



В.П. Коровин

**ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ
НАБЛЮДЕНИЯ
В ПРИБРЕЖНОЙ
ЗОНЕ МОРЯ**



ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Океанологические наблюдения в прибрежной зоне моря» для студентов гидрометеорологических специальностей, специальности 061100 – Менеджмент организации, специализации 061119 – Комплексное управление прибрежной зоны. В учебном пособии рассмотрены современные методы океанологических исследований, технические средства для проведения океанографических работ, основные требования к их эксплуатации и возможности их выбора при выполнении океанологических наблюдений, а также дано описание наиболее широко используемых приборов и автоматических информационно-измерительных систем. Понятно, что невозможно привести описание всего многообразия океанологической аппаратуры, существующей в настоящее время во всем мире. Поэтому в работе сделан упор на рассмотрение общих принципов и теоретических основ физических методов, на базе которых создается подобная аппаратура, а также дано описание основных типов океанологических измерительных приборов, систем и технических средств, преимущественно стандартных, или наиболее типичных для данного типа аппаратуры.

В процессе работы над учебным пособием автор использовал книги В.П. Коровина «Зарубежные технические средства в океанологии», В.П. Коровина «История океанологических исследований», В.П. Коровина и В.М. Тимеца «Методы и средства гидрометеорологических измерений», а также наставления и руководства по проведению наблюдений в море, справочники по океанографическим и гидрологическим приборам и труды различных отечественных и зарубежных мореведческих институтов и учреждений.

Автор выражает благодарность профессору Л.Н. Карлину, профессору И.А. Степанюку и коллективу кафедры «Комплексное управление прибрежной зоны» Российского государственного

гидрометеорологического университета за ценные замечания и советы по содержанию учебного пособия. Автор приносит также искреннюю благодарность Т.В. Валовой за техническую помощь в оформлении рукописи.

Автор надеется, что учебник «Оксанологические наблюдения в прибрежной зоне моря» будет также полезен специалистам, работающим в области Комплексного управления прибрежной зоны, геофизики, географии и экологии, инженерам-океанологам, гидрологам, гидротехникам, изыскателям.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед человечеством, особенно в странах или регионах, обладающих морским побережьем, встала проблема развития системы Комплексного управления прибрежной зоной – КУПЗ (которую еще называют интегрированной системой управления прибрежными территориями), направленной на оптимизацию природопользования в прибрежной зоне. Необходимость решения подобной проблемы была отмечена в решениях Международной конференции Организации Объединенных Наций по охране окружающей среды в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Вполне понятно, что КУПЗ представляет собой непрерывный процесс выработки и принятия решений для гармонизации социально-экономического развития прибрежно-береговых регионов в целях их устойчивого развития.

Методология КУПЗ объединяет в себе береговую полосу и прилегающую к ней прибрежную морскую акваторию, что дает возможность учитывать факторы взаимодействия не только природных процессов, но и экономических тенденций, правовых отношений и других норм, возникающих в процессе освоения морских ресурсов и развития береговой зоны. Это означает, что в ведение КУПЗ входят координация различных видов деятельности, разработка политики использования и стратегия развития прибрежной зоны.

Таким образом, одной из задач КУПЗ является пространственная интеграция, направленная на развитие комплексного подхода к изучению природных процессов (море – суша – атмосфера), т. е. здесь необходимо кроме всего прочего учитывать гидрометеорологические, в том числе и чрезвычайные природные ситуации. Для этого необходимо проводить теоретические и натурные исследования океанографических, гидрохимических, геологических и гидробиологических параметров, связанных с климатическими процессами, а также с антропогенной нагрузкой, эвтрофикацией и загрязнением прибрежной зоны.

Океанологические наблюдения, ведущиеся в динамически неустойчивой стратифицированной среде, физико-химические параметры которой изменяются как во времени, так и в пространстве с различной дискретностью, выдвигают жесткие требования к организации, методике и технике производства наблюдений. Пренебрежение к этим требованиям может привести к ошибочной интерпретации результатов наблюдений. Исходя из существующих представлений об особенностях изменчивости океанологических условий в прибрежной зоне, решается обширный круг задач, которые касаются определения продолжительности и пространственно-временной дискретности измерений, их репрезентативности, выбора аппаратуры с оптимальными динамическими характеристиками, возможной скорости перемещения измерительной аппаратуры в исследуемой среде.

Поэтому при развитии КУПЗ на передний план выходят следующие основные задачи:

- разработка методики организации и проведения стационарных и экспедиционных океанологических наблюдений;
- разработка методики использования современных методов и средств, необходимых для проведения океанологических наблюдений;
- разработка методики обработки результатов наблюдений;
- разработка новых методов и аппаратуры для проведения океанологических наблюдений;
- разработка методик сбора, хранения и передачи океанологической информации.

Для получения более качественной и полной информации о природе процессов, протекающих в прибрежной зоне, в настоящее время важной проблемой является вопрос о создании автоматической информационно-измерительной системы для проведения систематических долгосрочных наблюдений. Подобная система должна проводить измерения в приводном слое, а также гидрологических, гидрохимических, геологических и гидробиологических процессов, т.е. ключевых элементов для осуществления мониторинга в глобальных масштабах по всей прибрежной акватории. Система, по возможности, должна использовать максимально автоматизированные методы измерений. Основные координацион-

ные элементы должны включать в себя численные оперативные модели, управление данными и информацией, а также международную координацию и надзор. И, конечно же, система должна быть эволюционной, т.е. видоизменяться по мере увеличения наших знаний об объекте исследований и появления новых технических разработок, указывающих новые пути к достижению целей. Кроме того, важной необходимостью является также то, чтобы новые информационно-измерительные системы могли давать получаемую информацию в реальном времени для ее оперативного использования в моделях и прогнозах. Но, к сожалению, в настоящее время затруднительно сформулировать полные и подробные требования к системе. В какой-то мере это объясняется и недостаточностью наших знаний о многообразии процессов, протекающих в прибрежной зоне.

Глава 1

ПРОБЛЕМА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

1.1. Цели и задачи наблюдений

Океанографические работы – это комплекс измерений и обработки, производимых в океане (море), с целью получения информации об их состоянии и протекающих в них процессах. Целью подобных работ в данном случае является комплексное изучение природных условий исследуемого района прибрежной зоны моря и получение информации, необходимой для принятия экономически целесообразных и технически обоснованных решений при разработке и реализации намечаемых и возможных видов эксплуатации.

Задачами наблюдений могут быть:

- обеспечение достоверными данными и надежными расчетными параметрами планирования, проектирования, строительства и эксплуатации различных сооружений в прибрежной зоне моря;
- проведение поисково-разведочных работ, прогнозирование изменений окружающей среды под воздействием строительства и эксплуатации там различных промышленных объектов, в том числе и нефтегазовых промыслов и погрузо-разгрузочных портов;
- представление оперативной информации обслуживаемым организациям;
- накопление и обобщение объективных режимных данных.

Океанографические наблюдения в исследуемом районе, как правило, должны начинаться, предваряя другие виды изысканий. Их начинают еще на стадии планирования использования данной акватории и продолжают непрерывно, включая и период проектирования, и, как показывает практический опыт, период эксплуатации.

Состав и объем океанографических работ определяется индивидуально для каждого конкретного случая и зависит от планируемого способа эксплуатации исследуемого объекта, физико-географических условий данного района, его изученности и даже стадии эксплуатации.

Состав океанографических работ в прибрежной зоне, в общем случае, включает в себя:

- сбор и анализ имеющейся в различных учреждениях и организациях нужной информации по колебаниям уровня моря, поверхностному волнению, температуре воды, течениям, гидрохимическим характеристикам, ледовому режиму, метеорологическим элементам, литодинамике и гидробиологическим характеристикам;

- организацию и проведение в необходимом и разумном объеме натурных наблюдений и исследований вышеперечисленных параметров в данном районе;

- обработку и систематизацию полученных материалов наблюдений;

- определение расчетных параметров.

Значения основных океанографических характеристик, включающих, например, колебания уровня моря, степень волнения, температуру воды, скорости и направления течений, скорости и направления дрейфа льда, скорости и направления ветра заданного периода повторяемости, в том числе и один раз в 50 и 100 лет, обычно находят по многолетним рядам наблюдений или путем анализа синоптического архива и соответствующих расчетов, основанных на гидродинамическом моделировании. Последнее используется в случае отсутствия многолетних рядов наблюдений.

И уже в результате проведения предварительных работ должны быть получены определенные данные об элементах гидрометеорологического режима.

Сведения о колебаниях уровня моря должны включать в себя: график обеспеченности суммарного уровня по среднегодовым и максимальным за год уровням; график обеспеченности периодической составляющей уровня (в случае, если отсутствуют достаточно длинные ряды наблюдений); экстремальные изменения барической составляющей уровня; данные по среднемноголетнему изменению уровня; общую характеристику приливо-отливных колебаний; экстремальные высоты уровня обеспеченностью 1 и 99 %; привязку нуля поста к общегосударственной триангуляционной сети.

Данные о поверхностном волнении должны содержать результаты определений длины, высоты, периода волн в штормах повторяемостью от 1 раза в год до 100 лет, приведенных к факти-

ческой глубине в районе исследований, обеспеченностью (в системе волн расчетного шторма) 50, 1, 0,1 %, наибольшего превышения гребня волны над расчетным уровнем моря в шторме, возможное 1 раз в 50 и 100 лет; волноопасных направлений; повторяемости волнений по месяцам с градацией по высоте (общая и с разбивкой по направлениям); средней и максимальной продолжительности штилей и волнений менее 3 баллов с разбивкой по месяцам; повторяемость штилевых дней по месяцам; режимных функций высоты и периода волн; функции распределения индивидуальных высот и периодов волн.

Данные о температуре воды должны быть представлены средними и экстремальными (по месяцам) значениями на стандартных горизонтах.

В результате наблюдений за течениями должны быть представлены: повторяемость скоростей и направлений течений, измеренных не менее чем на трех горизонтах; данные по скоростям и направлениям суммарных течений, возможных 1 раз в год, 5, 10, 25, 50 и 100 лет, скорость течений подо льдом обеспеченностью 1 % (1 раз в год) по графику обеспеченности максимальных средних значений в периоды возможного наваливания льда на промышленные и гидротехнические сооружения; общая схема течений в районе исследований с детализацией по сезонам не менее чем на трех горизонтах, а для поверхностного горизонта – схема с детализацией по типичным ветровым ситуациям.

На морях с возможной ледовой обстановкой должны быть представлены границы льда и их годовые изменения (среднемесячные и экстремальные за период наблюдений); пределы прочности льда на сжатие, изгиб и раздробление с учетом местного сжатия; модуль деформации (по ряду наблюдений – не менее 5 лет); среднемесячные и экстремальные (по месяцам) характеристики толщины льда; максимальная толщина льда обеспеченностью 1 % (1 раз в 100 лет); соленость льда; температура льда; характеристика сплоченности льда; характеристика торосистости льда; данные по формам ледовых образований; максимальная скорость дрейфа; площадь; средний размер; длина; характеристики припая; максимальная скорость подвижек припая; средние и экстремальные значения ширины припая по месяцам; сроки, средняя,

максимальная и минимальная продолжительность ледового и навигационного периодов; сведения по обледенению судов и прибрежных сооружений (гидротехнические сооружения, нефтяные вышки и т.д.).

Сведения о гидрохимических элементах должны быть приведены по результатам ряда сезонных наблюдений, выполненных в течение не менее 1 года и включать в себя данные о содержании растворенного кислорода, водородном показателе pH, биогенных элементах, общей щелочности, свободной углекислоты, магниевых смесей в пересчете на ион Mg^{2+} , сульфатов в пересчете на ион SO_4^{-2} , насыщение воды газами (кислород, сероводород, углекислый газ, хлор), нефтяные углеводороды (растворенные, нефтяная пленка), тяжелые металлы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенол (карболовая кислота), распределение солености на стандартных горизонтах.

Состав литодинамических наблюдений может дополняться и детализироваться в зависимости от целей и задач исследований, но в общем виде они включают в себя плановые характеристики деформаций пляжа и подводного склона (границы зон эрозии и их аккумуляции); годовые и многолетние изменения профиля пляжа и подводного склона; прогнозную амплитуду и интенсивность плановых и вертикальных деформаций пляжа и подводного склона.

Результаты наблюдений за ветром должны нести информацию: для разных интервалов скоростей и направлений с различной повторяемостью как во времени (от года до 100 лет), так и по измеряемому осреднению (от 3–5 с до 10 мин); средней и максимальной продолжительности ветровых ситуаций по различным интервалам скоростей (0 – 5, 6 – 10, 11 – 15, 16 – 20, 21 – 30 и более 30 м/с); по месячной обеспеченности ветра с разбивкой по интервалам скоростей и направлениям; скорости ветра обеспеченностью 1 раз в 100 лет в период ледохода; вертикальном профиле скорости ветра в слое до 100 м; спектральных характеристиках ветра.

Сведения о температуре воздуха должны включать в себя: среднемесячные и экстремальные (по месяцам) значения температуры; температуру самой холодной пятидневки; даты перехода температуры через 0 °C; сведения о ходе среднесуточных температур в зимнее время.

В результате наблюдений над метеорологической видимостью необходимо получить повторяемость ограниченной видимости (по месяцам) и непрерывную продолжительность ограниченной видимости (по месяцам).

Как видно из вышеперечисленных видов гидрометеорологических наблюдений и результатов их обработки, они охватывают достаточно широкий круг задач по обеспечению работ в прибрежной зоне моря, но в каждом конкретном случае из этого перечня необходимо выбрать те параметры, которые отвечают целям и задачам исследований. Кроме того, опыт морских прибрежных исследований показывает, что зачастую возникают практические задачи, требующие определения дополнительных характеристик гидрометеорологического режима, не вошедших в приведенный выше перечень.

Так, например, по поверхностному волнению иногда требуются данные по среднегодовому количеству волн с градациями по высотам, периодам и направлениям; по распределению элементов группового строения волн. По колебаниям уровня моря необходимы месячные, годовые и за навигационный период средние, максимальные и минимальные уровни; ход уровня, предвычисленный по часам приливной фазы в заданной точке на конкретный период времени; продолжительность стояния высоких и низких уровней, среднего и наибольшего; максимальный уровень моря при шторме повторяемостью 1 раз в 100 лет и высоте волны с обеспеченностью 0,1 %. По результатам наблюдений за течениями нужны ежемесячные розы поверхностных и придонных течений в исследуемом районе; вертикальная структура течений, включая эпюры средних и максимальных скоростей. Данные наблюдений за обледенением необходимо представить в виде количества дней, массы льда на 1 м² горизонтальной и вертикальной поверхности и толщины стенки гололеда на высоте от водной поверхности 0, 10, 20, ..., 90 м.

Все эти вышеперечисленные режимные характеристики могут удовлетворять практически всем запросам организаций, занимающихся Комплексным управлением прибрежной зоной моря.

Таким образом, океанографические работы в общем виде, в данном случае, предназначены для изучения процессов, протекающих в водной среде исследуемой акватории моря, установле-

ния характерных черт, форм проявления и степени изменчивости этих процессов во времени и пространстве, а также для выявления причин их вызывающих. Данные этих наблюдений позволяют определить максимальные значения параметров основных гидрометеорологических элементов, возможных один раз в определенное число лет, а также их средние значения за каждый месяц года, каждый сезон и в целом за год и, кроме того, и межгодовые колебания.

Большое значение имеет также возможность определения экстремальных значений за возможно больший период времени. Для получения подобных характеристик и обеспечения заинтересованных организаций постоянной оперативной информацией необходимо качественно и взвешенно распоряжаться всем имеющимся арсеналом средств, который включает: анализ фондовых материалов; организацию и проведение натурных наблюдений и исследований, выполненных с максимальным использованием стандартных методов наблюдений с помощью поверенной измерительной аппаратуры, что обеспечивает единообразие и сравнимость получаемой информации – требования, являющиеся необходимыми условиями ее научного обобщения и практического применения; использование существующих расчетных методов; применение методов физико-математического моделирования.

Для измерения характеристик взаимосвязанных элементов гидрометеорологического режима и для оценки роли факторов, влияющих на тот или иной океанографический параметр, требуются комплексные, одновременно производимые наблюдения. Густота вновь организуемых пунктов наблюдений зависит от пространственной изменчивости изучаемого явления. Чем больше изменчивость, тем гуще должна быть сеть наблюдений.

Продолжительность и сроки гидрометеорологических наблюдений должны определяться необходимостью установления надежных связей с многолетними данными стационарных гидрометеорологических станций, а также требованиями к расчетным характеристикам, предусматриваемых целями и задачами исследований.

1.2. Виды океанографических работ

В зависимости от назначения все океанографические работы можно подразделить на стационарные, эпизодические, попутные и специализированные.

Стационарные наблюдения необходимы для получения наиболее полных рядов наблюдений за всем многообразием процессов, протекающих в данной точке или в данном районе, а также для исследования многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик. Эти наблюдения, выполняемые непрерывно или систематически повторяемые через определенные, по возможности более короткие, промежутки времени в течение длительного времени в закрепленных местах за одними и теми же элементами в единые сроки, позволяют получать репрезентативные гидрометеорологические данные как во времени, так и в пространстве.

Непосредственно в прибрежной зоне на морях нашей страны океанографические наблюдения производятся на береговых и островных гидрометеорологических станциях (ГМС) и постах (ГМП). Наблюдения за гидрометеорологическими элементами у берега зачастую дополняются наблюдениями в удалении от берега на рейдовых станциях, океанографических разрезах и при выполнении океанографических съемок.

Морские береговые и островные ГМС и ГМП входят в систему Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). В зависимости от объема выполняемых наблюдений и работ ГМС и ГМП бывают 1, 2 и 3-го разрядов.

Морские гидрометеорологические станции 1-го разряда являются крупными учреждениями с инженерным составом, имеющими малотоннажные научно-исследовательские суда. Эти станции проводят исследования на закрепленной акватории моря. К станциям 1-го разряда могут быть прикреплены морские ГМП.

Морские ГМС 2-го разряда – станции с техническим персоналом и наблюдательским составом. Это основные станции, производящие полный комплекс стандартных морских гидрометеорологических наблюдений. В состав некоторых станций могут входить малые плавсредства для проведения рейдовых наблюдений.

Морские ГМС 3-го разряда проводят ограниченный комплекс стандартных гидрометеорологических наблюдений с небольшим наблюдательским составом.

Морские ГМП 1, 2 и 3-го разрядов являются постоянными или временными пунктами наблюдений за выборочными гидрометеорологическими элементами силами одного или двух наблюдателей. Наблюдения на ГМП могут быть оперативными (предназначенными для оперативной информации и прогнозов) или вековыми (предназначенными для исследования многолетней изменчивости гидрометеорологических элементов и ведущихся неограниченно долго).

Вековые наблюдения на ГМС и ГМП кроме своего прямого назначения являются реперными при исследовании пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических элементов (как минимум, температура и соленость воды, уровень, ледовый и гидрохимический режимы и т.п.). Эти наблюдения имеют также важное оперативное назначение. На некоторых станциях производятся также вековые наблюдения за экологическим состоянием прилегающей акватории.

Для обеспечения достоверности и репрезентативности наблюдений на ГМС и ГМП они должны выполняться по единой стандартной методике с помощью исправных и поверенных приборов. Наблюдения производятся в стандартные синоптические сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч по среднегринвичскому времени (СГВ). На станциях, не входящих в основную сеть, сроки наблюдений устанавливаются территориальными управлениями Росгидромета, куда обязательно включаются сроки, ближайшие к 8 и 20 ч поясного декретного (зимнего) времени. За срок наблюдений принимается интервал времени продолжительностью 10 мин, заканчивающийся точно в указанный час.

На станциях основной сети в указанные восемь сроков выполняются следующие обязательные метеорологические наблюдения: температура и влажность воздуха, параметры ветра и атмосферного давления, метеорологической видимости, определение количества и форм облаков, высоты нижней кромки облачности. В сроки, ближайшие к 8 и 20 ч поясного зимнего времени, измеряют количество осадков, выпавших за ночную и дневную половину суток

(станции 2-часового пояса производят измерения количества осадков в сроки 9, 15 и 18 ч). Наблюдения за состоянием погоды и атмосферными явлениями ведутся непрерывно в течение суток, а за опасными и особо опасными явлениями – в соответствии с указаниями территориальных управлений Росгидромета. При наличии снежного покрова ежедневно производится измерение его высоты и определение характеристик его состояния. На большинстве станций производят наблюдения над гололедно-изморозевыми условиями в течение всего времени существования отложений.

На этих же станциях производятся и обязательные океанографические наблюдения, заключающиеся в измерении колебаний уровня моря, температуры и солености воды, элементов поверхностного волнения в основные синоптические сроки – 0, 6, 12 и 18 ч по СГВ. Другие океанографические наблюдения и работы, ледовые наблюдения (включая профильные), маршрутные съемки льда производятся в светлое время суток. Сроки наблюдений в этом случае записываются по местному времени (поясное время +1 ч, а с переходом на летнее время +2 ч).

Время выполнения метеорологических и океанологических наблюдений не должно различаться более чем на полчаса, причем океанологические, из-за их специфичности, производят раньше метеорологических. В особых случаях, когда наблюдения над некоторыми элементами на данной станции невозможно выполнить или они не являются репрезентативными для всей прилегающей акватории, организуют наблюдения в отдельных, наиболее интересных в гидрометеорологическом отношении, районах, на дополнительных постах. Результаты наблюдений записываются в соответствующие графы наблюдательских книжек.

На устьевых станциях, которые располагаются в устьевой области реки, наблюдения за элементами морского гидрологического режима производятся на постоянных или временных пунктах наблюдений. Места наблюдений, как правило, организуются на морском крае дельты. В этих пунктах производятся океанографические наблюдения в объеме морской станции 2-го разряда или в объеме морского гидрометеорологического поста. В связи со специфическими условиями устьевой области морские наблюде-

ния и работы на станции могут дополняться необходимыми гидрологическими наблюдениями и работами.

Первичная обработка результатов наблюдений, как правило, заключается во введении поправок в отсчеты по приборам, вычислении, при необходимости, средних значений и стандартных отклонений; снятии отсчетов с лент самописцев; зарисовке и оформлении карт-бланков ледовых наблюдений; вычерчивании графиков профильных ледовых наблюдений и т.п. По окончании первичной обработки по этим данным составляются таблицы, донесения об опасных и особо опасных явлениях, производят кодирование результатов наблюдений, их передачу по каналам телеметрии в пункты сбора информации, а также запись ее на магнитный носитель.

Такой большой объем требуемых наблюдений на морских береговых и островных ГМС и ГМП, необходимых для комплексного управления прибрежной зоной моря, отражает, например, более чем полувековой отечественный опыт освоения морских нефтегазовых месторождений и многолетний опыт других нефтедобывающих стран.

Рейдовая станция – океанографическая станция (т.е. географическая точка в Мировом океане, где производятся океанографические работы) в прибрежной зоне моря с постоянными географическими координатами, выполняющаяся регулярно. Рейдовые гидрометеорологические наблюдения производятся с целью:

- изучения гидрометеорологического режима прибрежной шельфовой зоны моря, природных явлений и процессов, протекающих на этой акватории;

- оперативного обеспечения службы прогнозов, портовых служб и других заинтересованных организаций, в том числе и в целях КУПЗ, информацией о состоянии погоды и моря на рейде.

Рейдовые наблюдения выполняются морскими прибрежными и островными ГМС I и II разрядов и устьевыми обсерваториями и станциями с малотоннажных судов, стоящих на якоре (а зимой со льда), один или несколько раз в месяц. Место нахождения рейдовой станции зависит от тех задач, которые они должны выполнять.

