												•			5
XII.	Магнит	гомет	ры	٠.																			5
	Гравим																						5
	Гидрол																						5
XV.	Измері	итель	малі	ых	кон	цеі	нтра	аци	łй	М	ет	ал.	IOI	В									-5
XVI.	Денсит	омет	ры				٠.																-5
	Измере																						5
	Кабель																						_
	Телеме																						
	Тенден																						5

А. Шули

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА В ОКЕАНОГРАФИИ

Редактор \mathcal{O} . Π . $\mathit{Бреховских}$ Худож. редактор B . A . $\mathit{Евтихиев}$ Техн. редактор J . A . $\mathit{Липатова}$ Корректор H . H . $\mathit{Оршер}$

Сдано в набор 26/IX 1966 г. Подписано к печати 5/I 1967 г. Бумага $60 \times 90^{1}/_{16}$. Бум. л. 2. Печ. л. 4. Уч.-изд. л. 4,1. Тираж 1500 экз. Индекс ОЛ-36. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. В-53, 2-я линия, д. № 23. Заказ № 1238. Цена 30 коп.

Типография им. Котлякова издательства «Финансы» Комитета по печати при Совете Министров СССР. Ленинград, Садовая, 21.