Рейдовые станции назначаются в местах, наиболее полно отражающих характерные особенности режима исследуемой акватории.

В проливах рейдовые станции, как правило, располагаются по поперечному сечению пролива. В случае, если назначается одна рейдовая станция, она располагается как можно ближе к середине пролива.

В заливах, бухтах и гаванях одна из рейдовых станций назначается в прилегающей части открытого моря, в наиболее глубоком месте.

В водотоках дельт рейдовые станции назначаются для изучения пространственно-временной изменчивости гидрологических и гидрохимических характеристик. Рейдовые станции располагаются вдоль или поперек русла, что позволяет или измерять расходы воды и наносов и рассчитывать тепло- и массоперенос, или исследовать смешение речных и морских вод и проникновение морских вод в дельту.

На устьевом взморье рейдовые наблюдения производятся в зоне смешения морских и речных вод. Рейдовые станции здесь обычно располагают на свале глубин устьевого взморья. При выполнении наблюдений особое внимание должно уделяться точному определению границ слоя скачка температуры, солености и мутности воды.

В районах, часто посещаемых судами, рейдовые станции располагаются в стороне от судоходных трасс и от главных якорных стоянок.

При образовании льда и невозможности достичь места расположения станции на судне наблюдения должны производиться с устойчивого прочного припая в точке рейдовой станции или возможно ближе к ней.

Выбранное место рейдовой станции с наиболее возможной точностью закрепляется на акватории. Для этого положение каждой рейдовой станции фиксируется на карте (схеме) относительно береговых ориентиров (маяк, заводская труба, вершина горы, мыс и т.п.). При отсутствии ориентиров на местности, на берегу выставляются специальные знаки: щиты, гурии, вышки и т.п. В некоторых случаях местоположение рейдовой станции фиксируется постановкой надежно установленного буя.

В зависимости от задач и района исследований рейдовые станции бывают эпизодические, полусуточные, суточные и много-

суточные. Результаты наблюдений на рейдовой станции служат «связью» между результатами береговых наблюдений и результатами наблюдений, выполненных в открытом море. В том случае, если океанографический разрез начинается в районе расположения рейдовой станции, она становится первой станцией разреза.

На морях с приливами для получения качественных данных о полном цикле приливных явлений рейдовые наблюдения производятся на суточной станции продолжительностью не менее 26 ч в середине каждого месяца. На морях без приливов наблюдения проводятся пять раз в месяц: 1, 7, 13, 19 и 25 числа. Горизонты наблюдений (глубина, на которой производятся измерения океанографических элементов или отбор проб) на рейдовой станции следующие: 0, (5), 10, 15, 20, (25), 30, 40, 50, 60, (75), 80, 100, (125), 150, 200 м и придонный. При глубинах станции менее 12 м назначается дополнительный горизонт – 3 м. Измерение скорости и направления течений производится на горизонтах: 0, (5), 10, 20, 50, 100, 200, 300 м и придонный.

На рейдовой станции выполняются следующие виды гидрометеорологических наблюдений:

- определение глубины;
- измерение температуры и солености воды на стандартных горизонтах;
- измерения направления и скорости течения на стандартных горизонтах;
- определение цвета и прозрачности воды;
- определение типа, формы, направления, длины, периода волн, состояния поверхности моря, степени волнения;
- отбор проб воды на стандартных горизонтах для определения содержания растворенного кислорода, активности водородных ионов (рН), щелочности, общего содержания азота и его соединений, общего фосфора и фосфатов, кремния, содержания сероводорода (при его наличии);
- взятие проб воды на загрязняющие вещества: нефтепродукты, хлорорганические пестициды, тяжелые металлы, фенолы, детергенты, а также другие загрязняющие вещества, характерные для данного района;
- измерение толщины льда и снега на льду при работе со льда;

– определение температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, облачности, метеорологической видимости в сторону моря и суши, наблюдения за атмосферными явлениями (осадки, туман, солнечное сияние и т.п.), а также при необходимости и другие ледовые наблюдения.

На специализированных и оперативных рейдовых станциях вышеперечисленный состав наблюдений может быть сокращен или дополнен в зависимости от конкретно поставленных задач.

Все наблюдения проводятся в основные синоптические сроки каждые три часа (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч по СГВ), за исключением наблюдений за глубиной, течением и ветром, которые измеряются ежечасно.

В нешироких проливах кроме обычных рейдовых станций назначаются вертикали для измерения расходов воды через проливы в зависимости от высоты уровня и изменения течений, а на морях с приливами – в зависимости от фазы прилива. Эти измерения позволяют определить тепло- и массоперенос между водоемами, которые соединяются проливом. На морях с приливами на каждой вертикали назначаются суточные станции, их целесообразно проводить с нескольких судов одновременно. При работах с одного судна все вертикали должны быть выполнены не более чем за 3 – 4 дня.

На устьевом взморье рейдовые наблюдения производятся в зоне смешения речных и морских вод, как правило, на свале глубин устьевого взморья. На отмелем устьевом взморье рекомендуется назначать две рейдовые станции: в канале, проходящем через мелководную часть взморья, и вне его.

Океанографический разрез – последовательный ряд океанографических станций, расположенных по определенному направлению и выполняющихся в кратчайшее время. Различают стандартный разрез (океанографический разрез, станции которого закреплены на много лет постоянными географическими координатами) и вековой разрез (стандартный океанографический разрез, выполняемый регулярно, через определенные интервалы времени, в течение многих десятилетий). В настоящее время на всех морях и океанах имеются постоянные сетки океанографических разрезов. Задачей таких стационарных исследований является изучение все-

го комплекса процессов, протекающих в водной толще, а также исследование многолетних изменений элементов гидрологического и гидрохимического режима отдельных морей и больших акваторий океанов.

Океанографические разрезы, пересекая всю исследуемую водную акваторию, располагаются в прибрежной области, в зоне открытого моря или переходят из одной области в другую. По своему расположению разрезы носят условные названия: прибрежные океанографические разрезы и океанографические разрезы открытого моря. Океанографические разрезы располагают так, чтобы наблюдения на них были репрезентативными для всей исследуемой акватории, т.е. характеризовали гидрологические и гидрохимические элементы в изучаемом районе, их сезонный и вековой ход, условия формирования этих элементов и их аномалий. Обычно разрезы пересекают основные струи господствующих течений, а иногда располагаются по их осям с целью изучения переноса и трансформации водных масс.

При планировании расположения и протяженности разрезов нельзя опираться на какой-либо единый стандарт, применимый к любому водному району, а всегда должны учитываться местные условия с целью обязательного достижения репрезентативности наблюдений.

Расстояние между океанографическими разрезами и размещение океанографических станций на них устанавливается в зависимости от изменчивости гидрологических элементов в исследуемом районе, т.е. количество станций должно быть больше в зоне повышенной изменчивости гидрометеорологических элементов (зоны гидрологических фронтов, прибрежные области) и меньше в зоне большего однообразия этих элементов, например, открытое море. Обычно расстояние между станциями на разрезах в открытом океане устанавливают в пределах 60 – 120 миль, в морях – 30 – 60 миль, в зонах повышенной изменчивости – 10 – 30 миль и менее. Однако количество станций не должно быть большим, ибо основной задачей наблюдений на океанографических разрезах являются быстрота и, возможно, большая их синхронность. Разрез должен быть выполнен за время, за которое изменения гидрометеорологических характеристик было бы незначительным.

При выполнении работ на океанографическом разрезе, с целью выяснения возможных изменений гидрологических элементов за время производства, целесообразно в начале, середине и в конце разреза осуществлять постановку автономных буйковых станций с соответствующими самописцами на многочасовую, суточную или многосуточную работу.

При производстве работ в море выполняются океанографические станции, которые делятся: по продолжительности – разовые, многочасовые, полусуточные, суточные, многосуточные; по положению судна, с которого ведутся работы, – якорные и дрейфовые; по числу выполнения гидрологических серий (наблюдений, выполненных комплексом приборов, одновременно опускаемых для океанографических измерений и отбора проб на заданных горизонтах) – односерийные и многосерийные. Кроме того, при выполнении разрезов работы производятся и на ходу судна.

На ходу судна могут выполняться следующие виды работ: срочные гидрометеорологические наблюдения; измерения температуры поверхностного слоя моря; измерения распределения океанологических характеристик по глубинам с помощью различной буксируемой и зондирующей аппаратуры; измерение характеристик течений в поверхностном слое моря с помощью электромагнитного измерителя течений (ЭМИТ); отбор проб воды на основной химический анализ и загрязнение (в основном из поверхностного слоя); непрерывные измерения гидрометеорологических характеристик в пограничном слое океан-атмосфера; специальные наблюдения, например, аэрологические, актинометрические, акустические, стереофотограмметрическая оценка волнения и др.

С судна, лежащего в дрейфе, выполняются те же виды работ, что и на ходу судна (кроме измерений ЭМИТом), а также: гидрологические серии; зондирование толщи воды СТД-системами; измерение характеристик волнения волнографами; измерение гидрооптических характеристик воды; постановка и снятие автономных буйковых станций с различными самописцами; гидрологические, геологические и гидробиологические работы; при условии точного определения дрейфа судна – измерения течений, т.е. осуществляются все основные глубоководные и поверхностные океанографические наблюдения и работы.

С судна, стоящего на якоре, выполняются все виды работ, что и с судна, лежащего в дрейфе, причем большинство океанографических работ выполнять гораздо удобнее. Недостатком здесь является сложность и длительность постановки судна на якорь (и снятия), особенно на больших глубинах (для этого требуется специальная глубоководная якорная лебедка). В случае необходимости измерения течений в мелководных районах с глубинами не более 50 – 100 м, особенно течений в навигационном слое, часто осуществляют постановку судна на якорь. В этом случае используются поплавки для измерения течений в навигационном слое, а глубже – самописцы течений.

Измерения океанографических характеристик и отбор проб морской воды на океанографических станциях осуществляют на стандартных горизонтах – постоянных горизонтах наблюдений, принятых для океанографических измерений и отбора проб. Для всех океанов и глубоководных морей, например, Карского, Баренцева, Норвежского, Гренландского, Черного, Японского, Охотского, Берингова, Каспийского (кроме северной части) приняты стандартные горизонты: 0, 10, 20, (25), 30, 50, 75, 100, (125), 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, далее через 1000 м и придонный горизонт, а для мелководных морей, например, Белого, Балтийского, Азовского, Северного Каспия, Аральского, Чукотского, Восточно-Сибирского, Лаптевых и мелководных районов глубоководных морей приняты горизонты: 0, (5), 10, 20, (25), 30, 40, 50, 60, (75), 80, 100, (125), 150, 200, 250 м и придонный. Для течений рекомендуются следующие стандартные горизонты: 0, (5), 10, 25, 50, 100, 200, 300, (400), 500, 750, 1000, 1200, 1500, 2000 и далее через 1000 м. Здесь везде в скобках указаны необязательные горизонты. Кроме того, для исследования структуры водных масс обычно вводят дополнительные горизонты, которые располагаются на верхней и нижней границах слоя скачка температуры и солености воды.

Стандартные и вековые океанографические разрезы выполняются не реже одного раза в сезон. Координаты станций на этих разрезах и время выполнения на морях России устанавливаются приказами Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Утвержденные сроки выполне-

ния разрезов могут быть нарушены только по условиям погоды или тяжелой ледовой обстановки.

Океанографическая съемка представляет собой совокупность разрезов и станций, выполняемых одним судном, группой судов одновременно и другими техническими средствами для получения информации о пространственном распределении океанографических характеристик в определенный период времени. Океанографические съемки производятся для исследования распределения различных гидрометеорологических элементов во всем море или отдельном районе океана для составления и уточнения морских гидрологических и рыбопромысловых прогнозов и их рекомендуется выполнять не реже одного раза в гидрологический сезон. Если же их невозможно выполнять ежесезонно, то съемки необходимо производить два раза в год.

Океанографические съемки могут быть ведомственные, междуведомственные и международные. Расположение разрезов при выполнении океанографических съемок и их количество должно способствовать при получении результатов наблюдений отражению характеристик специфических особенностей исследуемого района. В число разрезов океанографической съемки должны обязательно входить все стандартные и вековые океанографические разрезы, существующие в данном районе моря. Наблюдения при выполнении съемки должны быть по возможности синхронными, как и при выполнении стандартных океанографических разрезов. А с целью уменьшения времени производства наблюдений съемку следует выполнять несколькими судами одновременно.

При производстве океанографической съемки одним судном необходимо добиваться максимальной скорости работы, а количество разрезов и число станций на них не должно быть очень большим. В некоторых случаях допускается сокращение состава наблюдений, а при глубинах свыше 1000 м часть станций иногда делают подвесными (подвесная океанографическая станция – станция, наблюдения на которой выполняются не до дна, а до определенного горизонта).

Распределение разрезов (в какой-то мере образование замкнутых полигонов) позволяет произвести оценку степени изменчивости гидрометеорологических элементов за счет повторения океа-

нографических станций, выполняемых в начале и в конце или на пересечении разрезов. Рекомендуется также для получения возможных изменений значений гидрометеорологических элементов за период съемки в нескольких точках повторных станций поставить автономные буйковые станции с автоматическими регистраторами гидрометеорологических параметров на различных горизонтах.

При выполнении океанографической съемки несколькими судами все суда делают назначенные им разрезы одновременно. Если съемка производится судами различных ведомств, условие одновременности не всегда соблюдается. В этом случае каждое судно выполняет самостоятельно выделенные ему разрезы, но при этом устанавливается общий срок для выполнения всей съемки.

За период океанографической съемки в целях изучения изменчивости гидрологических элементов во времени и в связи с обуславливающими их метеорологическими и астрономическими факторами выполняются многочасовые или многосуточные гидрометеорологические наблюдения в характерных точках с помощью установки автономных буйковых станций (АБС) или производства их с судна, стоящего на якорю или лежащего в дрейфе. Выполнение подобных океанографических станций используется также при исследованиях ветровых и инерционных течений, приливных явлений, внутренних волн, развития и затухания ветровых волн и других океанографических параметров и, кроме того, для разработки методов океанографических расчетов и прогнозов. Продолжительность наблюдений на многосуточных станциях определяется исходя из требования, чтобы за время работ можно было наблюдать достаточное разнообразие синоптических процессов и связанных с ними значений гидрометеорологических параметров.

При выполнении многосуточных станций, если судно находится в районе постановки — АБС (в радиусе не более 1 морской мили), с судна обязательно производится наблюдения за ветром, вертикальным распределением температуры, солености, гидрохимических элементов, а также другими гидрометеорологическими параметрами. В случае работы одного судна с несколькими АБС, наблюдения около каждой буйковой станции выполняются при постановке, снятии и при каждой проверке работы АБС.

Эпизодические наблюдения выполняются по специальным программам, в основном, в целях получения данных о распределении комплекса гидрометеорологических элементов или какого-либо одного компонента режима моря в исследуемом районе по возможности за минимальный период времени. Подобные наблюдения чаще всего заключаются в производстве разовых океанографических съемок одним или несколькими судами, а также в выполнении разовых многочасовых или многосуточных станций для изучения влияния отдельных гидрометеорологических параметров на водный режим исследуемого бассейна. Обычно эти наблюдения приурочиваются к моментам резких изменений погодных условий или состояния моря, а также при рекогносцировочных обследованиях совершенно неизученных или малоизученных районов открытого моря или прибрежной зоны. Кроме того, эпизодические наблюдения проводятся в оперативных целях для обеспечения данными гидрометеорологических наблюдений народнохозяйственных организаций и для составления океанографических расчетов, прогнозов и их проверки.

Попутные гидрометеорологические наблюдения проводятся регулярно в целях сбора материалов для оперативной информации о состоянии погоды и моря в районах плавания судна или месте проведения экспедиционных работ. Результаты наблюдений кодируются и по радио передаются в соответствующие оперативные органы Росгидромета. Попутные гидрометеорологические наблюдения выполняются торговыми и рыбопромысловыми судами, кораблями и вспомогательными судами Военно-морского флота и, конечно же, всеми научно-исследовательскими судами.

Специальные океанографические наблюдения на полигонах проводятся в целях исследования процессов и явлений, протекающих в Мировом океане (в том числе и в прибрежной зоне моря), изменчивости этих процессов во времени и пространстве. Состав этих наблюдений, сроки выполнения и их продолжительность зависят от задач исследования, а программа наблюдений составляется для каждой экспедиции, рейса. В работах на полигоне в море всегда участвует несколько судов. Исследования на полигонах обычно заключаются в выполнении сетки океанографических разрезов, многосуточных станций в характерных точках и постанов-

ках серии автономных буйковых станций. Кроме того, в работах на полигонах в последнее время стали широко применяться дистанционные методы зондирования океана (авиация) и космические методы исследования океана (ИСЗ и пилотируемые космические аппараты).

1.3. Программа работ

Программа и план работ составляются до начала исследований, обсуждаются и утверждаются на ученом совете ведущей организации. Программа проведения гидрометеорологических исследований в рамках комплексного управления прибрежной зоной моря должна включать в себя основные цели и задачи работ, их продолжительность, а также описание района исследований. В ней должен быть отображен перечень тех параметров режима, изучение которых необходимо в данном конкретном случае; обоснован состав и объем работ, методика их проведения; требования к качеству ожидаемой информации, формы их представления. Также необходимо учесть особенности природных условий района исследований, время проведения работ, намечаемые и проводимые виды и методы эксплуатации исследуемого района.

Продолжительность наблюдений и выбор технических средств обосновывают исходя из имеющейся информации о районе исследований. К программе прилагается схема расположения временных береговых ГМС, ГМП и океанографических станций, а при необходимости и схема расположения океанографических разрезов со списком координат станций на них. Кроме того, приводится обоснование планируемых работ. Определяется порядок и дискретность наблюдений. Программа должна иметь экономический раздел, в котором дается расчет стоимости всех затрат на проведение работ.

Программа работ, ее полнота, научно-технический уровень, последовательность изложения и реальность выполнения поставленных задач определяют качество информации, получаемой в процессе работ. Высокая стоимость проведения работ в море требует детального обоснования необходимости океанографических работ и определения оптимального количества станций, постов, океанографических разрезов и т.п. В некоторых случаях объ-

ем имеющейся информации о районе исследований не требует обязательного проведения экспедиционных работ, а иногда требуется провести наблюдения только лишь над некоторыми элементами. И в то же время, иногда в перечень требуемых элементов наблюдений приходится включать и такие, которые не входят в вышеперечисленный перечень. Все это зависит от специфических условий района проведения работ.

При обосновании состава, методики и времени проведения исследований особое внимание следует уделять тем параметрам гидрометеорологического режима, которые являются определяющими для данного района в данный момент времени, и указать конкретный путь их получения.

В программе также должны быть указаны не только виды работ, но и обоснованы требования к конечной информации (точность, продолжительность, дискретность измерений). Качество гидрометеорологической информации зависит от продолжительности наблюдений, поэтому в программе должны быть определены минимально допустимые сроки непрерывных наблюдений и оптимальная разбивка наблюдений по срокам.

На основании программы составляется план работ, в котором приводится уточненный порядок проведения исследований, с расчетом затрат времени на них. В зависимости от предварительного анализа проведенных наблюдений план некоторых видов работ может быть уточнен в процессе исследований. Здесь при необходимости приводится также план взаимодействия организаций, ведущих гидрометеорологические наблюдения в районе исследований. Координация работ позволяет получать больше информации и повысить их качество.

Перед началом исследований необходимо предусмотреть подготовительные мероприятия: обеспечение метрологического контроля измерительной аппаратуры, поверку и тарировку приборов, изготовление вспомогательных средств, ремонт оборудования и приборов, обучение специалистов и т.п. Качество проведения этих мероприятий определит качество проведения исследований.

Глава 2

ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Сбор и анализ фондовых материалов

Сбор фондовых материалов необходим для того, чтобы обосновать необходимость и состав наблюдений, планируемых при проведении работ в исследуемом районе, а также с целью максимального использования имеющихся материалов наблюдений выполненных на сети Росгидромета и полученных другими организациями. В этом случае необходимо осуществить сбор, систематизацию и анализ имеющихся материалов океанографических и метеорологических наблюдений с учетом наличия и местоположения сети гидрометеорологических станций и постов, состава и объема проводимых на них наблюдений и репрезентативности этих пунктов для каждого из наблюдаемых или измеряемых элементов гидрометеорологического режима. Также необходимо изучить материалы аэрофотосъемки, топографических съемок и промерных работ.

Все это позволит определить степень изученности гидрометеорологических условий района исследований, а также достоверность и репрезентативность имеющихся материалов, а также их пригодность для целей КУПЗ.

При сборе фондовых материалов следует обобщать всю существующую информацию о гидрометеорологическом режиме, которая может иметь отношение к району исследований, но в любом случае предпочтение необходимо отдавать официальным изданиям Росгидромета. Можно воспользоваться также пособиями и справочниками, официально утвержденными другими ведущими организациями, в которых содержатся сведения об изученности природного режима отдельных районов океанов, морей и морских устьев рек, о наличии подобных материалов наблюдений, а также об изданных работах по результатам исследований в области гидрометеорологии. В дальнейшем при анализе и обработке информации целесообразно использовать материалы, которые были неоднократно апробированы и показали высокую степень достовер-

ности и надежность. По завершении данных работ можно уже окончательно определить изученность района исследований и пригодность имеющихся фондовых материалов для конкретного использования.

2.2. Источники информации

В принципе, сбор фондовых материалов можно начинать в местных территориальных районных администрациях, а также в изыскательских и проектно-изыскательских организациях и, конечно же, в органах Государственного фонда гидрометеорологических материалов Росгидромета. Учитывая, что исследования в прибрежной зоне морей включает и изучение природной среды, сбор материалов также следует осуществлять во Всероссийском и территориальных геологических фондах.

Наиболее полные сведения о гидрометеорологическом режиме имеются в организациях Росгидромета. Гидрометеорологические фондовые материалы можно условно разделить на навигационные и справочные. Первые из них дают возможность учета гидрометеорологической обстановки на конкретный день и час. К ним относятся таблицы приливов, соответствующие атласы. В справочных материалах отражены обобщенные многолетние данные гидрометеорологического режима.

По своему содержанию справочные пособия делятся на две группы: комплексные и поэлементные. Первые содержат характеристики нескольких гидрометеорологических элементов и позволяют установить их взаимосвязь. К ним относятся гидрометеорологические справочники, ежемесячники, атласы гидрометданных, комплексные океанографические атласы и т.п. Поэлементные же пособия содержат описания распределения по акваториям отдельных элементов режима: атласы льдов, волнения, течений и др.

В гидрометеорологических справочниках приведены характеристики режима ветра, волнения, течений, условий видимости, вероятности обледенения и другие для каждого месяца года. Атласы гидрометеорологических данных являются картографическим развитием и усовершенствованием гидрометеорологических справочников. Текст их содержит указания по практическому использованию приведенных сведений. В комплексных гидрометеороло-

гических атласах помещены помесечные карты температуры воздуха, абсолютной и относительной влажности, облачности, направления ветра по градациям скорости, повторяемости осадков, туманов и т.д. На океанографических картах приведены распределения температуры воды и волнения. Приведены таблицы средних значений океанографических параметров.

Карты распределения гидрометеорологических параметров составляются по месяцам для каждого бассейна отдельно и состоят из основной карты, на которой приведены гидрометеорологические элементы, оказывающие существенное влияние на возможность и безопасность проведения океанографических работ (скорость и направление ветра, течения, лед, туман, волнение), и карт-врезок, на которых даются сведения о распределении других элементов (температуры воды и воздуха, солености, облачности, атмосферного давления и др.). Все характеристики приводятся в осредненных многолетних значениях и отмечаются их экстремумы. Карты портативны, удобны в обращении и являются одним из наиболее употребляемых пособий по режиму морей и океанов.

Атласы льдов содержат сведения о сроках становления ледяного покрова, его характере и сплоченности и используется при планировании работ в замерзающих морях. Атласы волнения и ветра, содержащие характеристики волн, состоят из двух частей. В первой приводятся карты волнения и ветра при различных типовых условиях погоды, во второй даны вероятностные режимные характеристики элементов волн открытого моря. В атласах обледенения судов приводятся районы различной интенсивности этого явления в холодное время года.

Материалы аэрофотосъемок собраны в основном в местных органах Государственного управления геодезии и картографии. До начала 90-х гг. XX в результаты непосредственных наблюдений за конкретные месяцы и годы публиковались в Водном кадастре Российской Федерации и морских гидрометеорологических ежегодниках и ежемесячниках. Гидрометеорологическое обеспечение материалами о режиме морей и океанов осуществляется также ВНИИГМИ – МЦД (г. Обнинск), который собирает, систематизирует, обрабатывает и хранит все виды океанографических наблюдений, проводимых в Мировом океане всеми ведомствами.

2.3. Обобщение и анализ фондовых материалов

Необходимые режимные данные можно получить в результате систематизации, обобщения и всестороннего изучения материалов гидрометеорологических наблюдений. При этом особое внимание должно быть обращено на выявление экстремальных значений гидрометеорологических параметров. Разнородную информацию следует не только обобщить, но и по возможности унифицировать:

- характеристики уровня должны быть приведены к единой, современной системе отсчетов уровня;
- при расчете повторяемости и обеспеченности необходимо придерживаться принятых градаций элементов режима;
- единицы измерения должны соответствовать действующим нормам.

Эти требования упрощают использование информации о режиме и позволяют сравнивать материалы, взятые из различных источников.

Результаты тщательного сбора и глубокого анализа фондовых материалов оформляются в виде отчетов, включающих в себя:

- обзор использованной информации;
- основные характеристики гидрометеорологического режима исследуемого района;
- выводы и рекомендации.

Обзор должен включать в себя перечень пособий, справочников, таблиц и других использованных источников. Содержащаяся в них информация, должна по возможности наиболее полно освещать особенности режима данного района. Кроме того, здесь дается оценка степени достоверности изученных материалов и возможности их использования, а также на основании полученных результатов определяется необходимость и объем проведения дополнительных гидрометеорологических и других видов наблюдений в исследуемом районе.

Составленный отчет должен служить отправным материалом при дальнейших исследованиях. Иногда, при соответствующем обосновании, можно ограничиться обзором и обобщением имеющихся материалов, а при необходимости, проведением рекогносцировочного обследования в данном районе. Обычно это относится к хорошо изученным районам с достаточно густой сетью ГМС и ГМП, располагающих многолетними рядами наблюдений.

2.4. Обоснование необходимости исследований

Использование фондовых материалов в целях комплексного управления прибрежной зоной моря дает возможность существенно сократить объемы последующих этапов исследований, что позволяет сократить стоимость и сроки работ. При наличии многолетних рядов гидрометеорологических наблюдений можно непосредственно получить некоторые из предусматриваемых программой важных характеристик. Такая информация позволяет проследить хронологию распределения этих характеристик и при необходимости дать предварительный прогноз.

Комплексное управление прибрежной зоной моря невозможно без знания режима природной среды каждого исследуемого района, а также погодных условий. Чтобы правильно учитывать влияние физико-географических условий на обеспечение возможности эффективного и безопасного проведения работ в прибрежной зоне моря, требуются сведения по широкому кругу параметров гидрометеорологического режима данного района. К основным из них можно отнести следующие.

Колебания уровня моря. Значительные подъемы и спады уровня в морях с ярко выраженными стонно-нагонными колебаниями наносят немалый ущерб хозяйственной деятельности человека. На мелководье высота нагонной волны в сочетании с ветром и (или) приливом может привести к катастрофическим последствиям. Морские наводнения зачастую повреждают или разрушают порты и прибрежные сооружения, затопляют низменные участки берега. Спады уровня, уменьшая глубины в портах и морских каналах, препятствуют судоходству. От корректного выбора высотных, проектных отметок зависит безопасность гидротехнических сооружений, объем и стоимость строительства. Так, например, по данным наблюдений за уровнем определяют отметки дна для прокладки трубопроводов.

Поверхностное волнение. При проектировании и строительстве прибрежных и гидротехнических сооружений, а также платформ для добычи нефти и газа знание параметров элементов поверхностного волнения приобретают первостепенное значение. Так, например, по данным Б.Х. Глуховского, из общего числа 25

аварий за 1948 – 1973 гг. крупных стационарных платформ в Мексиканском заливе причиной 22 из них были волновые перегрузки, как правило, вследствие заниженных расчетных высот волн. Элементы волнения, ветроволновые условия существенным образом определяют усталостные напряжения в элементах конструкций различных морских сооружений. Волнение существенным образом влияет на интенсивность береговых процессов. Данные о поверхностном волнении всегда включают в оперативные сводки погоды.

Течения. Значительные скорости течений учитываются при расчете нагрузок на различные сооружения в море (особенно, от дрейфующего льда) и на суда (от навала льдов), при определении скорости и направления переноса загрязняющих веществ, при прокладке трубопроводов, при планировании и проведении транспортных операций. Течения оказывают влияние на размыв грунта и перенос наносов.

Лед. Огромное значение при эксплуатации прибрежной зоны моря, особенно на морях с устойчивым ледовым покровом, играет лед. Главным условием при расчетах морских сооружений на прочность является обеспечение их ледостойкости. Для гарантирования надежности трубопроводов требуются данные о взаимодействии торосистых ледовых образований с морским дном, распространение и расположение стамух.

Сведения о *температуре и химическом составе* морских вод необходимы в основном для оценки коррозии металлов и поведения других строительных материалов под влиянием агрессивных компонентов соленых вод.

Ветер. Первопричиной поверхностного волнения, дрейфовых течений, дрейфа льда, сгонно-нагонных колебаний уровня является ветер. В этом его особенности и значение. Штормовые ветры создают значительные нагрузки на надводные части сооружений в море и способны вызвать навалы льдов на сооружения, суда и берега. Ветры со скоростью 30 – 35 м/с и более относятся к числу особо опасных явлений.

Температура воздуха оказывает влияние на режим эксплуатации оборудования, работу людей, планирование производственной деятельности, способствует коррозии материалов. От влажности воздуха зависит образование туманов, облачности, осадков, воз-

никновение обледенения – все эти явления в значительной степени затрудняют производство работ.

Атмосферные явления, к которым кроме осадков и туманов относятся метели, пыльные бури, шквалы, смерчи, грозы, могут не только затруднить производство работ в прибрежной зоне, но и вызвать в некоторых случаях аварии. Атмосферные явления часто ограничивают видимость, осложняя перевозки людей и грузов морем и по воздуху.

Обледенение представляет опасность для всех плавающих объектов. Обрастание высокорасположенной конструкции объекта угрожает потерей его остойчивости и опрокидыванием. Увеличение габаритов элементов конструкции, например, стационарных платформ влечет за собой возрастание ветровых и волновых нагрузок.

Помимо гидрометеорологической информации для комплексного управления прибрежной зоной моря требуются также сведения о характере, режиме и размерах изменений рельефа дна и берегов, происходящих в исследуемом районе. Оценка возможного влияния планируемых морских и прибрежных сооружений различного типа на литодинамические процессы позволит получить данные по деформации дна и берегов (если они принимают значительные размеры) в целях разработки мероприятий для их ликвидации или ослабления.

Все это определенно доказывает, что режимные данные и оперативная информация действительно крайне необходима для целей КУПЗ на всех стадиях ее реализации. Правда, при этом иногда суровые погодные условия определяют саму возможность решения комплекса комплексного управления прибрежной зоной моря.

Мировая практика свидетельствует о том, что при КУПЗ, для удовлетворения нужд заинтересованных организаций, создается дополнительная или даже специализированная сеть наблюдений на судах, морских платформах, эстакадах, плавучих буровых установках, в изыскательских партиях.

Открытие новых станций и наблюдения на них производятся с целью:

- получения предварительных или ориентировочных данных о ветровых и волновых условиях, колебаниях уровня моря, темпе-

ратуре воды и воздуха, осадках и т.п. в случае отсутствия стандартных наблюдений;

- обеспечения оперативной информацией на всех стадиях эксплуатации исследуемой акватории;

- обеспечения оперативного контроля безопасности всех сооружений, находящихся на данной территории, при экстремальных гидрометеорологических условиях в период их эксплуатации;

- оповещения заинтересованных организаций об опасных и особо опасных гидрометеорологических процессах и явлениях в данном районе;

- передачи данных в прогностические органы Росгидромета для составления метеорологических и морских гидрологических прогнозов и предупреждений о возможных неблагоприятных гидрометеорологических условиях;

- накопления и обобщения материалов для изучения режима района исследований и учета его местных особенностей;

- проверки и корректировки методов расчета ветра, волн, течений, колебаний уровня моря и дрейфа льда, так как все эти характеристики в значительной степени зависят от физико-географических особенностей исследуемого района.

2.5. Отчетные материалы

Отчетные материалы по проведенным исследованиям должны обязательно содержать следующие сведения:

- цели и задачи исследований;

- информацию о степени изученности рассматриваемой акватории;

- информацию о составе, объеме и методах выполненных исследований с обоснованием допущенных отступлений от задач исследований и программы работ;

- результаты выполненных наблюдений и исследований и их анализ;

- методику и результаты расчета характеристик гидрометеорологического режима редкой повторяемости;

- расчетные параметры основных элементов гидрометеорологического режима с оценкой соответствия их нормативным требованиям;

– оценку гидрометеорологических условий исследуемой акватории и рекомендации по их учету;

– выводы.

Представленный отчет должен начинаться описанием целей и задач исследований с описанием оптимальных путей реализации программы работ. Приводится характеристика использованной аппаратуры, техническое состояние и эффективность эксплуатации приборов и оборудования. Кроме того, отчет должен содержать юридическую и правовую основу выполненных работ с наименованием и описанием местонахождения объекта исследований с указанием административной принадлежности района работ.

В отчете, в разделе сведений об изученности района, должны быть приведены следующие данные:

– краткая физико-географическая характеристика района и местных природных условий (особенности рельефа, климата, гидрометеорологического режима, неблагоприятных природных процессов и явлений), влияющих на организацию и проведение работ;

– сведения об изученности района исследований, результаты анализа имеющихся материалов и рекомендации по их использованию;

– обоснование категорий сложности природных условий, состава, объема, методов и последовательности проведения исследований;

– требуемые меры по охране окружающей среды при производстве работ.

Информация об объеме и составе выполненных океанографических работ в отчете приводится в виде таблиц с условием обязательного сравнения с объемом и составом работ, предусмотренных программой. Данные океанографических и метеорологических наблюдений, представленных в виде таблиц, графиков и карт, приводятся в виде, удобном для всестороннего практического анализа, с непременно включением оценок ошибок определения параметров, перечнем использованных технических средств измерений и методов обработки полученных результатов. Анализ результатов работ приводится с целью оценки их достоверности и репрезентативности.

Расчетные параметры важнейших элементов гидрометеорологического режима представляются также в виде таблиц и графиков. При анализе гидрометеорологических условий исследуемого района, прежде всего, необходимо обратить внимание на те специфические гидрометеорологические параметры его, которые могут оказать влияние на организацию и безопасность эксплуатационных, в том числе и строительных, работ в прибрежной зоне моря. Особенно следует акцентировать внимание на ситуациях, при которых возможно возникновение экстремальных значений различных параметров гидрометеорологического режима (ветер, волнение, течения, уровень, лед и т.п.).

Глава 3

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Достоверность полученных при проведении океанографических работ результатов наблюдений, используемых при оперативном обслуживании, верификации и корректировке методов расчета и находящихся отражение в предупреждениях, прогнозах, справках, отчетах и тому подобных материалах, в основном зависит от правильной эксплуатации средств измерения. Основой такой эксплуатации является метрологическое обеспечение океанографических измерений.

3.1. Основные понятия и термины

В настоящее время основные понятия и термины метрологии стандартизованы в государственных стандартах (ГОСТ) и руководящих документах (РД), но в силу их широкого распространения получают искаженное толкование, неправильно применяются или заменяются неправильными терминами. Не установив единства понимания таких общих терминов, практически невозможно рассматривать вопросы метрологического обеспечения океанографических измерений.

Метрологическое обеспечение (МО) – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Научной основой МО является *метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Физическая величина – это свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Например: давление, скорость, температура.

Размер физической величины – количественное содержание общего свойства в объекте. Выразить размер величины можно при помощи любой из единиц данной величины.

Значение физической величины – числовая оценка размера, выраженная в виде некоторого числа единиц данной величины. Для числового значения характерно, что при применении другой единицы оно изменяется, тогда как физический размер величины остается неизменным.

Единица физической величины – физическая величина, которой по определению придано значение, равное единице. Например: единица длины метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299792458$ с, а единица температуры Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки чистой воды.

Система единиц физических величин – совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин. Основные единицы Международной системы единиц СИ: метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), Кельвин (К), моль (моль), и кандела (кд). Из сочетаний основных единиц образуются производные единицы, например, единица скорости – метр в секунду (м/с). Путем прибавления к основным единицам установленных приставок, образуются кратные (например, километр) или дольные (например, микрометр) единицы. основополагающим нормативно-техническим документом по единицам физических величин, устанавливающий обязательное применение Международной системы единиц СИ, является ГОСТ 8.417-81.

Размерность физической величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе единиц за основные и с коэффициентом пропорциональности, равным единице. Так, в базис размерной системы единиц, охватываемой Международной системой единиц (СИ), входят размерности: длины – L , массы – M , времени – T , силы электрического тока – I , температуры – θ , количества вещества

– N и силы света – J . В системе величин LMT размерность (dim) величин K будет:

$$dimX = L^l M^m T^t,$$

где L, M, T – символы величин, принятых за основные (соответственно, длины, массы, времени и т.д.); l, m, t – целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа, которые являются показателями размерности.

Над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня. Действия сложения и вычитания размерностей не имеют смысла. Размерность величины одновременно является размерностью ее единицы. Следует уяснить разницу между размером величины и размерностью. Размерность дает представление о виде, о природе величины, о соотношении какой-то величины с другими, единицы которых мы принимаем за основные, т.е. является качественной характеристикой. Размер определяет количественное содержание величины или единицы, т.е. является количественной характеристикой. В принципе выражение размерности может быть применено при любой системе единиц.

3.2. Метрологическое обеспечение, его основы, правила и нормы

Как следует из определения, научной основой метрологического обеспечения является метрология. Техническими основами метрологического обеспечения являются:

- система государственных эталонов единиц физических величин, обеспечивающая воспроизведение единиц с наивысшей точностью;
- система передачи размеров единиц физических величин от эталонов всем средствам измерений с помощью средств поверки;
- система государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм;
- система испытаний и утверждения типа средств измерений;

– система обязательной поверки и калибровки средств измерений;

– система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, обеспечивающая воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства веществ и материалов;

– система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, обеспечивающая достоверными данными научные исследования, разработку технологических процессов и конструкций изделий, процессов получения и использования материалов.

Организационной основой метрологического обеспечения являются метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц.

Общие правила и нормы метрологического обеспечения устанавливают в стандартах Государственной системы обеспечения единства измерений. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) – комплекс установленных стандартами взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений. Основными объектами стандартизации ГСИ являются:

- единицы физических величин;
- государственные эталоны и поверочные схемы;
- методы и средства поверки средств измерений;
- номенклатура нормируемых метрологических характеристик средств измерений;
- нормы точности измерений;
- способы выражения и формы представления результатов измерений и показателей точности измерений;
- методики выполнения измерений;
- методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов;
- требования к стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов;
- типовое положение о метрологической службе государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц;

– порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм;

– порядок лицензирования деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

– порядок проведения поверки средств измерений;

– порядок аккредитации головных и базовых организаций метрологических служб государственных органов управления Российской Федерации и объединений юридических лиц;

– порядок проведения испытаний и утверждения типа средства измерений;

– порядок аттестации поверителей средств измерений;

– порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц;

– термины и определения в области метрологии.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» гидрометеорологические работы отнесены к сферам распространения государственного метрологического контроля и надзора. В связи с этим вся деятельность по метрологическому обеспечению океанографических измерений регламентируется соответствующими Правилами по метрологии и Методическими инструкциями. В частности, при выполнении работ в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора необходимо:

– создать метрологические службы или иные организационные структуры по обеспечению единства измерений;

– аккредитовать метрологические службы юридических лиц на право поверки;

– аттестовать физические лица в качестве поверителей средств измерений;

– провести испытания средств измерений с последующим утверждением типа;

– поверить органами Государственной метрологической службы средства измерений при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;

– аттестовать методику выполнения измерений (МВИ).

3.3. Измерение. Виды измерений

Измерение физической величины предполагает совокупность операций, заключающихся в сравнении (в явном или неявном виде) измеряемой величины с единицей для получения значения этой величины (или информации о нем) в форме, наиболее удобной для использования. Иными словами, измерение некоторой физической величины производят с помощью технического средства, хранящего единицу физической величины, путем ее сравнения в ходе физического эксперимента с величиной, принятой за единицу физической величины. Результатом измерения будет именованное число, показывающее соотношение измеряемой величины с единицей физической величины.

Классификация видов измерений обычно осуществляется по характеру зависимости измеряемой величины от времени, по способам получения результатов измерений и по способам выражения результатов этих измерений, а также по характеристике точности (равноточные, неравноточные), по числу измерений в ряду измерений (однократные, многократные), по метрологическому назначению (технические, метрологические).

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются:

- на *статические*, при которых измеряемая величина принимается в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения;
- *динамические*, в процессе которых измеряемая величина изменяется.

Следует отметить, что для океанографических измерений эти понятия достаточно условны и зависят от принятых масштабов изучаемой среды и метрологических характеристик средств измерений.

По способу получения результата измерения, т.е. числового значения измеряемой величины, все измерения делят на четыре основных вида: прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямыми называются измерения, заключающиеся в экспериментальном сравнении измеряемой величины с мерой этой величины или в отсчете показаний средства измерений, непосредст-

венно дающего значение измеряемой величины. Например, измерения температуры термометром, длины мерной лентой или блок-счетчиком, давления манометром.

Косвенными называют измерения, результат которых определяют на основании прямых измерений величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью. Например, измерение мощности электрического тока по результатам измерения напряжения и силы тока или измерение солёности морской воды по результатам измерения температуры, электрической проводимости морской воды и гидростатического давления.

Совокупными измерениями называют проводимые одновременно измерения двух или нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин. Например, измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

Совместными называют производимые одновременно (прямые или косвенные) измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Например, совместными являются измерения температуры и гидростатического давления, проводимые для определения температурной зависимости измерителя давления.

По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютными называют измерения, основанные на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Например, измерение силы F основано на измерении основной величины – массы (m) и использовании физической постоянной – ускорение свободного падения тела (g) в данной точке в соответствии с уравнением $F = mg$. Измерения относительной электрической проводимости R морской воды с помощью CTD-зондов, отградуированных в значениях удельной электрической проводимости, являются абсолютными, поскольку для определения относительной электрической проводимости R используется постоянное значение удельной электрической проводимости стандартного образца – «нормаль-

ной» морской воды при 15°C. Однако следует учитывать, что это значение не стандартизировано и в литературе можно встретить различные значения этой постоянной. В частности, в зарубежной практике удельной электрической проводимости стандартного образца – «нормальной» морской воды при 15 °C приписывается значение 4,2914 Сим/м.

Относительными называют измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Относительными являются измерения относительной электрической проводимости морской воды R_t , проводимые с помощью электросолемера типа ГМ-65 или Autosol при измерении солености морской воды. По принципу действия вышеуказанные солемеры проводят измерения относительно стандартного образца – «нормальная» морская вода по ГСО 5494-90 по его нормированному значению R_{15} .

3.4. Принципы, методы и методики измерений

Каждую физическую величину можно измерить несколькими методами, в основу которых положены различные физические принципы, технические и методические особенности.

Принцип измерений – это физическое явление или определенный эффект, с помощью которых осуществляются измерения тем или иным типом средств измерений. Например, применение эффекта Доплера для измерения скорости.

Метод измерений – прием или совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Для прямых измерений можно выделить несколько основных методов: непосредственной оценки, сравнения с мерой, дифференциальный, нулевой и совпадения. При косвенных измерениях широко применяют преобразование измеряемой величины в процессе измерений.

Метод непосредственной оценки дает значение измеряемой величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора. Например, измерение температуры с помощью ртутных термометров.

Метод сравнения с мерой – метод, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием.

Дифференциальный метод – метод, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя значениями. Дифференциальный (разностный) метод позволяет получать результаты с высокой точностью даже при использовании относительно грубых средств для измерения разности. Однако осуществление этого метода возможно только при условии воспроизведения с большой точностью известной величины, значение которой близко к значению измеряемой. Это во многих случаях оказывается легче, чем изготовить средство измерений высокой точности.

Методика выполнения измерений (МВИ) – это установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений в соответствии с данным методом. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо руководящим документом. В документах, регламентирующих МВИ, в общем случае указывают:

1. Назначение МВИ;
2. Условия измерений;
3. Требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений;
4. Метод (методы) измерений; требования к средствам измерений (в том числе, к стандартным образцам, аттестованным смесям), материалам, растворам или указывают типы средств измерений, их характеристики и обозначения документов, где приведены требования к средствам измерений (ГОСТ, ТУ и другие документы);
5. Операции при подготовке к выполнению измерений;
6. Операции при выполнении измерений;
7. Операции обработки и вычислений результатов измерений;
8. Требования к оформлению результатов измерений;
9. Требования к квалификации операторов;

10. Требования к обеспечению безопасности выполнения работ;

11. Требования к обеспечению экологической безопасности;

12. Другие требования и операции (при необходимости).

Общие положения и требования к разработке, аттестации, стандартизации и метрологическому надзору за МВИ установлены в ГОСТ Р 8.563-96.

3.5. Эталоны, шкалы, стандартные образцы

3.5.1. *Воспроизведение, хранение и передачу размеров единиц* осуществляют с помощью эталонов. В Законе РФ «Об обеспечении единства измерений» дано следующее определение эталона:

– эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины;

– государственный эталон единицы величины – эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации».

Государственные эталоны бывают двух видов: *первичные*, воспроизводящие единицу в соответствии с ее определением с наивысшей в стране точностью, и *специальные*, обеспечивающие воспроизведение единицы в особых условиях и служащие для этих условий первичным эталоном.

В метрологической практике большое распространение, особенно в связи с Законом «Об обеспечении единства измерений», имеют вторичные эталоны, значения которых устанавливаются по первичным эталонам. По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на: эталоны-свидетели, предназначенные для проверки сохранности и неизменности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты; эталоны-копии, предназначенные для передачи размера единицы рабочим эталонам; эталоны сравнения, применяемые для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом, и рабочие эталоны, применяемые для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Следует отметить, что Законом «Об обеспечении единства измерений» упразднено понятие – образцовые средства измерений, которые были предназначены для передачи размера единицы рабочим средствам измерений и которые являлись промежуточным звеном между рабочими эталонами и рабочими средствами измерений.

3.5.2. Шкала физической величины – это упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений. В зависимости от свойств аддитивности физической величины принципы построения шкал существенно различаются между собой. Аддитивность свойств физических величин предполагает возможность суммирования, умножения на числовой коэффициент, деления друг на друга разных значений физической величины. Считая размеры единицы одинаковыми по всей шкале, значение аддитивной величины находят как произведение единицы физической величины на числовое значение величины в принятой единице. Таким образом, для измерений аддитивных величин достаточно выбрать единицы и проградуировать в них средства измерений. Для неаддитивной физической величины умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга ее значений не имеет физического смысла. Шкала значений неаддитивных величин строится на ряде опорных значений (реперных точек), принимаемых условно (обычно по соглашению), значения между которыми находятся интерполяцией. Это означает, что для измерений неаддитивных величин недостаточно выбрать единицу, необходимо также принять ряд исходных значений для построения шкалы измерений. К таким шкалам, например, относятся различные температурные шкалы и шкала практической солености. В частности, абсолютная термодинамическая температурная шкала основана на значении абсолютного нуля – начала отсчета и значения одной практически реализуемой реперной точки. В качестве реперной точки выбрана тройная точка воды с приписанным ей значением 273,16 К (0,16° С) точно. Международная практическая температурная шкала 1968 г. МПТШ-68 в диапазоне температур от 13,81 до 903,89 К воспроизводится с помощью ряда основных реперных точек и платинового термометра сопротивления в качестве эталонного интер-

поляционного прибора. Международная температурная шкала 1990 г. в диапазоне температур от 13 до 1234,93 К также воспроизводится с помощью ряда основных реперных точек и платинового термометра сопротивления в качестве эталонного интерполяционного прибора.

Шкала практической солености 1978 г. ШПС-78 (ГСССД 77-84) воспроизводится в одной точке через отношение K_{15} электропроводности пробы морской воды при температуре 15°C и давлении в 1 стандартную атмосферу (1 ст. атм. – 101325 Па) к электропроводности раствора KCl , в котором массовая доля KCl составляет $32,4356 \cdot 10^{-3}$, при тех же значениях температуры и давления, и с помощью соответствующих интерполяционных формул. Значение K_{15} , в точности равное 1, соответствует значению практической солености S , в точности равному 35 практических единиц солености (п.е.с.). Интерполяционные формулы определяют зависимость между практической соленостью S и нормированными значениями относительной электрической проводимости морской воды. В качестве нормирующих значений принимаются значения удельной электрической проводимости стандартного раствора морской воды $S = 35$ («нормальная» морская вода по ГСО 5494-90) при различных значениях температуры морской воды и гидростатического давления.

3.5.3. Стандартный образец состава и свойств веществ и материалов (стандартный образец – СО) – средство измерения в виде вещества (материала), состав или свойство которого установлены при аттестации. Стандартные образцы предназначены для обеспечения единства и требуемой точности измерений посредством:

- градуировки, аттестации и поверки средств измерений;
- аттестации методик выполнения измерений;
- контроля правильности результатов измерений;
- измерения состава и свойств веществ и материалов методами сравнения.

В зависимости от специфики аттестуемой характеристики стандартные образцы подразделяются на стандартные образцы состава и стандартные образцы свойств. Стандартные образцы свойств веществ и материалов по своему назначению выполняют роль мер.

В зависимости от установленного порядка утверждения стандартные образцы подразделяются на государственные стандартные образцы (ГСО), отраслевые стандартные образцы (ОСО) и стандартные образцы предприятий (СОП).

В настоящее время непосредственно в океанографической практике применяется государственный стандартный образец ГСО 5494-90 «Нормальная» морская вода. «Нормальная» морская вода применяется для воспроизведения реперной точки в Международной шкале практической солености ШПС-78, для калибровки, градуировки и поверки солемеров и гидрологических зондов, СТД-систем. «Нормальная» морская вода изготавливается в Англии и в аналитической лаборатории института океанологии (ИО РАН). Метрологическими характеристиками «нормальной» морской воды по ГСО 5494-90 являются значения относительной электрической проводимости при температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_{15} и хлорности 19,38 ‰. В 1996 г. аналитическая лаборатория ИО РАН аттестовала стандартные образцы растворов морской воды для промежуточных значений солености 10, 20, 30 и 38 ‰, обозначенных соответственно С 1–10 ... С 1–38 и включенных в реестр ГСО РФ 0401-96 ... 0404-96. Аттестуемыми характеристиками этих растворов являются значения *солености* S и относительной электрической проводимости R , при температурах 15, 18, 21, 24, 27 и $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.6. Передача размера единицы, поверочная схема

Передача размера единицы – приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым средством, к размеру единицы, воспроизводимой эталоном, осуществляемое при их сличении (поверке).

Система передачи размера единицы физической величины от государственного эталона рабочим средствам измерений устанавливается поверочными схемами. Поверочная схема – это нормативно-технический или технический документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешности при передаче, утвержденный в установленном порядке. В зависимости от области распространения поверочные схемы подразделяют на следующие виды: государствен-

ные, ведомственные и локальные. Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерений данной физической величины, применяемые в стране. Соответственно, ведомственная или локальная поверочная схема распространяется на средства измерений, подлежащие поверке внутри ведомства или в данном органе метрологической службы. Поверочная схема должна включать не менее двух ступеней передачи размера единицы. Основные требования к содержанию и построению поверочной схемы устанавливаются в стандартах ГСИ. Государственные стандарты, устанавливающие государственную поверочную схему, должны состоять из чертежа поверочной схемы и текстовой части, содержащей пояснения к чертежу. Ведомственную и локальную поверочные схемы оформляют в виде чертежа. Допускается дополнять чертеж текстовой частью.

На чертеже поверочной схемы должны быть указаны: наименования средств измерений и методов поверки; номинальные значения или диапазоны значений физических величин; допускаемые значения погрешностей средств измерений; допускаемые значения погрешностей методов поверки. Чертеж поверочной схемы должен состоять из полей, расположенных друг под другом и разделенных штриховыми линиями. Число полей зависит от структуры поверочной схемы. Поля должны иметь наименования: «Эталоны» или «Государственный эталон» (если вторичные эталоны отсутствуют) и «Рабочие средства измерений». Наименование полей указывают в левой части чертежа, отделенной сплошной вертикальной линией. Верхнее поле государственной поверочной схемы возглавляется государственным эталоном. Под этим полем указывают наименования эталонов в порядке их соподчиненности. Под нижним полем эталонов помещают поле рабочих средств измерений. Под наименованиями эталонов и рабочих средств измерений указывают номинальные значения или диапазоны значений физических величин и значения их погрешности.

Методы поверки средств измерений, указываемые на поверочной схеме, с целью унификации должны соответствовать одному из следующих общих методов: непосредственное сличение (т.е. без средств сравнения); сличение при помощи компаратора (т.е. при помощи средств сравнения); метод прямых измерений;

метод косвенных измерений. При указании метода поверки допускается в текстовой части отражать специфику поверки средств измерений. Если при поверке проводят градуировку средств измерений, это указывают в тексте. Под наименованием метода поверки указывают допускаемое значение погрешности метода поверки. Способы графического изображения степени передачи размера единицы указаны в ГОСТ 8.061-80.

3.7. Поверка и калибровка средств измерений

В Законе РФ «Об обеспечении единства измерений» даны определения понятий поверки и калибровки, которые отличаются от ранее принятых определений. В соответствии с Законом: «поверка средства измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям; калибровка средства измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору».

Таким образом, в соответствии с Законом различие между поверкой и калибровкой заключается только лишь в сфере применения средств измерения. Одни и те же типы средств измерений могут быть поверены или откалиброваны при одной и той же совокупности операций.

Порядок выполнения совокупности операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик, их соответствия установленным техническим требованиям и (или) пригодности к применению средства измерений регламентируется правилами по метрологии ПР 50.2.006-94 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» и методиками поверки средств измерений, разрабатываемых для конкретных типов средств измерений. Основные требования к построению, содержанию и изложению методик поверки установлены в государственных стандартах систе-

мы стандартизации и системы обеспечения единства измерений. В соответствии с инструкцией РД 50-660-88 «Документы на методики поверки средств измерений» стандарт на методику поверки должен содержать вводную часть и следующие разделы: операции поверки; средства поверки; требования безопасности; условия поверки; подготовку к поверке; проведение поверки; обработку результатов наблюдений; оформление результатов поверки. Если к квалификации поверителей предъявляют особые требования, после раздела «Средства поверки» в документы по поверке включают раздел «Требования к квалификации поверителей». В обоснованных случаях допускается объединять или исключать отдельные разделы. Документы по поверке могут содержать приложения.

В вводной части устанавливают назначение документа по поверке, а также уточняют объект стандартизации и степень соответствия документа по поверке соответствующим документам международных организаций. Разделы документа по поверке содержат, соответственно, перечни:

- операций по поверке, эталонов и вспомогательных средств поверки с указанием нормативно-технических документов, регламентирующих технические требования, и (или) метрологические характеристики этих средств;

- физических величин, влияющих на метрологические характеристики поверяемых средств измерений, с указанием номинальных значений влияющих величин и допускаемых значений пределов отклонений от номинальных значений, работ, которые проводят перед поверкой и способы их выполнения.

Раздел «Проведение поверки» содержит подразделы: внешний осмотр; опробование; определение (контроль) метрологических характеристик. В этих подразделах, соответственно, указывают: перечень требований к поверяемым средствам измерений в части комплектации и внешнего вида; перечень и описание операций, которые необходимо провести с использованием или без использования средств измерений для поверки действия поверяемого средства измерения или его составных частей; описание операций, указанных в разделе «Операции поверки»; наиболее рациональные методы определения метрологических характеристик. Описание операций содержит наименование и метод поверки, схемы под-

ключения, указания о порядке проведения операций и предельно допускаемой погрешности отсчета.

Результаты поверки оформляются или свидетельством о поверке, или извещением о непригодности поверяемого средства измерений.

В соответствии с ПР 50.2.006-94 средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверке. Первичной поверке подлежат средства измерений утвержденных типов при выпуске из производства и ремонта, при ввозе по импорту. Периодической поверке подлежат средства измерений, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы. Периодическую поверку должен проходить каждый экземпляр средства измерений. Периодической поверке могут не подвергаться средства измерений, находящиеся на длительном хранении. Внеочередную, инспекционную и экспертную поверки проводят при специально оговоренных случаях. Результаты этих поверок отражают в соответствующих актах поверки или в заключении экспертной поверки.

3.8. Погрешности измерений

Погрешности измерений – это отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины. Как бы тщательно ни проводилось измерение, какие бы точные средства измерений ни применяли, какими бы методами и приемами измерений ни пользовались, никогда нельзя узнать истинного (действительного) значения измеряемой величины, можно только лишь уменьшить значение погрешности измерений. Погрешность измерений представляет собой сумму целого ряда составляющих, каждая из которых имеет свою причину, обусловленную свойствами измеряемого объекта и средства измерений, внешними воздействиями на измеряемый объект и средства измерений, квалификацией и состоянием оператора и т. п.

В зависимости от формы выражения различают абсолютную и относительную погрешности измерений.

Абсолютной называют погрешность измерений Δ , вычисленную в тех же единицах, что и измеряемая величина, по формуле:

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}},$$

где $x_{\text{изм}}$ – результат измерения; $x_{\text{д}}$ – действительное (истинное) значение измеряемой величины.

Относительная погрешность (δ) представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины и выражается в процентах или долях измеряемой величины. Относительную погрешность находят из отношений:

$$\delta = \Delta/x_{\text{д}} \text{ или } \delta = \Delta/x_{\text{д}} \cdot 100\%.$$

В зависимости от условий и режимов измерения различают статическую и динамическую погрешности.

Статической называют погрешность, не зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

Динамической называют погрешность, зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

В зависимости от характера проявления, возможностей устранения и причин возникновения различают систематическую и случайную погрешности.

Систематической Δ_c называют составляющую погрешности измерений, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайной Δ° называют составляющую погрешности измерений, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

В МИ 1317-86 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров» определены следующие группы характеристик погрешностей измерений:

- задаваемые в качестве требуемых или допускаемых – нормы характеристик погрешностей измерений или, кратко, нормы погрешностей измерений;
- приписываемые совокупности измерений, выполняемых по определенной (стандартизованной или аттестованной) методике – приписанные характеристики погрешности измерений;

– отражающие близость отдельного, экспериментально уже полученного результата измерения к истинному значению измеряемой величины – статистические оценки характеристик погрешностей измерений или, кратко, статистические оценки погрешностей измерений.

При массовых технических измерениях применяются, в основном, нормы погрешностей измерений, а также приписанные характеристики погрешности измерений. Они представляют собой вероятностные характеристики (характеристики генеральной совокупности) случайной величины – погрешности измерений.

При измерениях, выполняемых при проведении научных исследований и метрологических работ, часто применяются статистические оценки погрешности измерений. Они представляют собой статистические (выборочные) характеристики случайной величины – погрешности измерений.

В качестве вероятностных и статистических характеристик погрешности измерений используются: среднее квадратическое отклонение погрешности измерений или границы, в пределах которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью, или характеристики случайной и систематической составляющих погрешности измерений.

Математическое ожидание погрешности измерений представляет собой систематическую погрешность, и если ее значение известно и постоянно, то на нее в результат измерений вводится поправка. В других случаях используются характеристики неисключенной систематической погрешности.

В качестве характеристик случайной составляющей погрешности используются: среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерений (предел допускаемых значений, наибольшее возможное значение или оценка – в зависимости от характеристик погрешности измерений) и (при необходимости) нормализованная автокорреляционная функция случайной составляющей погрешности измерений или характеристики этой функции.

В качестве характеристик систематической составляющей погрешности измерений используются:

– среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической составляющей погрешности измерений;

– границы, в которых неисключенная систематическая составляющая погрешности измерений находится с заданной вероятностью (в частности, и с вероятностью, равной единице).

При необходимости средние квадратические отклонения составляющих погрешности измерений сопровождаются указанием принятой аппроксимации закона распределения вероятностей погрешности или его качественным описанием (например, симметричный, одномодальный и т. п.).

3.9. Погрешности средств измерений

Погрешности измерений определяются, главным образом, погрешностями средств измерений, но они не тождественны им. По происхождению различают инструментальные и методические погрешности. Инструментальные погрешности обусловлены, прежде всего, особенностями используемых в средствах измерений принципов и методов измерений, а также схемным, конструктивным и технологическим несовершенством средств измерений. К инструментальным погрешностям относится погрешность средств измерений в рабочих условиях, включающая в себя основную, дополнительные (из-за влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала) и динамическую погрешности. Инструментальные погрешности данного средства измерений определяются при его испытании и указываются в технической документации (паспорте, формуляре, свидетельстве о поверке и др.). Методические погрешности обусловлены неадекватностью принимаемых моделей реальным объектам, несовершенством методов измерений, неопределенностью объекта измерения, упрощением зависимостей, положенных в основу измерений, а также взаимным влиянием средства измерений, объекта исследования и экспериментатора.

В общем виде *погрешность средства измерений* – это отклонение его реальной функции преобразования от номинальной. Если реальная характеристика смещена относительно номинальной на одну и ту же величину при всех значениях преобразуемой величины, то такая погрешность называется аддитивной, или погрешностью нуля. В случае если она является систематической, то может быть скорректирована смещением шкалы или нулевого поло-

жения указателя. Если же отклонения реальной характеристики от номинальной пропорциональны текущему значению преобразуемой величины, то такая погрешность называется мультипликативной или погрешностью чувствительности. Разделение погрешностей на мультипликативные и аддитивные весьма существенно при решении вопроса о нормировании погрешностей средства измерений, о выборе метода оптимальной обработки получаемой информации о значении измеряемой величины. Если средству измерений присуща только аддитивная погрешность или она существенно превышает другие составляющие, то погрешности средств измерений целесообразно нормировать абсолютной погрешностью. Мультипликативная погрешность увеличивается с увеличением измеряемой величины, поэтому ее относительное значение остается постоянным во всем диапазоне. Погрешность средства измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью целесообразно нормировать в виде относительной погрешности.

Приведенная погрешность средства измерений – относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерений отнесена к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Условно принятое значение величины называют нормирующим значением. Часто за нормирующее значение принимают верхний предел измерений. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

Основная погрешность средства измерений – погрешность средства измерений, определяемая в нормальных условиях его применения.

Дополнительная погрешность средства измерений – составляющая погрешности средства измерений, дополнительно возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Динамическая погрешность средства измерений – погрешность средства измерений, возникающая дополнительно при измерении переменной физической величины и обусловленная несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения входного сигнала.

Глава 4

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН (ПРОМЕР)

4.1. Подводный рельеф

Одним из важнейших объектов океанографических исследований является рельеф дна. Рельефом называют совокупность неровностей земной поверхности, различных по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития. Рельеф того или иного участка складывается из многократно чередующихся и повторяющихся по размерам и по внешнему виду форм. Формами рельефа называют естественные тела, представляющие собой обособленные части земной поверхности, сравнимые, в известной степени, с геометрическими фигурами. Важной характеристикой рельефа служат размеры его форм, которые классифицируются следующим образом: планетарные формы, мегаформы, макроформы, мезоформы, микроформы и наноформы.

Планетарные формы (геотекстуры) – крупнейшие формы рельефа, определяющие облик нашей планеты. Они занимают огромные площади, исчисляемые сотнями тысяч и даже миллионами квадратных километров. Наиболее отчетливыми представителями планетарного рельефа являются океаны и материки.

Мегарельеф – крупнейшие формы рельефа, площадь которых составляет десятки или сотни тысяч квадратных километров. В качестве примера подобных форм могут служить котловины океанов, а на суше – горные системы.

Макрорельеф – крупные формы рельефа, занимающие площади в сотни, тысячи и, значительно реже, десятки тысяч квадратных километров. К ним относятся отдельные хребты, плато, *абиссальные равнины*.

Мезорельеф – средние формы рельефа, занимающие площади в пределах от нескольких десятков квадратных километров. Обычно это небольшие хребты, скопления абиссальных холмов, участки грядового рельефа.

Микрорельеф – мелкие формы рельефа, осложняющие поверхность мезоформ. Примером такого рельефа являются береговые валы, эрозионные рытвины.

Нанорельеф – самые мелкие формы рельефа, возникающие в пределах микро- и мезоформ. Типичным представителем такого рельефа является рябь на морском дне.

Важнейшей задачей морских гидрофизических исследований (согласно стандарту СЭВ 3849-82, гидрография – наука, изучающая рельеф и грунт морского дна в интересах мореплавания и использования природных ресурсов) является подводный рельеф, под которым понимают совокупность всех форм поверхности морского дна. Морское дно – часть поверхности земной коры, находящаяся в пределах моря ниже его уровня. Подводный рельеф по сложности не уступает суше, а отдельные его участки по степени горизонтальной и вертикальной расчлененности даже превосходят ее.

Подводный рельеф и донные грунты изучают, прежде всего, как источник навигационной опасности. Кроме того, эта информация может быть использована для выбора пунктов базирования, якорных стоянок, организации промысла, разведки и добычи полезных ископаемых, строительства гидротехнических сооружений, прокладки нефте- и газопроводов, подводных кабелей, а также как первичный материал для фундаментальных наук о Земле. Большое значение имеют и сведения о рельефообразующих процессах и характере донных осадков.

Для изучения подводного рельефа необходимо измерить глубины на всей обследуемой акватории. Такая съемка подводного рельефа называется *промерными работами*, или просто *промером*. Главными его задачами являются: определение подводного рельефа и характера грунта дна; выявление и обследование характерных форм рельефа; навигационных опасностей; участков, удобных для подхода и высадки на берег; детальное обследование фарватеров, гаваней и мест якорных стоянок. Однако задача промера состоит еще и в достоверном выяснении взаимного расположения различных форм подводного рельефа и правильном определении абсолютного положения изученных районов на земной поверхности. Важной особенностью промера является то, что подводный рельеф отделен от наблюдателя непрозрачным слоем воды. Здесь не мо-

жет использоваться способ целесообразного подбора точек измерения глубин. Для более полной характеристики дна важно получить также и сведения о грунтах. В последние годы интерес к изучению грунтов вырос в связи с расширением добычи в шельфовой зоне полезных ископаемых, что обосновывает организацию специальных работ по исследованию донных грунтов – *грунтовую съемку*.

Важнейшей составной частью всех этих работ являются наблюдения за колебаниями уровня моря для проведения измеренных глубин к единой уровенной поверхности.

4.2. Характеристика форм подводного рельефа

На Международном географическом конгрессе в 1889 г. впервые была принята классификация подводного рельефа, которая, правда, позднее претерпела довольно значительные изменения. Среди наиболее крупных (планетарных) форм, связанных с геологической структурой и типом земной коры, можно отметить: береговую линию, подводную окраину материков; переходные зоны; срединно-океанические хребты; ложе океана.

Характерной внешней и самой молодой чертой подводного рельефа является **береговая линия**, которой является граница, где водная поверхность пересекается с сушей. Ее положение не остается неизменным. Даже не учитывая тектонические процессы, перемещение береговой линии возможно под влиянием колебаний уровня различного происхождения, а также под воздействием интенсивных процессов размыва или аккумуляции. Следовательно, под береговой линией подразумевается некоторое среднее положение границы между морем и сушей в данный период.

Полоса суши, непосредственно примыкающая к береговой линии и формирующая рельеф под воздействием процессов, протекающих в море, при существующем среднем уровне, называется *берегом*.

Побережьем называется часть суши, граничащая с берегом. В пределах побережья формы рельефа создавались морем при древних, более высоких уровнях. Прибрежная полоса моря, где складывается активная рельефообразующая роль процессов, протекающих в море, называется *подводным береговым склоном*. Бе-

рег и подводный береговой склон составляют *береговую зону*. Здесь наиболее активно и протекают современные процессы взаимодействия суши и моря.

В зависимости от преобладающего влияния тех или иных процессов выделяют два основных типа морских берегов: абразионные и аккумулятивные. *Абразионные берега* характеризуются крутым высоким уступом, сложенным коренными породами и образованным разрушительной работой волн. С течением времени происходит скопление обломочного материала непосредственно у подножия уступа (обрыва), что способствует зарождению пляжа, который может перестраиваться при каждом волнении. *Аккумулятивные берега* характеризуют широкие пляжи, береговые пляжи, косы, низкос побережье.

В зависимости от степени изменения исходных берегов можно привести некоторые типы берегов.

Фьордовый берег отличается многочисленными узкими, извилистыми и глубокими заливами (фьордами), вдающимися в сушу на десятки километров. Этот берег имеет крутые, часто отвесные склоны, сложенные твердыми горными породами.

Шхерный берег характерен сложным рельефом с большим количеством заливов неправильной формы со скалистыми берегами. В заливах и вдоль берега находится большое количество невысоких и небольших островов, рассеяны многочисленные подводные скалы, мели и банки.

Далматинский берег характеризуется вытянутыми параллельно общему направлению многочисленными островами, полуостровами, заливами и проливами. Все берега здесь сложены коренными породами и отличаются большой крутизной.

Риасовый берег отличается большой расчлененностью и образуется там, где горные хребты подходят почти перпендикулярно берегу. После опускания суши море затопило многочисленные долины и превратило их в вытянутые клиновидные заливы.

Выровненный берег имеет слабую извилистость береговой линии и низменный пляж, к которому со стороны суши могут примыкать крутые склоны возвышенностей, сложенные твердыми породами.

Лиманный берег сходен с рiasовым, но образуется путем затопления морем речных долин, образующиеся при этом заливы называются лиманами.

Лагунный берег похож по внешнему виду на лиманный, но в этом случае мелководные заливы (лагуны) вытянуты вдоль общего направления низких берегов и вдаются в сушу, сложенную рыхлыми породами. Здесь наблюдаются две береговые линии. Внутренняя, как правило, очень извилистая, и внешняя, образованная береговым баром и отличающаяся прямизной.

Дельтовый берег наблюдается при впадении крупных рек в море и отличается низменным побережьем, раздробленным многочисленными протоками и рукавами.

Коралловый берег окаймлен коралловым рифом, образования которого или вплотную подходят к берегу, образуя береговой окаймляющий риф, или находятся в некотором удалении от берега, давая начало барьерному рифу.

Мангровый берег образуется у побережья тропических морей, где к береговой линии подходят густые мангровые леса. Там происходит быстрое развитие аккумулятивного берега и продвижение его в сторону моря, что связано с накоплением наносов под пологом воздушных корней при отливе.

Подводная окраина материков занимает 22,6 % площади Мирового океана и подразделяется на шельф, материковый склон и материковое подножье.

Шельф, или *материковая отмель*, является мелководной равниной. С одной стороны, границей шельфа служит береговая линия, а с другой – крутой изгиб профиля на переходе к материковому склону, называемый *бровкой шельфа*. Глубина внешнего края шельфа колеблется от 50 – 60 до 400 – 500 м, ширина – от нескольких км до 1500 км, угол наклона – от нескольких минут до 5°. Общая площадь, занятая шельфом, составляет 31 081 000 км². В его строении отчетливо выделяются внутренняя, средняя и внешняя части.

Внутренняя часть, простирающаяся от побережья до глубин порядка 100 м, носит название прибрежная отмель. Здесь образуются быстро изменяющиеся формы рельефа, которые называются динамическими.

Средняя часть наиболее заметна на широких шельфах и характеризуется меньшими уклонами дна, выровненной поверхностью и распространением илистых грунтов.

Внешняя часть, как правило, располагается за пределами 100-метровой изобаты и отличается более расчлененным рельефом. Ее формы рельефа аналогичны рельефу примыкающих окраин материков.

Следует отметить, что промером шельф охвачен больше, чем любой другой участок дна Мирового океана.

Материковый, или *континентальный склон* располагается между шельфом и материковым подножием. Он характерен резким уклоном своей поверхности в сторону ложа океана со средней глубиной внешнего края 3660 м, со средней шириной 70 км и со средним уклоном $3^{\circ}26'$. Рельеф склона отличается сложным строением и напоминает горные рельефы суши.

Материковое подножие примыкает к материковому склону, отделяя его от ложа океана, и характеризуется мощным слоем осадков (в основном терригенного происхождения), под которыми залегает кора материкового типа. Рельеф подножия представляет собой аккумулятивные равнины, расчлененные руслами суспензионных потоков, конусами выноса и долинами.

Переходная зона располагается на стыке океанов и материков, и здесь происходит перестройка материкового типа земной коры в океанический. Площадь океанического дна, занятого переходной зоной, занимает 30 600 000 км².

Срединно-океанические хребты представляют собой широкие, раздробленные поднятия океанической коры, ось которых часто приурочена к средней линии океанов.

Ложе океана характеризует область океанического дна, лежащего за пределами материкового склона и глубоководных желобов на глубинах более 3000 м. Ложе океана представляет собой крупночешуйчатую структуру, созданную сочетанием грандиозных котловин с разделяющими их хребтами и возвышенностями.

4.3. История развития промера

Первые сведения об океане в большинстве своем поступали от путешественников и капитанов судов, интересовавшихся в первую очередь возможностями навигации и обеспечения безопасности

мореплавания. Этим путем на протяжении веков накапливалась информация о приливах, течениях и глубинах, в основном в мелководных районах. Насколько проста история обычного промера, настолько сложна история промера глубоководного. Еще на заре мореплавания появился ручной лот – веревка с грузом на конце (в таком виде он существует и в настоящее время). Первые сведения о промере отмечаются еще в «Естественной истории» Плиния Старшего (23 г. до н.э. – 79 г. н.э.): «Наибольшая глубина Черного моря, по словам Фабиана, достигает 15 стадий (2700 м), другие считают, что в 300 стадиях от берега земли племени кораксов Черное море неизмеримо, и там еще никто не достигал его дна». Это высказывание явно говорит о непосредственном измерении глубин. Следующая, отмеченная в истории, попытка измерения глубин в открытом море принадлежала Магеллану, пытавшемуся ее совершить в своем кругосветном плавании в Тихом океане у о-вов Св. Павла и Тиборона. Монах Георг Фурнье в своей книге «Гидрография» отмечает, что, даже связав все судовые снасти, Магеллан получил лотлинь длиной 400 морских сажень (около 730 м) и не достал дна. До конца средних веков повсеместно господствовало мнение, опиравшееся на авторитет Аристотеля, что океаны являются бездонными пропастями.

Первым подтверждением возможности измерять достаточно большие глубины можно считать попытку английского капитана Фипса в 1773 г., когда он, пытаясь как можно глубже опустить термометры в воду, положил их на грунт. Вытравливая за борт лить с термометрами, через какое-то время он заметил, что лить стал сбегать чуть медленнее. При подъеме термометров, начиная примерно с того же места, выбирать лить стало трудней. В этом месте на лить наложили марку и, выбрав, измерили длину лить от марки до груза (~1250 м), который был покрыт илом.

В 1798 г. горный заседатель (берг-гешворен) Никита Карелин и мастера (унтер-шихтмейстеры) Егор Крылов и Сергей Сметанин выполнили на Байкале два промерных галса общей протяженностью около 120 км с 28 промерами глубин, из которых 5 превышали 1000 м с максимальной глубиной 1238 м.

Во время плавания на шлюпе «Предприятие» под командованием О. Е. Коцебу в 1823 – 1826 гг. Э. Х. Ленц использовал для

проведения глубоководного промера сконструированную его учителем, профессором Дерптского университета Е. И. Парротом, специальную лебедку с автоматическим тормозом, срабатывающим при достижении дна лотом. При этом Ленц учитывал угол наклона троса. Подобный способ был использован в 1868 г. капитаном Ф. Н. Кумани на корвете «Львица» при выполнении глубоководного промера в Черном море для изыскания трассы кабеля.

В принципе только в 50-е годы XIX в. началась «компания» измерения больших глубин, вызванная практическими задачами – прокладкой тихоокеанского телеграфного кабеля. Эти работы проводились под руководством Мэтью Фонтейн Мори – лейтенанта военно-морского флота США. Первые попытки оказались неудачными, пока вместо обычного лотлиния не стали использовать тонкий шнур, а вместо груза – пушечное ядро. Помощник Мори – мичман Брук в 1853 г. сконструировал лот, воспользовавшись идеей Петра I (рис. 4.1), в котором для объективного свидетельства о достижении дна трубка лота была полая и наполнена салом, что позволяло захватывать образцы грунта дна. Для увеличения точности данного метода, его использовали в комплексе со специальной вертушкой, измеряющей пройденный путь, известной под названием вертушки Бауэра-Мори.

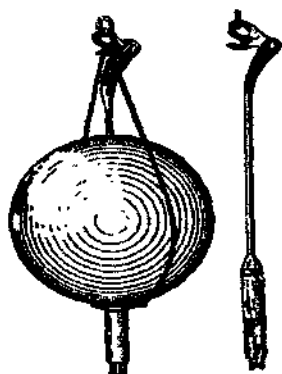


Рис. 4.1. Лот Петра I – Брука.

В 1872 г. Томсоном (один из учредителей Индо-Европейской телеграфной компании) был получен патент на промерную лебедку с автоматическим тормозом и проволочным лотлинем, прообразом которой явилась лебедка Паррота и Ленца. Лебедка Томсона успешно использовалась в экспедиции Шпиндлера в 1890 – 1891 гг. на промерах в Черном море. Прокладка подводного кабеля выя-

вила насущную необходимость знаний о глубинах океана. Батиметрическая карта Северной Атлантики, созданная Мори в 1873 г., базировалась примерно на 800 измерениях и на ней удалось пока-

зять черты рельефа дна: континентальный шельф, глубоководные котловины и срединный хребет. А более подробная батиметрическая карта всего Мирового океана, составленная в масштабе 1 : 10 000 000 только в 20-е годы XX в., основывалась лишь на 17 856 промерах, т.е. один промер на 20 000 км².

Попытки использования более рациональных способов измерения глубин, например, с применением эха, предпринятые Боникестлем, Колодоновым, Мори и другими, не увенчались успехом. Первые эхолоты появились лишь в 1918–20 гг. в Германии (эхолот Бема), во Франции (эхолот с самописцем конструкции Марти), в Америке (эхолот Фессендена). В 20-х гг. были созданы первые ультразвуковые эхолоты (Ланжевен, Шиловский, Флориссон). И в настоящее время эхолоты различных систем являются основным средством проведения промерных работ.

4.4. Цели и состав гидрографических исследований

Гидрографические исследования заключаются в изучении отдельных районов гидросферы и включают в себя научное проектирование, выполнение гидрографических работ, обработку и анализ их результатов. Одним из основных способов хранения и представления результатов гидрографических исследований является морская карта – важнейший источник гидрографической информации о Мировом океане.

Гидрографические работы, выполняемые для получения сведений о подводном рельефе с целью последующего его изображения на картах, называют съемкой рельефа дна. По материалам съемки составляют или корректируют морские карты.

Задача съемки заключается не только в достоверном определении взаимного расположения различных объектов в море, но и в указании точного положения изученных районов на поверхности Земли, что осуществляется их плановой привязкой к единой системе координат земного эллипсоида.

Измеренные при выполнении съемки глубины являются вертикальными расстояниями от поверхности воды до дна. Но в море положение поверхности воды непрерывно меняется. Поэтому при составлении карт эту поверхность нельзя принимать за отсчетный

уровень, а отсутствие в море нивелирных сетей не позволяет осуществлять передачу высот традиционными геодезическими методами. Все это требует разработки специфической методики высотного обоснования гидрографических работ.

Учитывая, что морская вода плохо пропускает электромагнитные волны в довольно широком диапазоне, требуются существенные отличия в принципах, конструкции и методах использования измерительной аппаратуры, по сравнению с наземными топографическими работами. Так, например, аэрофотосъемка в море используется только на малых глубинах, но и здесь сказывается различие оптических свойств двух сред – воды и воздуха. Наиболее пригодными для измерений в морской воде являются акустические волны. Поэтому современные гидрографические исследования в основном опираются на гидроакустическую аппаратуру: эхолоты, эхографы, эхотралы, гидролокаторы, гидроакустические навигационные системы.

В организационном плане гидрографические исследования осуществляются в три этапа: подготовка к исследованиям, выполнение работ в море и обработка полученных результатов.

Подготовительный этап заключается: в научном планировании, состоящем в определении района и задач гидрографических исследований, а также изучении предшествующих материалов; в выборе видов работ, методов и средств для проведения исследований; в подготовке плавсредств, аппаратуры, личного состава, выполнении предварительных расчетов и построении рабочих планшетов.

В состав собственно гидрографических работ в общем случае входят: геодезическая подготовка района работ (плановое обоснование); определение нуля глубин (высотное обоснование) и приведение измеренных глубин к нулю глубин; съемка рельефа дна; гидрографическое траление; морская грунтовая съемка; топографическая съемка прибрежной полосы; сбор сведений для лоций.

Плановое обоснование производится с целью надежного и точного определения положения обследованных акваторий на земной поверхности. В качестве нуля глубин на картах, издаваемых гидрографической службой нашей страны в настоящее время, принимают: на неприливных морях – средний, многолетний уровень; на приливных морях – наинизший теоретический уровень,

рассчитанный исходя из действия приливообразующих сил Луны и Солнца. К приливным морям здесь относятся такие, на которых средняя величина прилива равна или более 50 см.

В районах с относительно малыми глубинами (0 – 50 м) и сложным рельефом дна, если в этих районах осуществляется интенсивное судоходство, применяются следующие способы съемки для обеспечения наиболее полной гарантии навигационной безопасности плавания:

- от уреза воды до глубин естественной прозрачности воды выполняется площадное обследование с помощью аэрофотосъемки. Полученные при этом материалы позволяют определить глубины и выявить участки со сложным характером рельефа, которые дополнительно обследуются эхотралами и при необходимости производится также гидрографическое траление, а на отдельных небольших участках – водолазное обследование. Гидрографическое траление заключается в сплошном, без разрывов, обследовании отдельных акваторий с помощью специальных устройств (гидрографических тралов), позволяющих выявить все навигационные опасности, глубина над которыми меньше допустимой;

- на глубинах от естественной прозрачности до 30 м в районах, имеющих важное навигационное значение, проводится площадное обследование эхотралами, в необходимых случаях выполняется гидрографическое траление, а на отдельных небольших участках – водолазное обследование. В остальных районах выполняется промер с инструментальной оценкой рельефа дна. Выявленные участки с признаками навигационных опасностей обследуются стужением галсов промера, площадным обследованием эхотралами, а при необходимости, водолажным обследованием;

- на глубинах 30 – 50 м, в районах с важным навигационным значением и сложным рельефом выполняется промер с инструментальной оценкой рельефа дна.

На глубинах более 50 м выполняется промер. На участках с признаками навигационной опасности стужают галсы промера, который в диапазоне глубин 50 – 200 м проводят в сочетании с инструментальной оценкой рельефа дна.

Площадное обследование с помощью аэрофотосъемки производится совместно с разряженным промером, а стужение промера

производят после обработки материалов аэрофотосъемки (определение глубин) фотограмметрическим или стереофотограмметрическим способами. В районах, где требуется выполнение промера с инструментальной оценкой рельефа дна, они производятся одновременно с одного судна.

При площадном обследовании с помощью аэрофотосъемки маршруты прокладываются вдоль общего направления берега, а продольное перекрытие снимков должно составлять не менее 60 %. Разряженный промер выполняется с условием, чтобы на каждый снимок приходилось не менее трех галсов промера.

При площадном обследовании эхолотами ГЭТ-2 съемка производится одним покрытием, при инструментальной оценке эхографом бокового обзора – одним двусторонним покрытием, эхолотом типа ГЭТ-1 – двумя системами пересекающихся галсов. Перекрытие двух смежных полос обзора должно быть не менее двух средних квадратических погрешностей определения места.

При промере с инструментальной оценкой рельефа дна междугалсовые расстояния рассчитываются исходя из ширины полосы обзора средств инструментальной оценки и величины перекрытия смежных полос обзора. При промере междугалсовые расстояния основного покрытия выбираются в зависимости от характера рельефа дна и глубин с учащением галсов при уменьшении глубин и изрезанности рельефа (диапазон расстояний может быть от 0,05 до 20 км).

Измерение глубин при съемке с использованием эхолотов или эхолотов ведется непрерывно с записью их на аналоговом самописце или магнитном носителе. При использовании наметок и ручных лотов глубины измеряют через промежутки не более четверти междугалсового расстояния, при резком изменении глубин и больших уклонов дна расстояние уменьшают в два раза. У причальных сооружений глубины измеряют на расстоянии 1, 3, 5, 7, 10 м от стенки и далее через 5 м, а на откосах и бровках каналов – не реже чем через 5 м.

Съемка рельефа дна и гидрографическое траление, давая информацию о глубинах и характере изрезанности рельефа, не позволяют судить о генетических признаках рельефа, что позволяет получить лишь изучение донных грунтов (морская грунтовая

съемка). Сведения о донных грунтах имеют не только научные, но и прикладные цели: выбор места якорных стоянок и районов укладки на грунт глубоководных аппаратов, строительство гидротехнических сооружений, прокладки нефте-, газопроводов и подводных кабелей. Кроме того, изучение донных грунтов необходимо с ростом поиска и добычи полезных ископаемых. Все это повышает требования к изображению на картах также подводной растительности и ареалов распространения живых организмов, что тоже входит в комплекс гидрографических работ.

И, конечно же, в состав гидрографических работ входит исследование гидрометеорологических параметров. Наблюдения над такими характеристиками, как течения, термохалинная структура вод Мирового океана являются их составной частью.

На третьем, последнем, этапе производится: обработка всей полученной в море информации с целью достижения наибольшей точности и достоверности выполненных измерений; составление отчетных планшетов и описаний; научный анализ полученных результатов; составление научно-технического отчета с оценкой полученных материалов.

4.5. Средства для съемки рельефа дна

С древних времен основная информация о подводном рельефе поступала путем измерения глубин. По мере развития мореплавания, совершенствования судов, увеличения их тоннажа, развития хозяйственного освоения океанов, создания на его дне и на поверхности нефте- и газопроводов, кабельных сетей, буровых и добывающих сооружений росли требования к качеству данных о рельефе дна, что, в свою очередь, потребовало создания новых, все более совершенных средств.

Основные требования к современным средствам для съемки рельефа можно сформулировать следующим образом:

- получение надежных данных в пределах всего диапазона глубин Мирового океана (0 – 12 000 м), обеспечивающих нужды картографирования и решение научных и производственных задач;

– проведение измерений, регистрации и архивирования получаемой информации в автоматическом режиме с возможностью ее представления в реальном масштабе времени;

– возможность непрерывной работы в течение длительного времени; ограниченные габариты, вес и потребление энергии; небольшая стоимость аппаратуры и ее эксплуатации.

По своему принципу действия все существующие в настоящее время средства для съемки рельефа дна можно подразделить на механические, гидроакустические и оптические.

Механические средства измеряют глубины непосредственно в линейной мере. Они являются первыми приборами для измерения глубин. Из многочисленных приборов этой группы до наших дней дошли наметка, ручной и тяжелый лоты со стальным лотлинем.

Наметка предназначена для измерения глубин до 5 м. Она представляет собой еловый, бамбуковый или алюминиевый шест круглого сечения диаметром 5 – 6 см и длиной 6 – 7 м. Наметка окрашивается белой краской и разбивается черной краской на дециметровые деления. Четные дециметры обозначаются красными цифрами. Отсчеты глубины производят с точностью до 0,1 м. При измерении глубин на участках с мягким грунтом на нижний конец наметки (пятку) надевают башмак – диск диаметром 10 – 12 см. Наметкой измеряют глубины со шлюпок или катеров, когда использование эхолотов или эхотралов невозможно, например, из-за густых водорослей. При наличии волнения на море отсчеты производятся в моменты прохождения гребня волны и ее подошвы, а глубина определяется как среднее из этих отсчетов.

Ручной лот со стальным лотлинем диаметром 2 – 3 мм и свинцовым грузом пирамидальной или конусообразной формы и массой 2 – 5 кг. В основании лота делается углубление, заполняемое пастой или мылом для получения образцов грунта. Лот предназначен для измерения глубин до 25 м, в основном, вдоль причальных стенок, на отмелях, в узкостях, небольших портах и гаванях, где возможно перемещаться только с помощью шлюпок, а также при промере со льда и в процессе тарировки эхолотов. При промере лотами отсчет глубины производится по ближайшей погруженной в воду марке, наложенной на лотлинь, при вертикальном положении лота в момент касания им дна.

Тяжелый лот массой до 32 кг прикрепляется к тросу, который пропускается через блок-счетчик ручной или электрической леебедки. При измерении глубины лот выводится за борт. В момент касания лотом водной поверхности стрелка блок-счетчика ставится на 0. Затем трос травят. В момент касания лотом дна производится отсчет глубины места по счетчику. При подъеме лота в момент выхода его на поверхность моря производят контрольный отсчет по счетчику, который должен совпадать с первоначальным (нулевым) отсчетом.

Гидроакустические средства основаны на закономерностях распространения акустического импульса в морской воде и его отражения от поверхностей раздела двух сред и они в настоящее время являются основным инструментом при съемке подводного рельефа. Среди гидроакустических средств различают эхолоты, многолучевые гидроакустические устройства и эхографы бокового обзора.

Эхолот – судовой навигационный прибор для измерения глубин, представляющий собой однолучевое гидроакустическое устройство для измерения вертикальных расстояний от излучателя до дна по скорости V распространения звука в воде. Глубину места H можно определить как отношение

$$H = 0,5Vt,$$

где t – время прохождения электрическим импульсом расстояния от излучателя до дна и обратно. Для точного измерения небольших промежутков времени используют механическую или электронную развертки.

При механической развертке моменты излучения акустических импульсов реагируют на эхограмме в виде прямой линии, служащей началом отсчета, а моменты приема отраженных сигналов – в виде профиля дна. При электронной развертке время регистрируется с помощью высокостабильных генераторов кодовых импульсов на цифровых указателях глубин (ЦУГ), на технических носителях данных или подается непосредственно на ЭВМ для последующей обработки.

Эхолоты классифицируют по тактико-техническим параметрам: диапазон измеряемых глубин, направленность излучения, разрешающая способность, частота посылки импульсов, инстру-

ментальная точность. Все эти параметры зависимы и их подбирают так, чтобы с помощью данного типа эхолота наилучшим образом решить узкую задачу.

По диапазону измеряемых глубин эхолоты делятся на мелководные (промерные), предназначенные для измерения глубин до 300 – 500 м (ПЭЛ-3, ПЭЛ-4); среднеглубинные (навигационные) – для глубин до 2000 м (НЭЛ-10); глубоководные – для глубин до 12 000 м (ГЭЛ-3). Для промера на реках и озерах используют или промерные (ПЭЛ-4, ПЭЛ-5), или специальные речные эхолоты (ИРЭЛ).

Улучшение свойств эхолоты, в том числе увеличение точности измерений и разрешающей способности, достигается, в частности, путем направленного излучения акустического импульса. Степень направленности характеризуется углом раствора диаграммы, в пределах которого интенсивность колебаний изменяется от максимума до нуля. Различают эхолоты с широкой, нормальной диаграммой и узколучевые (прецизионные) эхолоты. Направленность обычных эхолотов ограничивают углом в среднем $0 \approx 10^\circ$, что позволяет измерять глубины в условиях небольшой качки. У прецизионных эхолотов угол излучения составляет $1 - 2^\circ$ и менее, что требует использования гиросtabilизирующих устройств для удержания оси диаграммы вдоль отвесной линии.

Разрешающая способность эхолотов – минимальное расстояние между объектами, регистрируемыми раздельно, – определяется из соотношения

$$l = 0,5V\tau,$$

где l – разрешающая способность эхолотов; τ – длительность импульса. У современных эхолотов τ колеблется в пределах от 10^{-4} до 10^{-5} с.

Частота посылок импульсов f_n , определяющая детальность съемки рельефа дна, ограничивается максимальной глубиной $H_{\max}$ и определяется из соотношений

$$H_{\max} = 0,5Vt_{\max}; t_{\max} = 2H_{\max} / V; f_n < 1/t_{\max}.$$

Отсюда расстояние между смежными точками измерения глубины окажется равным

$$S = V_c / f_n = V_c t_{\max},$$

где V_c – скорость судна при съемке рельефа дна, м/с.

Инструментальные погрешности современных эхолотов, обусловленные несовершенством конструкции и неизбежной нестабильностью отдельных ее элементов, составляют незначительную часть суммарной погрешности измерения глубин, состоящей, кроме того, из внешних и методических погрешностей. Выявление, учет и оценка двух последних погрешностей составляют важнейшую задачу гидрографии в процессе съемки. Оценка среднего квадратического значения инструментальной погрешности осуществляется с помощью специальных исследований, и оно заносится в паспорт каждого прибора.

К недостаткам эхолотов, при всей их точности и детальности съемки вдоль промерных галсов, относится наличие пространства между галсами, которое остается необследованным.

Многолучевые гидроакустические устройства объединяют приборы, создающие в толще морской воды направленное акустическое излучение, имеющее значительную протяженность по нормали к диаметральной плоскости судна. Акустическое поле здесь создается некоторым числом узконаправленных излучателей (от 3 до 100 в зависимости от конкретных целей и районов океана), каждый из которых работает на принципе отдельного эхолота либо формируется с помощью специальных антенных систем.

Многолучевые гидроакустические устройства по своим особенностям геометрии поля подразделяются: на приборы, формирующие акустическое поле вертикальными лучами с помощью некоторого числа приемо-излучателей, размещенных на забортных носителях, и приборы, формирующие акустическое поле наклонными лучами с помощью вибраторов или специальных гидроакустических антенн, установленных непосредственно на судах.

По структуре акустического поля различают приборы, образующие сплошной сектор за счет перекрывающихся или соприкасающихся диаграмм направленности, и приборы со смежными диаграммами направленности, находящимися на некотором удалении друг от друга. У нас в стране используются эхотралы и многолучевые эхолоты.

Первыми приборами для площадного обследования подводного рельефа были гидроакустические устройства, названные по аналогии с механическими тралами – эхотралами. Среди эхотралов встречаются оба типа многолучевых устройств.

Эхотралы первого типа объединяют большое число эхотралов с вынесенными за пределы судна вибраторами, установленными на жестких конструкциях в 1 – 2 м один от другого по траверзам левого и правого бортов. Отечественным представителем данного типа приборов является эхотрал ГЭТ-2, основными недостатками которого является низкая маневренность, малая скорость при обследовании акваторий и ограничения из-за погоды.

Вибраторы в эхотралах второго типа крепятся на подводной части судна, что обеспечивает жесткую ориентацию осевой линии характеристики направленности каждого канала под заданным углом γ относительно вертикали. Специальный подбор углов γ и углов θ диаграммы направленности позволяет, начиная с некоторой небольшой глубины, образовать взаимное перекрытие акустических лучей смежных каналов для получения глубины погружения всех подводных объектов в процессе траления. В этом случае собственно глубины измеряются только центральными вертикальными каналами, а остальные измеряют наклонные расстояния

$$L = 0,5 Vt,$$

которые можно перевести в глубины, с помощью выражения

$$H = L \cos \gamma_{\theta},$$

где γ_{θ} – угол падения кратчайшего луча в заданном канале.

Отечественный представитель данного типа приборов – гидрографический эхотрал ГЭТ-1.

Главное назначение эхотралов заключается в обнаружении подводных опасностей и обзоре междугалсовых промежутков для определения участков, где необходимо увеличение подробности съемки.

Использование эхотралов позволяет по сравнению с эхолотами увеличить ширину обследования на одном галсе. В эхотралах первого типа она определяется количеством вибраторов и расстоянием между ними, а в эхотралах второго типа она зависит от об-

щей ширины диаграммы направленности в вертикальной плоскости и меняется пропорционально глубине в районе исследований. Так, у эхотралов ГЭТ-1 при работе всех каналов ширина полосы обследований составляет $2,4H$. Но ГЭТ-1 имеют существенную суммарную погрешность измерения глубин за счет дополнительного искажения измерений рефракцией и увеличивается от центрального канала к крайним. В условиях качки погрешность увеличивается, что требует ограничения допустимых условий работ или создания стабилизации ориентирования каналов и учета углов качки.

Многочувствительные эхолоты формируют и сохраняют заданное направление вертикального и большого числа узких наклонных лучей, расположенных по нормали к диаметральной плоскости судна, с помощью специальных гидроакустических антенн. Разрешающая способность устройства в полосе сканирования определяется шириной луча, а число регистрируемых здесь глубин при одном зондировании – общим количеством лучей. Устройство может работать только при отсутствии дифферента, что позволяет устранить воздействие килевой качки, а бортовая качка учитывается при вычислении глубин по измеренному углу качки $\Delta\gamma$.

Эхографы бокового обзора – это гидролокационные системы с листообразной характеристикой направленности. В вертикальной плоскости ее раствор составляет несколько десятков градусов, а в горизонтальной менее 2° . Плоскость основного лепестка нормальна к диаметральной плоскости судна. Ультразвуковые импульсы периодически излучаются приемопередающими антеннами эхографов и при своем распространении в пределах диаграммы направленности последовательно облучают узкую полосу дна. При этом от каждого участка дна к антенне последовательно возвращаются эхо-сигналы. За время между смежными посылками импульсов судно смещается в новую точку, что позволяет очередному импульсу облучать новую полосу дна. Время от момента излучения до приема эхо-сигнала измеряется с помощью механической развертки. Эхо-сигналы регистрируются на движущейся ленте, прожигая бумагу. Яркость отметок эхограммы пропорциональна амплитуде отраженного сигнала, а их удаление от нулевой линии пропорционально наклонному расстоянию от приемника до соответствующей точки морского дна.

Каждый новый импульс регистрируется в новой строке эхограммы. Совокупность строк с отметками различной яркости создает теневое изображение рельефа дна и обеспечивает принципиальную возможность дешифрирования рельефа, которая, правда, остается одной из наиболее сложных задач при использовании эхографов. Кроме того, эхографы не позволяют получать количественную оценку глубин. В настоящее время эхографы бокового обзора используются для обследования подводного рельефа в промежутках между съемочными галсами с целью выявления сложных участков, требующих увеличенной подробности. К отечественным устройствам бокового обзора относятся гидрографический эхограф ГЭБО-100 и гидрографические комплексы ГКБО-500 и ГКБО-2000.

Оптические средства для съемки подводного рельефа основаны на закономерностях распространения света и свойствах оптического поля. В этом случае используются фотографирование и светолокация. Основными факторами, определяющими характеристику и возможности оптических средств съемки рельефа дна, являются: оптические свойства морской воды; мощность и энергетический спектр оптических излучателей; размеры и отражающие свойства форм подводного рельефа; контрастная чувствительность оптических приемников.

Фотографирование подводного рельефа в основном производится средствами *аэрофотосъемки* (АФС) со специальных серийных самолетов и вертолетов с использованием современных аэрофотоаппаратов (АФА). Результаты АФС подводного рельефа и побережья представляются в виде контактных отпечатков с аэрофотофильмов. Для подробного изучения микрорельефа дна используются подводные *стереофотоаппараты*, заключенные в водонепроницаемые боксы. В качестве источника света здесь применяются мощные импульсные устройства, работающие синхронно с фотокамерами. Стереофотоснимки позволяют получить объемную модель морского дна.

К достоинствам методов фотографирования следует отнести возможность получения большого количества информации за короткое время. Недостатки в основном объясняются малой прозрачностью воды (малыми глубинами), разными спектральными

характеристиками грунтов и отражением света от водной поверхности. Кроме того, изображение рельефа может быть получено только в фотолаборатории после обработки пленки, а картографирование сопряжено со сложным процессом обработки.

В последнее время для обследования дна стали использовать новые методы: *ультразвуковая локация рельефа* и *акустическая голография*. Ультразвуковая локация заключается в облучении ультразвуковыми волнами с последующим преобразованием отраженных сигналов в электрические и синхронным формированием визуального изображения на телевизионном экране. При акустической голографии дно облучается звуковой волной, а отраженный сигнал накладывается на когерентную опорную волну, создавая дифракционную картину объекта. Эта картина регистрируется и после облучения когерентным источником света, чаще всего лазером, создает видимое объемное изображение подводного рельефа. Приборы, основанные на подобных методиках, позволяют получить крупномасштабное изображение небольших участков дна, отличаются аппаратурой большой сложностью и позволяют производить съемку на расстояниях до 40 – 50 м с большой разрешающей способностью.

Лазерные средства для съемки подводного рельефа (светолокация) дают возможность измерять глубины через поверхность раздела воздух-вода при больших скоростях носителей аппаратуры. При этом используется измерение интервала времени t между моментами начала отражения световой энергии водной поверхностью и дном в каждом отдельном случае. Благодаря практически постоянной скорости распространения скорости света в воде устраняются погрешности, обусловленные флуктуациями термохалинных условий; малое рассеивание лазерного луча исключает погрешности за счет наклона дна, а малая длительность импульсов обеспечивает высокую разрешающую способность.

Глава 5

НАБЛЮДЕНИЯ НАД КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ МОРЯ

5.1. Общие положения

Колебания уровня моря – один из основных океанографических элементов, характеризующих динамику прибрежной зоны моря. Положение уровня моря непрерывно меняется. Большое количество факторов, вызывающих колебания уровня моря, является причиной их сложной структуры. Вследствие хаотического переплетения воздействия этих факторов на водную поверхность колебания уровня моря принято рассматривать как вероятностный процесс, закономерности которого различают по диапозонам межгодовой, сезонной, синоптической и мезомасштабной изменчивости. Действительно, энергетический спектр колебаний уровня имеет хорошо выраженные пики изменчивости с периодами 11 лет; 3, 4, 6, и 12 мес.; 4, 8, 12 и 24 ч.

Уже в глубокой древности колебания уровня моря обращали на себя внимание прибрежных жителей и мореплавателей. В местах с большими, в том числе и с приливо-отливными колебаниями уровня, в устьях судоходных рек, в заливах и бухтах, служивших естественными убежищами для мореплавателей, постепенно начинались наблюдения над уровнем. Вначале их вели, вероятно, без всяких приборов – по обнажающимся и вновь покрываемым водою скалам, камням и т.п., а затем, и уже довольно давно, появились простейшие устройства – *уровенные рейки* (измерительное устройство в виде рейки с делениями, предназначенное для непосредственного отсчета уровня моря).

Кроме задач мореплавания наблюдения за уровнем особенно важны при прибрежном гидротехническом строительстве и добыче полезных ископаемых на шельфе. Наблюдения в открытом море необходимы при гидрографических исследованиях – для привязки данных промера глубин к определенной уровенной поверхности.

В научном отношении измерения уровня важны для понимания физических процессов, происходящих в Мировом океане: приливо-отливных, динамики водных масс, их трансформации и т.п.

5.2. Основные понятия и определения

Под *уровенной поверхностью* понимается поверхность морей и океанов, нормальная к направлению силы тяжести.

Уровнем моря принято называть высоту поверхности моря, свободную от влияния ветровых волн и зыби, измеряемую относительно условного горизонта. В качестве условного горизонта, от которого производятся отсчеты высот уровня, можно использовать или, так называемый, *нуль поста* (условная, постоянная для данного уровенного поста поверхность, от которой отсчитываются уровни моря), или *единый нуль постов моря* (единая условная поверхность, от которой производится отсчет уровня моря на всех уровенных постах данного моря или ряда морей). За нуль поста обычно принимается самое низкое значение уровня моря, возможное в пункте наблюдений. Высотное положение нуля поста закрепляется на месте реперами, для которых фиксируются отметки (высоты) относительно Главной Государственной высотной основы, 1977 г.

Для рационального выбора уровенной поверхности, соответствующей нулю глубин, необходимо определить требования, которым она должна соответствовать. По мере развития мореплавания и в процессе совершенствования комплексного управления прибрежной зоной моря эти требования в настоящее время можно сформулировать следующим образом:

- определение понятия нуль глубин должно быть четким, исключающим ошибочные представления о его свойствах и количественных характеристиках;
- поверхность нуль глубин должна выбираться по единому физическому смыслу для всех морей;
- нули глубин должны быть постоянными по высоте (параллельны поверхности геоида) в пределах географически обособленных акваторий;
- положения уровня моря ниже нуля глубин по величине и продолжительности должны быть незначительными;

– карты, картографические и описательные материалы, таблицы приливов, а также другие пособия, где используются глубины, должны составляться на основе установленного для данного района единого нуля глубин;

– карты и другие картографические материалы, составленные с использованием принятого нуля глубин, должны быть пригодными для решения комплексного управления прибрежной зоной и в открытом море;

– глубина, измеренная в любой точке акватории и в любой момент, должна простыми приемами приводиться к нулю глубин карты;

– способы определения нуля глубин должны быть простыми и обеспечивать при этом высокую точность получения его высотной отметки.

За единый нуль постов у нас в стране на морях, имеющих связь с океанами, принят горизонт, лежащий на 5,000 м ниже нуля Кронштадского футштока, расположенного в месте, где впервые в России стали производиться систематические наблюдения за уровнем (1703 г.). Нуль Кронштадского футштока закреплен горизонтальной чертой на металлической пластине, укрепленной на устое моста в Кронштадте (рис. 5.1), расположенной на высоте, соответствующей среднему уровню за период 1825 – 1840 гг. Нуль Кронштадского футштока фиксирует положение нулевой поверхности системы абсолютных отметок высот (Балтийская система высот БС).



Рис. 5.1. Нуль поста Кронштадского футштока.

Таким образом, основные требования к измерениям уровня моря, а в данный момент определяются мгновенный уровень моря, заключаются в исключении короткопериодных колебаний, вызываемых ветровыми волнами и волнами зыби, и постоянство условного горизонта (принятого нуля отсчета). Гидрометеорологические и физико-географические условия района проведения наблюдений определяют требования к точности, дискретности и методике производства наблюдений, т.е. возможности использования того или иного вида приборов.

При исследовании колебаний уровня моря, прежде всего, необходимо учитывать величину и характер колебаний. Под *величиной колебаний уровня* понимают разность между наибольшим и наименьшим значениями уровня моря за определенный интервал времени, и они являются результатом наложения волновых колебаний различного происхождения.

Наиболее существенные изменения уровня наблюдаются на морях с наличием *приливо-отливных явлений* (динамические и физико-химические процессы в водах морей и океанов, вызванные приливообразующими силами), когда периодические повышения и понижения уровня могут составлять от 10 до 130 см/ч. Значительное влияние на колебания уровня оказывают и *сгонно-нагонные явления* – изменения уровня морей и океанов под воздействием ветра и атмосферного давления. При этом изменение уровня может достигать 30 – 40 см/ч. Кроме того, можно отметить *эвстатические колебания уровня моря* – изменения уровня Мирового океана, связанные с изменениями объема воды в нем, а также с изменениями емкости морей и океанов; *плотностные колебания уровня* – изменения уровня моря, обусловленные изменениями плотности воды; *бризовые колебания уровня моря* – сгонно-нагонные колебания уровня моря, вызванные воздействием бризовых ветров; *сейшевые колебания уровня моря* – свободные колебания уровня моря в виде стоячих волн в замкнутых и полужамкнутых водоемах, происходящие по инерции после воздействия внешних сил.

Применительно к проблеме КУПЗ наибольшее значение имеют сгонно-нагонные и приливо-отливные колебания уровня моря. Штормовые нагоны представляют собой вынужденные гравитационные волны. На мелководье их высота существенно возрастает,

что в сочетании с приливами и ветровыми волнами может приводить к катастрофическим последствиям. При сгонных явлениях уменьшаются глубины на борах, в гаванях и подходных портовых каналах, что в значительной степени затрудняет судоходство. Положение уровня при сгонах влияет на динамическое воздействие волн, течений и льдов на береговую черту и гидротехнические сооружения в прибрежной зоне.

Под воздействием длиннопериодных волн и длинных волн зыби (с периодом от 0,5 до 4 – 5 мин) в защищенных и открытых портах могут возникать горизонтальные почти периодические движения пришвартованных у причалов судов (тягун). Движение судов у причала при средней интенсивности тягуна может достигать 1 – 2 м, а в случае сильного тягуна даже 8 – 10 м, при этом данные волны в портах имеют в основном высоту порядка 10 – 20 см, а иногда их высота достигает 40 – 70 см. Сила, вызывающая эти движения, настолько велика, что растительные и даже стальные тросы (швартовы) иногда не могут удержать судно у причала и рвутся. Эти периодические сильные движения у причала затрудняют или делают невозможной разгрузку или погрузку судов, а иногда вынуждают их отходить на рейд. Такие явления могут приводить к разрыву швартовых тросов, срыву погрузо-разгрузочных работ и авариям.

Измерения колебаний уровня моря должны выполняться с необходимой для решения определенной задачи точностью, достаточной, например, для обеспечения нужд мореплавания (судоходство, расположение и эксплуатация причалов и якорных стоянок), гидрографии (картография, лоции, средства навигационного оборудования), океанографии (режимные обобщения, специальные исследования, расчеты и прогнозы), геофизики, гидротехнического проектирования и строительства, добычи полезных ископаемых в море и т.п.

5.3. Состав и объем работ

В рамках КУПЗ задач исследований является получение характеристик уровня, необходимых для определения параметров проектируемых сооружений, отметок дна для прокладки трубо-

проводов, а также для технико-экономического обоснования и организации предстоящих работ в прибрежной зоне моря.

Надежные характеристики уровня могут быть получены по материалам многолетних систематических наблюдений на ГМС и ГМП Роскомгидромета. Но эти пункты наблюдений, как правило, расположены на значительном расстоянии друг от друга. Поэтому использование указанных характеристик в данном конкретном районе без дополнительных исследований не всегда возможно.

При проведении наблюдений за уровнем постоянная информация необходима не менее 4-х раз в сутки, т.е. раз в шесть часов. При сгонно-нагонных колебаниях наблюдения должны производиться каждый час, а при опасных для района повышениях или понижениях уровня и чаще. На практике часто приходится пользоваться и средним уровнем моря – величиной, полученной в результате осреднения наблюденных значений уровня за определенный интервал времени.

При проведении работ по комплексному управлению прибрежной зоны необходимо выполнять исследования колебаний уровня моря в следующем составе:

- сбор, систематизация и оценка имеющихся материалов наблюдений за колебаниями уровня в данном районе и анализ результатов предыдущих наблюдений;
- сбор дополнительных материалов, включающий в себя рекогносцировочные работы, оборудование уровенных постов и их высотную привязку, производство наблюдений и первичную обработку получаемых данных;
- статистическая обработка и обобщение материалов наблюдений и расчет режимных характеристик.

В результате исследований должны быть получены основные характеристики колебаний уровня моря в исследуемом районе. В каждом конкретном случае состав и объем наблюдений определяются программой работ и зависит от физико-географических условий района и задач исследований.

5.4. Обоснование необходимости исследований

С целью выполнения комплексного управления прибрежной зоной моря наблюдения за уровнем проводятся в том случае, если

имеющиеся материалы не позволяют получить необходимые характеристики и параметры. Планируемые работы должны учитывать освещенность района исследований, величину и характер колебаний уровня, его пространственную изменчивость. В зависимости от конкретных условий обосновывается установка одного или нескольких уровенных постов. Необходимо, чтобы наблюдениями были охвачены все сезоны. На стадии перспективного планирования требуемые сведения по уровню в большинстве случаев могут быть получены на основе имеющихся обобщенных данных, содержащихся в справочниках, атласах и других пособиях.

Наблюдения за уровнем обязательно должны быть подкреплены данными метеорологических наблюдений. Для этой цели можно воспользоваться результатами метеорологических наблюдений, выполненных непосредственно на близлежащих ГМС и ГМП, если они удалены от места исследований не более чем на 15 км и находятся в аналогичных физико-географических условиях. В противном случае в исследуемом районе следует предусмотреть оборудование метеоплощадки, на которой будут проводиться стандартные метеонаблюдения.

5.5. Методы измерения колебаний уровня моря

Колебания уровня моря отличаются амплитудно-частотными характеристиками и требуют специально организованных систематических измерений. Практически во всех приморских странах организована, как правило, сеть постоянных береговых и островных *уровенных постов* (место, оборудованное для наблюдений над уровнем моря). Кроме стационарной сети для решения отдельных задач ведутся эпизодические наблюдения на временных постах.

Все эти измерения производятся различными типами приборов, включая и простую уровенную рейку. При этом необходимо отметить, что проведение систематических измерений уровня связано со значительными затруднениями, вызываемыми физико-географическими, гидрофизическими и гидродинамическими условиями прибрежной зоны. Это и большая осушка, и открытый берег, и большие скорости течений, и перенос твердых частиц, и ледовые явления, и разрушение берегов, и обрастание измерительных приборов и т.п. Подобные условия требуют для установки из-

мерительных приборов строительства капитальных дорогостоящих сооружений, а иногда приходится ограничиваться созданием временных, сезонных уренных постов, но даже и это не всегда оказывается возможным.

В состав работ по организации уренного поста входят:

- выбор места;
- составление проекта сооружений и его согласование с территориальными УГМС;
- сооружение и оборудование измерительных устройств (уренных реек, мареографов);
- установка реперов;
- высотная привязка к ближайшим реперам государственной нивелирной сети;
- нивелирование измерительных устройств.

Прибрежные наблюдения над колебаниями уровня моря ведутся на специально оборудованных уренных постах. По устройству различают речные, свайные, свайно-речные посты, а также уренные посты с установкой различного типа самописцев уровня моря – мареографов (приборы для измерения и непрерывной регистрации колебаний уровня моря). Для решения же отдельных задач кроме стационарной сети ведутся и эпизодические наблюдения на дополнительных и временных уренных постах.

Речные уренные посты, как правило, оборудуются в портах у приглубого берега и снабжаются постоянными металлическими уренными рейками.

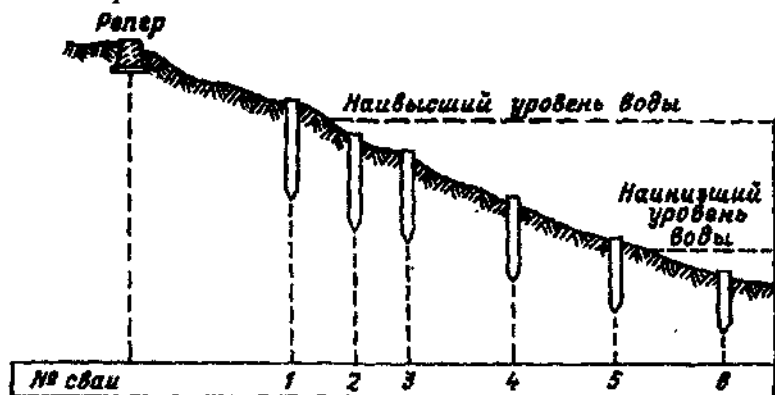


Рис. 5.2. Схема свайного уренного поста.

Свайные уровенные посты (рис. 5.2) оборудуются при пологом дне моря и отсутствии гидротехнических сооружений и состоят из ряда свай, устанавливаемых в створе с пронивелированным профилем и с расстояниями между ними не более 50 м. Причем головка самой нижней сваи должна быть на 25 – 50 см ниже минимально возможного уровня, а головка самой верхней сваи – на 25 – 50 см выше максимально возможного уровня. Наблюдения выполняются переносными уровенными рейками (рис. 5.3). Свайно-реечные уровенные посты оборудуются при пологом дне и значительных колебаниях уровня, когда дополнительно к сваям устанавливают постоянные уровенные рейки, а при необходимости можно использовать и переносные уровенные рейки.

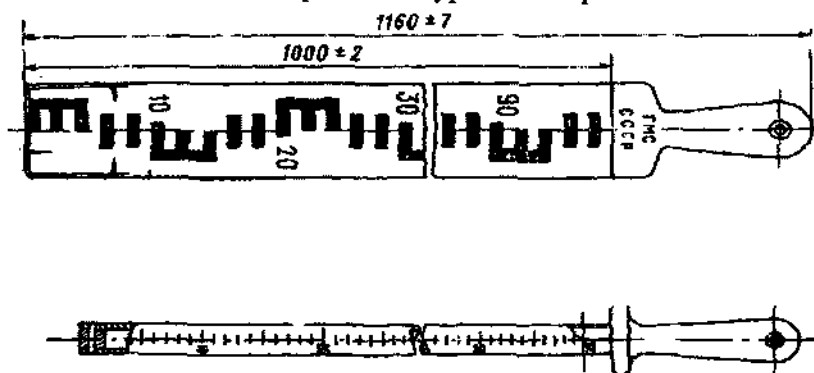


Рис. 5.3. Переносные деревянные и металлические уровенные рейки.

Выбор типа уровенного поста и его конкретное выполнение целиком зависят от местных условий с учетом целей и задач проводимых наблюдений. И зачастую приходится идти на устройство капитальных установок несмотря на их большую стоимость, что, правда, полностью оправдывается при организации многолетних наблюдений. Иногда подобные установки включаются непосредственно в план строительства портовых сооружений (молы, волноломы и т.п.) и возводятся вместе с ними. При экспедиционных работах используются, естественно, самые простые установки. При налаженной работе (своевременное нивелирование в первую очередь) риск устройства подобных постов (велика возможность потери приборов в штормовую погоду), оправдывается громадным выигрышем во времени и степени информативности.

Место установки измерительных устройств и регистраторов колебаний уровня моря должно отвечать следующим требованиям:

- иметь в любое время года достаточно свободное сообщение с морем, в том числе и при самом значительном понижении уровня и большой толщине льда;

- должно быть защищенным от сильного волнения и от плавающих (дрейфующих) льдов, которые могут повредить измерительные устройства или вызвать затруднения при отсчетах уровня во время штормов;

- их следует располагать в местах, наименее подверженных постоянному воздействию деятельности человека. В некоторых случаях, при специальных исследованиях, уровенные посты могут, наоборот, располагаться в местах с наиболее интенсивной деятельностью человека;

- в районе припайных льдов они должны располагаться дальше зоны, внутри которой ледяной покров может лечь на дно при спаде уровня.

Измерительные устройства должны быть прочными и устойчивыми, защищенными от разрушающего воздействия на них волн, течений, льдов, судов и наземного транспорта. Они должны работать при любых гидрометеорологических условиях и быть доступными для нивелирования.

Основное требование ко всем прибрежным наблюдениям над уровнем моря – это надежная связь их с самим берегом. Высотное положение нуля каждого уровенного поста должно определяться абсолютной отметкой. Абсолютной отметкой в Российской Федерации называется высота (нуля поста, репера), определенная относительно нуля Кронштадского футштока. Большая часть постоянных уровенных постов, привязанных к Государственной нивелирной сети, имеет абсолютные отметки реперов и нулей постов.

В случае отсутствия вблизи расположения уровенного поста марки государственной нивелирной сети каждый уровенный пост оборудуется не менее чем тремя реперами, из которых один является основным, другие – рабочим и контрольным. Основной репер закладывается с расчетом сохранения его сохранности на срок не менее 20–25 лет и служит для проверок высоты рабочего репера и закрепления нуля поста. Рабочий репер служит для системати-

ческих определений с помощью нивелирования высотных отметок нулей реек и свай. Закладка основного репера уровня поста осуществляется от марки государственной опорной сети двойным ходом IV класса при длине хода до 3 км и III класса при длине хода от 3 до 10 км. В случае отсутствия подобной связи наблюдения на уровне поста позволяют получить лишь относительные данные о колебаниях уровня моря, имеющие сравнительно небольшое значение.

Реперы постоянных уровненых постов привязываются к Государственной нивелирной сети (к исходному реперу) предприятия Главного управления геодезии и картографии. Реперы временных постов привязываются организацией, проводящей их закладку, нивелированием III класса. Если привязку по какой-либо причине выполнить нельзя, то основному реперу дается условная отметка, равная превышению репера над нулем поста. Контрольное нивелирование измерительных устройств уровненого поста (реек, свай) производится не реже двух раз в год. Результаты нивелирования этих устройств записываются в техническое дело поста.

Известно, что характер колебаний уровня моря меняется от места к месту. Поэтому возникает вопрос: на каком предельном удалении от уровненого поста еще можно пользоваться результатами выполненных на нем наблюдений? То есть необходимо определить предел действия уровненого поста.

Пределом действия уровненого поста А по направлению к посту В называют расстояние d от поста А, при котором разность высот мгновенного уровня для любого момента не превосходит наперед заданной величины. Естественно, что предел действия уровненого поста тем меньше, чем больше возможная высота уровня в данном районе, чем сложнее рельеф дна и конфигурация берегов, чем сильнее изменяются величина и фаза колебаний уровня.

Если в районе исследований имеется несколько уровненых постов, то, рассчитав пределы действия по направлению каждого из них и соединив концевые точки плавной кривой, определяют рабочую зону. Это значит, что рабочая зона представляет собой акваторию, в пределах которой высота мгновенного уровня не отличается от высоты мгновенного уровня на самом посту больше определенной величины.

Установив пределы действия уровенных постов, имеющихся в районе исследований, и построив рабочие зоны, можно получить представление о качестве высотного обоснования. Если рабочие зоны пересекаются и на любом участке съемки можно пользоваться показаниями хотя бы одного поста для приведения глубин к установленному нулю, высотное обоснование следует считать надежным и достаточным. В противном случае принимаются меры для оборудования временных уровенных постов.

По принципу измерения уровня можно условно выделить два типа приборов. Приборы, непосредственно измеряющие колебания уровня моря, например, с помощью уровенных реек, поплавковых систем и т.п., а также приборы, с помощью которых колебания уровня моря измеряются косвенным путем, например, путем измерения гидростатического давления, затухания радиоактивного излучения и т.д.

Наиболее простым прибором для измерения колебаний уровня моря, с помощью которого ведутся систематические наблюдения на уровенных постах без автоматических регистраторов и контрольные наблюдения на постах с автоматическими регистраторами, являются *уровенные рейки*. Они бывают постоянные (футштоки), крепящиеся вертикально к неподвижным основаниям или скале, и переносные, устанавливаемые в момент измерений на головку свай.

Поплавковые измерители колебаний уровня моря довольно просты по своему устройству и надежны в эксплуатации. Чувствительным элементом в данных приборах является поплавок. Их инструментальные ошибки составляют 1 — 3 см. Работа прибора основана на принципе механической передачи изменений положения поплавка относительно нуля отсчета, вызываемых колебаниями уровня, на регистрирующее устройство, т.е. изменения уровня моря передаются поплавку, соединенному с противовесом с помощью троса или цепи, перекинутых через поплавочное колесо. Поплавковому измерителю свойственна асимметрическая погрешность, величина которой зависит от подбора (расчета) элементов прибора.

Электроконтактные измерители колебаний уровня моря позволяют преобразовать положения уровня воды в электрические импульсы. Чувствительный элемент прибора, использующего этот

метод, представляет собой ряд электрических контактов, расположенных на жестком основании через равные промежутки выше и ниже уровня воды. Системой постоянных резисторов электрические контакты соединены со схемой питания прибора и регистратором. При подъеме уровня контакты поочередно замыкаются на «землю», в результате чего электрическое сопротивление в цепи датчика уменьшается скачкообразно. При падении уровня наблюдается обратный процесс.

Достоинством подобных измерителей является возможность определения с высокой точностью положения уровня моря в момент замыкания контактов. Уровень моря определяется количеством замкнутых контактов и расстоянием между ними. При наличии ветровых волн прибор не позволяет измерять уровень непосредственно. Для определения колебаний уровня моря сигналы, поступающие с датчика, подвергаются фильтрации. В этом случае регистрация колебаний с периодами более 30 с может производиться с точностью даже 1 – 2 мм (при расстоянии между контактами 7 мм). Однако в связи с обрастанием контактов точность измерений может резко снизиться. Поэтому приборы подобного типа требуют постоянного наблюдения за их состоянием.

Измерители колебаний уровня моря путем регистрации изменений гидростатического давления. Данный метод используется в океанологии и для измерения других параметров. Поэтому представляется необходимым привести здесь описание способов регистрации гидростатического давления, которые используются не только для фиксации уровня моря.

Измерение колебаний гидростатического давления чаще всего базируется на использовании упругой деформации (перемещения) чувствительного элемента под действием приложенной разности давления, т.е. мерой приложенного давления является линейно связанная с ним деформация. Упругим элементом в датчиках давления являются мембраны (плоские или гофрированные), сильфоны и трубчатые пружины. В свою очередь, размер деформации измеряется с помощью механических, электрических, магнитных, оптических и других систем, а по использованному методу преобразователи классифицируются как резистивные, индуктивные, ем-

костные, резонансные и пьезоэлектрические. Рассмотрим коротко упругие элементы и методы преобразования информации.

Упругая мембрана является универсальным датчиком давления. Варьируя ее толщину и диаметр, а также применяя соответствующие материалы, удается использовать датчики этого типа для очень широкого диапазона измеряемых давлений. Для получения одинаковых температурных коэффициентов расширения желательно изготавливать мембранные преобразователи и корпуса этих преобразователей из одного и того же материала, что обеспечивает в определенной степени репрезентативность измерений.

Собственная частота мембраны определяет верхний частотный диапазон применения прибора. Высокие частоты можно получить путем увеличения толщины и уменьшения диаметра мембраны, что, правда, связано с уменьшением чувствительности. Практически идеальная линейность зависимости максимального прогиба мембраны от давления обеспечивается, если размер прогиба не превышает 0,3 ее толщины.

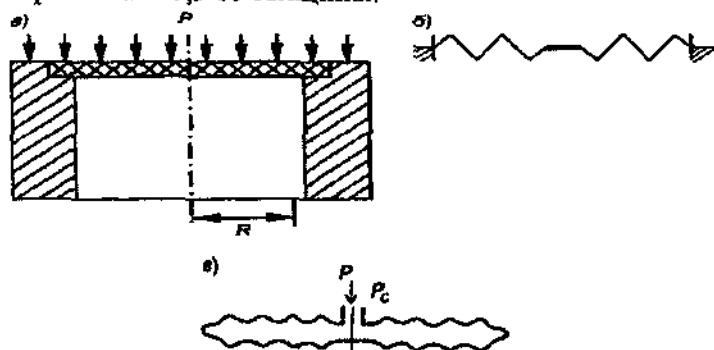


Рис. 5.4. Преобразователи гидростатического давления:
а – круглая плоская мембрана; б – гофрированная мембрана;
в – мембранная коробка.

Максимально допустимое смещение в центре мембраны можно увеличить за счет более эффективного распределения деформации по диаметру мембраны, что обеспечивает гофрированная мембрана или мембранная коробка. Перемещение центра гофрированной мембраны (рис. 5.4, б) может достигать 4 % радиуса. Профили гофров могут быть синусоидальными, пилообразными, трапецевидными. Преимущественное влияние на характеристику оказыва-

ет глубина гофрирования и количество гофров при заданном диаметре мембраны. Гофрированные мембраны могут соединяться в коробке при пропорциональном возрастании перемещения центра. Мембранные anerоидные коробки (рис. 5.4, в) обеспечивают большее перемещение по сравнению с максимально возможным для одиночной мембраны, но, наряду с высокой чувствительностью, они обладают существенной нелинейностью. Их целесообразно использовать в устройствах для измерения малой изменчивости давлений, например, при использовании волновых пульсаций давления.

Самыми распространенными датчиками с упругим чувствительным элементом, особенно при зондировании и исследованиях колебаний уровня, являются *сильфонные преобразователи* (рис. 5.5, а), обладающие малой жесткостью и позволяющие получать большие линейные перемещения центра y_c . При гидростатическом давлением P для сильфонов при количестве гофров у них, равном n , при наружном радиусе R_n , внутреннем $R_{вн}$ и толщине материала гофров h_c определяется выражением

$$y_c = 2\pi A_p R_n^4 / E h_c^3,$$

где $A_p = 3(1 - \mu)(c^2 - 1 - 4c^{2\ln} \ln c) / 16c^4$; $c = R_n / R_{вн}$.

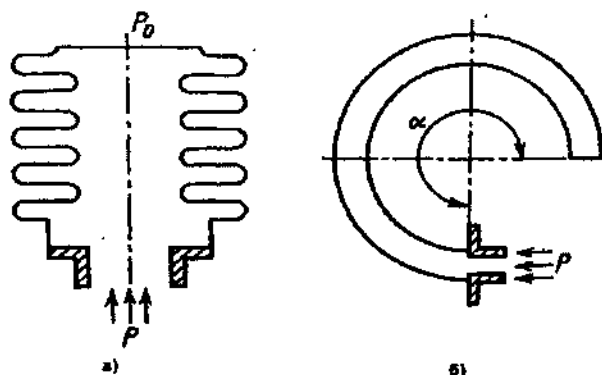


Рис. 5.5. Преобразователи гидростатического давления.

а – сильфонный преобразователь; б – трубчатая пружина (трубка Бурдона).

Сильфоны часто используются в механических устройствах для измерения уровня. Рабочий диапазон давлений у них составляет $10^4 \dots 10^6$ Па, а погрешность измерений – 0,5 – 3 %.

Распространены также в качестве преобразователей трубчатые пружины, так называемые трубки Бурдона (рис. 5.5, б), представляющие собой трубки эллиптического или овального сечения, согнутые по дуге окружности с центральным углом $180 - 270^\circ$. Один конец пружины неподвижен, другой связан с механической регистрирующей системой. Такие С-образные трубки применяются для измерения давления от $3 \cdot 10^4$ до 10^8 Па с погрешностью 0,2 – 4 %.

Таким образом, мерой значения давления при использовании мембранных преобразователей является упругая деформация, или максимальный прогиб. Рассмотрим несколько наиболее типичных, за исключением механических, методов регистрации размера прогиба мембраны.

Реостатные преобразователи, отличаясь простотой конструкции, используются при больших перемещениях жесткого центра (сильфоны) или некоторой точки (трубки Бурдона). Они представляют собой резистор из высокоомного провода с минимально возможным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), намотанного на цилиндрический каркас с изолированными витками, а ползунок реостата скользит по очищенному от изоляции участку.

Резистивные преобразователи можно подразделить на проволочные и полупроводниковые тензорезисторы. Принцип действия проволочных тензорезисторов основан на изменении сопротивления металлических проводников при их деформации. Так, сопротивление проводника (R) определяется выражением

$$R = \rho l / S,$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление; l – длина; S – площадь поперечного сечения.

При наличии продольной и поперечной деформации (растяжение и сжатие) изменяются его длина и площадь поперечного сечения, т.е. сопротивление. Металлические тензометры обычно изготавливают из материалов с высоким удельным сопротивлением и малым ТКС (константан, манганин, нихром и т.п.) в виде проволочной сетки или сетки из узких полосок фольги, наклеиваемых на подложку, или в виде тонких металлических пленок (20 – 50 мкм),

напыляемых на непроводящую подложку, которую, в свою очередь, приклеивают к упругому элементу, например, мембране.

Полупроводниковые тензорезисторы имеют коэффициент тензочувствительности почти на два порядка выше, чем проволочные. Различают продольную, поперечную и сдвиговую тензочувствительности. Характеристики каждой из них зависят от того, каким образом тензопластинка вырезана из кристалла. Обычно делают так, чтобы сдвиговая чувствительность была близка к нулю. Зависимость сопротивления полупроводникового тензорезистора от деформации в направлении продольной оси (R_ϵ) будет

$$R_\epsilon = R_0(1 + k_1\epsilon + k_2\epsilon^2),$$

где R_0 – сопротивление ненагруженного тензорезистора; k_1 и k_2 – коэффициенты; ϵ – значение относительной деформации.

Довольно широко для измерения гидростатического давления используются интегральные тензорезисторные преобразователи (ТП), как правило, на базе монокристаллического кремния. В основном это объясняется высокой степенью изученности его характеристик и апробированностью технологии изготовления датчиков на его базе. Наиболее полно возможности этого материала раскрылись при использовании полупроводниковых чувствительных элементов (ПЧЭ) на основе гетероэпитаксиальных структур класса «кремний на диэлектрике» и, особенно, «кремний на сапфире» (КНС).

Временная нестабильность ТП ПЧЭ на основе структур КНС может быть не хуже $\pm 0,005$ % / полгода, а максимальное отклонение не превышает 0,04 % диапазона измерений. В настоящее время в ТП на основе КНС используются ПЧЭ практически только в виде плоских мембран с тензочувствительной схемой. При этом ПЧЭ жестко связан с упругим элементом ТП. Одна из существенных особенностей интегральных кремниевых ТП – нестабильность схемной компенсации погрешностей (особенно температурной) измерений. Но возможности использования в настоящее время микропроцессоров позволяет избавиться от этих недостатков и даже расширить функциональные возможности датчиков.

В Воронежском политехническом институте разработан малогабаритный (длиной 5 и диаметром 0,05 мм) датчик с использова-

нием нитевидного кристалла (НК) кремния в качестве первичного преобразователя. В датчике давления НК кремния наклеивается на металлическую мембрану герметизированного стандартного корпуса микросхемы. Изменение гидростатического давления приводит к прогибу мембраны и, соответственно, к деформации растяжением наклеенного на нее НК кремния и изменению напряжения на нем. Величина этого напряжения пропорциональна давлению с нелинейностью преобразования $\sim 10^{-3}$. Диапазон измеряемых этим датчиком давлений $0 - 10^5$ Па с чувствительностью $10^{-8} \dots 10^{-7}$ В/Па.

Также широко используются датчики давления на основе пьезорезисторного эффекта. В качестве ЧЭ в них чаще всего применяется тонкая кремниевая мембрана, выполняемая анизотропным травлением в кремниевой подложке *n*-проводимости. На поверхности мембраны с помощью диффузии или ионной имплантации формируется схема из четырех резисторов, образующих мост Уитсона. При этом резисторы располагают так, чтобы два из них испытывали растяжение, а два – сжатие. Фирма «Endevco» (США) использует в таких датчиках не однородную по толщине, а специальным образом профилированную мембрану с концентраторами механических напряжений в месте расположения тензорезисторов. Это значительно увеличивает прочность мембраны и позволяет получить более высокую чувствительность при сохранении собственной резонансной частоты либо увеличить резонансную частоту при сохранении чувствительности.

Пьезорезисторные датчики обладают широким диапазоном измерения ($0 - 140$ мВ), высоким уровнем выходного сигнала ($300 - 500$ мВ), высокой резонансной частотой (45 кГц – 1 МГц), высокой точностью измерений ($\pm 0,25$ %), температурной компенсацией, виброустойчивостью, малыми габаритными размерами и массой (до 11 г).

Индуктивные преобразователи используют воздействие перемещения ЧЭ на один или несколько определяющих параметров магнитной цепи, что вызывает изменение индуктивности. Обычно используют дифференциальные схемы, в которых мембрана располагается между двумя катушками индуктивности, когда изменение размера прогиба одновременно увеличивает индуктивность одной катушки и уменьшает индуктивность другой.

Резонансные преобразователи используют струны, тонкие металлические пластины, цилиндры и пьезокварцевые пластины, в которых резонансная частота колебаний пропорциональна измеряемому давлению. Наибольшее распространение в океанологической практике нашли струнные преобразователи (вибротоны), в которых собственная частота колебаний натянутой струны (f) соответствует выражению

$$f = 0,5 \sqrt{F / ml} = 0,5 \sqrt{E \Delta l / \rho l^3},$$

где F – сила натяжения струны; m – масса; l – длина; Δl – удлинение струны; E – модуль Юнга; ρ – плотность материала струны.

Прогиб мембраны вызывает изменение частоты собственных колебаний струны и силы ее натяжения (ее удлинение).

Струна изготавливается обычно в виде стальной проволоки или ленты, а ее жесткость, как правило, значительно меньше жесткости мембраны. Принцип работы устройства (рис. 5.6) следующий. Электрическая система в виде приемника (1) (катушка с сердечником), усилителя (2) и электромагнита (3) создает автоколебания струны на ее резонансной частоте. Любое случайное отклонение струны, обладающей некоторой остаточной намагниченностью, вызывает в приемнике появление электрического импульса, который после усилителя создает на электромагните магнитное поле, притягивающее струну, и процесс повторяется. Таким образом, устанавливаются незатухающие механические колебания струны на ее резонансной частоте. Частота же соответствующих колебаний несет информацию о деформации мембраны. Собственная частота струны подобных датчиков составляет несколько кГц. Погрешность составляет 1 – 3 %. Они используются, как правило, для измерения гидростатического давления, в том числе и в измерителях уровня.

Для измерения гидростатического давления (особенно высокоточных) в основном используют *пьезоэлектрические датчики* с применением кварцевого элемента соответствующего среза. Подобный метод позволяет фиксировать колебания уровня открытого моря на глубинах свыше 1000 м с погрешностью не хуже $\pm 1 - 2$ см. Достоинством таких датчиков являются: высокая стабильность характеристик; непосредственный выход информации; дискрет-

ность цифрового отсчета; легкость преобразования частота-код при сопряжении с каналом телеметрии. Однако выходной сигнал пьезоэлектрического датчика в значительной степени зависит от изменений температуры окружающей среды. Принцип действия подобных преобразователей основан на зависимости собственной резонансной частоты кварцевой пластины, являющейся их ЧЭ, от измеряемого давления. Для возбуждения колебаний пластины используется пьезоэффект кварца.

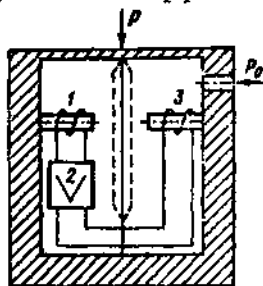


Рис. 5.6. Струнный преобразователь (вибротрон).

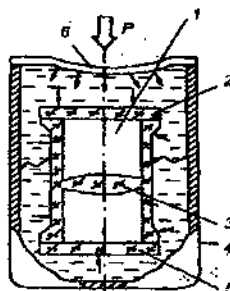


Рис. 5.7. Кварцевый преобразователь.

Конструкция кварцевого преобразователя, например, фирмы «Хьюлетт Паккард» (по И. С. Ковчину), представляет собой (рис. 5.7) монолитный кристаллический блок (2) с внутренней линзой (4), изготовленной из одной массы кварцевого стекла. Блок цилиндрической формы герметично закрыт с обеих сторон крышками (3) и (6), вырезанными из кристалла кварца таким образом, чтобы ориентация их кристаллографических осей совпадала с направлением этих осей всего кристаллографического блока (2). Он, в свою очередь, располагается внутри металлического цилиндра (5), заполненного жидкостью и снабженного с одной стороны мягкой мембраной (1). Измеряемое гидростатическое давление через мембрану не передается внутрь цилиндра, а заполняющая цилиндр жидкость подвергает монокристаллический кварц всестороннему сжатию. Частота собственных колебаний, возбуждаемых в линзе (4), меняется в зависимости от возрастающего давления. Для снятия этих колебаний на линзу напыляются два серебряных электрода, электрически связанные с контактами, расположенными снаружи цилиндра (5). Подобная система имеет добротность порядка

10^6 , что обеспечивает погрешность измерения уровня моря не более ± 1 см на глубинах до 5000 м. Для снижения температурной погрешности применено двойное термостатирование кварца со стабильностью до $\pm 0,05$ °C, что обеспечивает дрейф характеристики датчика за 1 месяц не более чем на ± 2 см.

В последнее время появились разработки устранения температурной погрешности в пьезокварцевых датчиках. В частности, путем алгоритмического разделения микропроцессором информации о гидростатическом давлении и температуре чувствительного элемента, что позволяет даже расширить функциональные возможности ЧЭ, обеспечивая возможность измерения двух физических величин одним датчиком.

Туннельный диод является весьма перспективным прибором для измерения гидростатического давления. Туннельный диод – полупроводниковый прибор, вольт-амперная характеристика которого имеет падающий участок за счет туннельного эффекта между p и n выраженными проводниками. В этом случае электроны без затраты энергии проходят через потенциальный барьер, которым является тонкий (порядка $100 \text{ \AA}$) обедненный слой, разделяющий в туннельном диоде область с большим числом электронов в зоне проводимости материала n -типа и большим числом дырок в материале p -типа.

В общем виде принцип работы туннельного диода как датчика давления можно представить следующим образом. На рис. 5.8 приведены идеализированные вольт-амперные кривые туннельного диода, работающего в режиме усилителя. При использовании туннельного диода в качестве датчика давления параллельно ему включают сопротивление. В средней части вольт-амперная кривая становится горизонтальной, так как выбранное шунтирующее сопротивление равно отрицательному сопротивлению.

Колебания гидростатического давления вызывает смещение вольт-амперной кривой (пунктирная линия на рис. 5.8). Это смещение и используется для измерения давления. Использование туннельного диода как датчика позволяет получать преобразователи очень малых размеров (линейный размер менее 1 мм) и с частотным выходом.

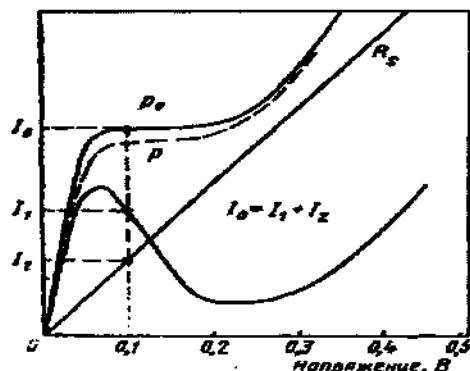


Рис. 5.8. Вольт-амперные кривые туннельного диода.

Частота в этом случае может быть линейной функцией гидростатического давления.

Согласно прогнозам организации OSLA (Великобритания) дальнейшее развитие должна получить волоконно-оптическая технология, а также датчики гидростатического давления, основанные на ее использовании.

5.6. Измерение уровня в устьевой области рек

Уровнем воды в устьевой области реки называется высота поверхности воды, измеряемая относительно воображаемой плоскости нулевого уровня на основе фильтрации или осреднения мгновенных значений этой величины с целью исключения влияния короткопериодных поверхностных волн (с периодом меньше 1 мин). Измеренный уровень воды относится к акватории, непосредственно прилегающей к пункту измерений – уровенному посту.

Распределение уровня воды в устьевой области реки зависит от гидравлического сопряжения приемного водоема – устьевого взморья и устьевого участка рек. Уровень воды на устьевом взморье не зависит от стока речных вод, а полностью определяется влиянием чисто морских факторов и совпадает с уровнем моря. Так как дно русла в месте впадения реки в море располагается ниже уровня моря, его подпорное влияние распространяется на устьевой участок реки. Поэтому уровень воды здесь будет определяться суммарным влиянием морских и речных факторов. Дальность

распространения влияния уровня моря на распределение уровня воды вдоль речного русла зависит от водности реки и продольного профиля дна русла.

Наблюдения над уровнем воды в устьевой области реки производятся с целью изучения:

- уровня моря на устьевом взморье;
- уровня воды в вершине устьевой области реки, где влияние морских факторов полностью отсутствует;
- характеристик распределения уровня воды в зоне совместного влияния речных и морских факторов;
- приливо-отливных и сгонно-нагонных колебаний уровня;
- затопления и заливания дельт.

Специфика района исследований, определяющая резко выраженную пространственно-временную изменчивость уровня воды, требует для изучения уровня режима организации целой сети уровенных постов, действующих синхронно. Эта сеть может включать в себя стационарные и временные посты. В этом случае крайне необходимо иметь, как минимум, три стационарных поста, оснащенных самописцами. Один из них располагается на устьевом взморье значительно мористее устьевого бара, другой оборудуется на устьевом участке реки в пределах хорошо выраженного воздействия уровня моря, а третий устанавливается вблизи речной границы устьевой области, где влияние морских факторов мало или полностью отсутствует (колебания уровня воды за счет приливов и нагонов в межень не должны превышать ± 5 см). В случае разветвленной системы водотоков дельты реки уровенные посты размещают на нескольких крупных рукавах и в вершине дельты.

Временные посты служат для сгущения и оптимизации стационарной сети наблюдений за уровнем, а также для решения специальных задач, в качестве которых могут, например, служить исследования:

1. Трансформации сгонно-нагонных и приливо-отливных волн;
2. Распластывания волн половодья, паводка, попусков;
3. Формирования ледоходно-заторных максимумов уровня;
4. Затопления и заливания дельт.

Проблему сгущения сети уровенных наблюдений в устьевой области реки, как правило, решают на основе проверки согласо-

ванности колебаний уровня воды в смежных пунктах, которая проверяется на основе корреляции соответственных уровней воды. Данные наблюдений за колебаниями уровня на двух постах считаются сравнимыми (сопоставимыми), если коэффициент корреляции $r \geq 0,9$, а средняя квадратическая погрешность линейного уравнения регрессии уровней не превышает ± 5 см. Количество дополнительных уровенных постов можно определить с помощью оценки допустимого предела D дальности действия уровенного поста. Для его оценки в этом случае необходимо задать допустимую погрешность расчета продольного профиля уровня воды ΔH на устьевом участке реки и определить максимальный перепад уровня $\Delta H_{\max}$ на отрезке речного русла длиной S . Формула для оценки D имеет вид

$$D = \Delta HS / \Delta H_{\max}.$$

Если D меньше расстояния S между постами, то требуется сгущение сети, т. е. необходимо оборудование дополнительного поста. Допустимая погрешность ΔH может колебаться в пределах $2 \leq \Delta H \leq 5$ см.

5.7. Приборы для измерения уровня моря

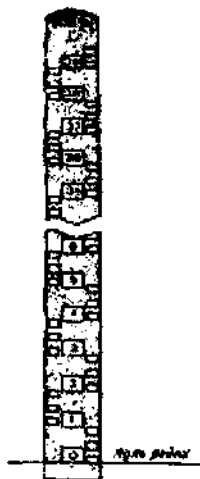


Рис. 5.9. Металлическая рейка ГМ-3.

Большое распространение на морях получили футштоки, особенно металлические рейки ГМ-3 (рис. 5.9). Технические характеристики реек ГМ-3 сведены в табл. 5.1. При необходимости на месте работ из 2-метровых блоков составляют рейки большей длины (4 – 12 м). Уровенные рейки ГМ-3 состоят из нескольких металлических пластин, укрепленных на металлическом основании корытного типа толщиной примерно 1 см.

Технические характеристики уровненых реек ГМ-3

Длина рейки, м	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
2,0	2000 × 240 × 80	64
2,8	2900 × 240 × 80	86
4,0	4100 × 240 × 80	130

В отверстиях пластин размещаются фарфоровые вкладыши (по 2 см) и через 10 см ее оцифровки.

В последнее время уровненые рейки стали изготавливать из синтетических материалов. Они легки, не боятся обмерзания, устойчивы к ударам, легкочитаемы и долговечны. Кроме того, они могут снабжаться дополнительными устройствами для регулирования высоты нуля отсчета. Иногда используются уровненые рейки с успокоителем в виде металлической трубы с калиброванным отверстием у дна, внутри которой помещается поплавков. Как правило, применяются два типа постоянных реек с успокоителем. В одном из них поплавок крепится к мерной ленте, перекинутой через блок, к другому концу которой присоединен противовес, а в верхней части трубы врезано окошечко с индексом, позволяющим производить отсчеты делений мерной ленты. В другом типе поплавок прикреплен к штоку, на верхнем конце которого имеется указатель, скользящий по рейке, прикрепленной к трубе. Этот тип рейки обычно используется при небольших колебаниях уровня. Существуют также и переносные рейки с успокоителем.

В качестве примера уровненой рейки с успокоителями можно привести рейку ГР-23, представляющую собой резервуар, имеющий в сечении форму ромба, изготовленный из перфорированного оргстекла. В нижней части вклеено дно с калиброванными отверстиями, через которые вода поступает внутрь резервуара. Отверстия перекрываются клапаном, который удерживается открытым при погружении рейки в воду. Отсчет производится после извлечения рейки из воды. Для удобства отсчета внутри резервуара помещен пенопластовый поплавок.

Однако при всем своем широком распространении измерения с помощью уровненых реек не лишены случайных и систематических ошибок, особенно при волнении. Отсчеты по рейке без успокоителя при волнении рекомендуется снимать при прохождении

гребня и подошвы волны не менее трех раз (для большей достоверности), и за уровень моря принимают среднее значение. При этом сам принцип отсчета таит в себе возможность случайных ошибок и, кроме того, определение уровня по среднему значению из отсчетов положения гребня и подошвы приводит к систематической ошибке – завышению уровня, так как у берегов, где производятся наблюдения, из-за некоторой заостренности гребня волны по сравнению с ее ложбиной, средняя волновая поверхность располагается выше уровня спокойной воды. Это завышение зависит от высоты волны и характера изменения глубин у берега и может составлять 0,1 – 0,2 высоты волны у рейки в момент наблюдений.

Основным назначением *поплавковых самописцев уровня моря* является измерение и запись колебаний уровня. Из выпускаемых нашей промышленностью поплавковых мареографов (СУМ, «Валдай», ГР-38) наиболее надежным для морских условий является СУМ. Изготавливаются три модели СУМ, отличающиеся диапазоном измерений.

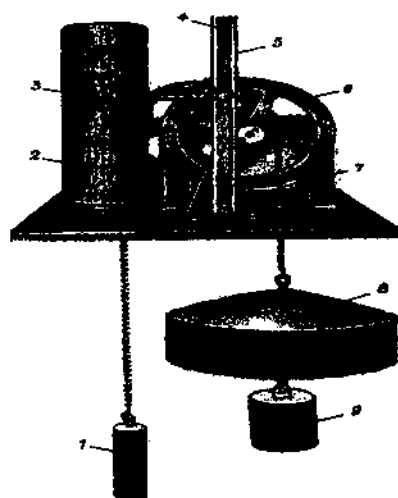


Рис. 5.10. Поплавковый мареограф СУМ.

Прибор состоит из поплавковой системы, передающего механизма и регистратора (два последних блока монтируются на массивной чугунной плите). Поплавковая система (рис. 5.10) состоит из пустого цилиндрического поплавка (8) с грузом (9), соединен-

ных с противовесом (1) латунной цепью (7), которая переброшена через поплавковое колесо. Передающий механизм состоит из поплавкового колеса с 60 зубцами (шаг 1 см), системы шестеренок, диска с индексом (6), зубчатой рейки (5) с колонкой (4) с сантиметровыми делениями. Регистратор СУМ состоит из часового механизма, надетого на его корпус барабана (2) и рычага (3) с пером, который укреплен на зубчатой рейке. Основные технические характеристики СУМ приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Основные технические характеристики СУМ

	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Диапазон измерений, м	0 – 3	0 – 6	0 – 12
Погрешность измерений, % шкалы	±1	±1	±1
Масштаб записи	1:10	1:20	1:40
Инструментальная погрешность	±30	±60	±120
Погрешность хода часов за сутки, мин	±5	±5	±5
Автономность, сутки	7	7	7
Размеры без поплавковой системы, мм	300 × 410 × 280		
Масса, кг	38		
Длина цепи поплавковой системы, м	5	8	14
Масса противовеса, кг	1,2	1,6	2,3

Вертикальные перемещения поплавка с помощью цепи передаются поплавковому колесу и через систему шестеренок перемещают зубчатую рейку вместе с пером. Перо вычерчивает кривую колебаний уровня на диаграммной ленте, закрепленной на вращающемся барабане. Отсчет значений уровня по СУМ можно произвести по положению индекса на диске, по положению пластинки на колонке и по положению конца пера на ленте.

В береговой и геодезической службе США используется также переносной поплавковый мареограф, отличающийся небольшими размерами и более простой методикой установки, но, правда, имеющий меньшую точность измерений. Прибор в кожухе с поплавком диаметром 8 см устанавливается на верхнем конце трубы диаметром 10 см. Труба в своей нижней части оборудована соединительной муфтой с коническим окончанием с резьбовым отверстием, в которое вставляется втулка с отверстиями диаметром

1,25; 1,6 и 1,9 мм, предназначенными для гашения короткопериодных волновых колебаний. Труба с прибором при помощи соединительной муфты крепится на забитой в грунт трубе такого же диаметра, также имеющую отверстия для поступления воды. Поступающая информация о колебаниях уровня моря регистрируется на восковой бумаге. Прибор снабжен часовым механизмом с восьми-суточным заводом. Предусмотрена возможность подбора шестеренок для изменения масштаба записи на ленте.

В Государственном гидрологическом институте был разработан автономный унифицированный поплавковый мареограф, состоящий из поплавкового датчика и аналогового регистратора двух типов: с механическим и электрическим часовым приводом.

В регистраторе с механическим часовым приводом запись производится на ленте, закрепленной на барабане. При временном масштабе записи 1,25 мм/ч автономность работы прибора составляет не более 8 суток. При сокращении продолжительности записи автономной работы до 26 или 13 ч увеличивается временной масштаб соответственно до 10 или 20 мм/ч, что достигается простым изменением передаточного соотношения редуктора.

При использовании электрического часового привода автономность работы мареографа может быть увеличена до 250 суток при временных масштабах записи от 60 до 2,5 мм/ч. Регистрация в этом случае осуществляется на рулонную диаграмную ленту. Изменение временных масштабов записи производится регулированием управляющих импульсов. Питание прибора может производиться от сети или от блока сухих батарей. Запись колебаний уровня моря в приборе в зависимости от амплитуды колебаний (1,2, 5, 10, 20 и 50 м) может осуществляться в разных масштабах.

Мареограф с электрическим часовым приводом дополнительно снабжен каналом измерения температуры воды. Здесь сигналы с датчика по трехжильному кабелю длиной до 50 м подаются на регистратор. Кроме того, температура дискретно (проколами ленты) 2 или 4 раза в сутки регистрируется на той же диаграмной ленте, где ведется непрерывная запись колебаний уровня. Температура воды измеряется в двух диапазонах: от -2 до 23°C и от 15 до 40°C с погрешностью $0,2^{\circ}\text{C}$.

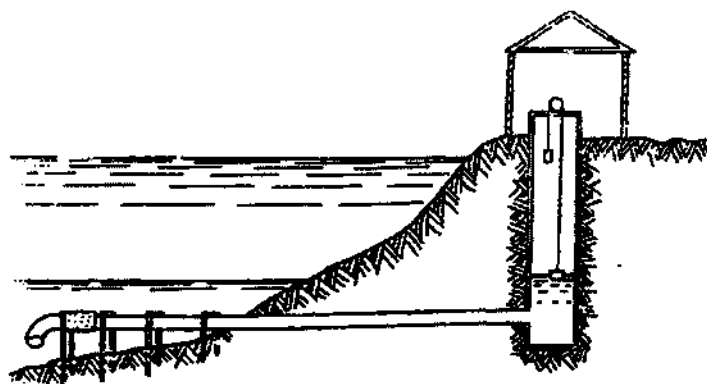


Рис. 5.11. Схема установки поплавкового мареографа.

Как правило, поплавковые мареографы устанавливаются над специальным колодцем, связанным с морем и защищающим поплавок от воздействия короткопериодных волн и обмерзания. В зависимости от местных условий используются различные способы установки в колодцах поплавковых мареографов: на берегу в будке над колодцем, соединенным с морем подводящей трубой (рис. 5.11); непосредственно в море (у обрывистого берега, откоса, набережной); в некотором удалении от берега на специальном сооружении. При применении двух последних способов колодец сооружают обычно из бетонных колец на некотором удалении от берега, над ним возводят будку, которая соединяется с берегом мостиком (рис. 5.12). Для проникновения воды в колодец в его стенках на высоте 30 – 40 см над дном высверливается несколько отверстий.

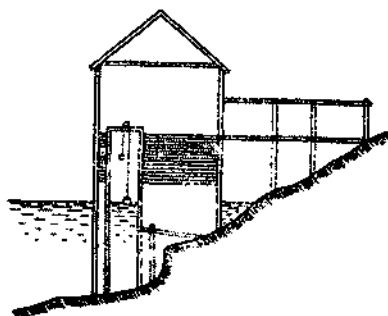


Рис. 5.12. Схема установки СУМ в море.

Диаметр колодца определяется размерами поплавковой системы. Диаметры подводящих труб и размеры отверстий в стенках колодца, от которых зависит степень фильтрации высокочастотной составляющей необходимо подбирать с учетом требований к наблюдениям за уровнем и характером колебаний в месте наблюдений. Чаще всего используется труба с диаметром 15 – 20 см, но, например, на Гогланде диаметр трубы составляет 4 см, а в Кронштадте – 50 см. Поэтому при необходимости диаметр отверстия регулируется специальной задвижкой. Длина трубы обычно от нескольких до 50 м.

При измерениях уровня поплавковыми мареографами возникают ошибки, вызванные погрешностями самого прибора и искажением волновых колебаний схемой установки прибора. По данным А. М. Димаксяна, максимальное значение погрешности мареографа (с учетом влияния температуры среды, но без учета погрешностей записи, люфта механизма и плотности воды) с диапазоном измерения уровня 12 м колеблется от –3,6 до 2,4 см.

Основным условием различных систем установки мареографов является быстрая передача поплавок колебаний уровня с одновременным исключением короткопериодных колебаний. С учетом этого рассчитан и масштаб времени на ленте самописца: в 1 мм – 5 мин. Следовательно, колебания с периодом менее 5 мин будут на ленте сливаться. Для отфильтровывания таких колебаний размеры входных отверстий в колодце или диаметр подводящей трубы подбираются таким образом, чтобы они соответствовали наибольшему периоду исключаемых волн.

По данным А. Л. Бондаренко, в колодце мареографа происходит завышение уровня во время волнения. Степень этого завышения зависит от высоты и периода волн, диаметров колодца и входных отверстий, а также от длины и диаметра подводящей трубы. При высоте ветровых волн 2 – 3 м средний уровень в колодце будет отличаться от действительного на 5 – 7 см. Кроме того, в колодце с подводящей трубой возникают резонансные колебания, что также искажает результаты измерений. Результаты исследований А. Р. Халливела и И. Г. Перри показали, что уровень в колодце может существенно отличаться от действительного при наличии

больших скоростей течения и измерений солености в месте измерений во время прилива.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что для повышения точности измерений автоматическая запись колебаний уровня на ленте самописца должна сопровождаться выполнением контрольных измерений по рейке, хотя по своей сущности она является более грубым прибором, имеющим свои ошибки.

Принцип действия *электроконтактного самописца уровня моря АЭС-02* (ВНИПИморнефтегаз) основан на преобразовании в электрический сигнал числа замкнутых контактов, расположенных через равные интервалы по длине рейки, помещенной в демпферную трубу диаметром 10 см с узким отверстием внизу. Конструкция прибора позволяет использовать его при колебаниях уровня до 6 м в автономном режиме (до 6 месяцев) или с кабельной линией связи с выдачей оперативной информации на пульт. Малая масса и габариты АЭС-02 позволяют крепить его к любой свае, пирсу или другим опорам. Для открытых песчаных побережий можно использовать обычную штангу диаметром 0,05 м, забитую в дно.

Фирма «Плесси» (Англия) выпускает *волнограф-уровнемер* с проволочным датчиком струнного типа, прикрепленным к свае. Изменение сопротивления струны, вызванное колебаниями уровня, модулирует частоту генератора, устанавливаемого вблизи датчика. Этот модулированный сигнал по трехжильному кабелю поступает на блок преобразования, размещенный на берегу с возможностью использования радиоканала. С выхода преобразователя информацию можно получить в цифровом виде, на магнитной ленте или на аналоговом самописце. Уровень моря определяется путем схемного осреднения волновых колебаний водной поверхности. Погрешность прибора не превышает 1 % от длины проволоки, которая может меняться от 3 до 12 м.

Автономный, малогабаритный береговой мареограф ГМ-28 (рис. 5.13), используемый в защищенных от сильного волнения портовых акваториях и бухтах на глубинах не более 10 м в малую воду. ГМ-28 – герметизированный самописец колебаний гидростатического давления, чувствительным элементом которого является подпружиненный сильфон (10), укрепленный на основании прибора. Перемещения нижнего конца сильфона, вызванные колебания-

ми уровня, с помощью штока (4) через рычажную систему (6 и 7) приводит в движение стрелку с пером самописца. Одно из плеч рычажной системы (7) одновременно является компенсатором температуры и выполнено в виде полукруглой биметаллической пластины. Изменяя активную длину пластины, можно регулировать термокомпенсатор. Верхняя часть штока (4) заострена и свободно упирается в приемную пластину (5) рычажной системы, что позволяет, изменяя длину штока, программировать глубину постановки. Средняя часть штока снабжена резьбой и его длину можно изменять с помощью гайки (2), закрепленной на втулке (9) с нанесенными миллиметровыми делениями (от 0 до 10). Вся система крепится к стойке (3), в верхней части которой расположена направляющая для штока втулка (8). Изменение длины штока производится непосредственно перед постановкой прибора. Самописец герметизируется крышкой-кожухом, которая крепится к основанию шестью откидными болтами.

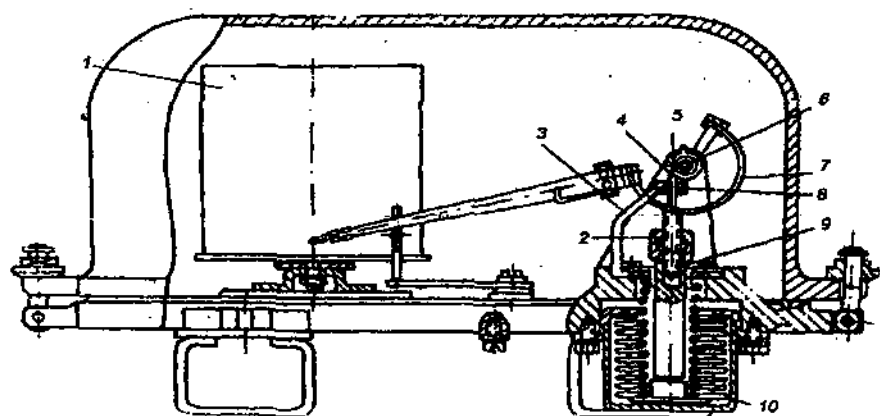


Рис. 5.13. Автономный, малогабаритный береговой мареограф ГМ-28.

Получаемая информация записывается на диаграммной ленте, закрепленной на барабане (1), приводимом в движение часовым механизмом (суточным или недельным). Сильфон закрывается защитным кожухом, в нижнюю часть которого ввинчивается пробка с отверстием, служащим своеобразным фильтром высокочастотной составляющей волновых колебаний. Диаметр отверстия определяется степенью волнения моря и может быть 0,5; 1 или 2 мм.

Мареограф выпускается в трех модификациях. ГМ-28-I с диапазоном измерений колебаний уровня 3 м; ГМ-28-II – 6 м; ГМ-28-III – 12 м. Погрешность измерения уровня составляет $\pm 2\%$ от максимального диапазона измерений. Способы установки ГМ-28 для работы представлены на рис. 5.14.

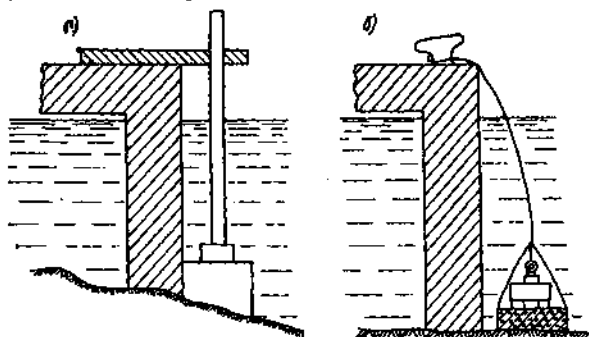


Рис. 5.14. Схемы установки самописца уровня моря ГМ-28:
а, б – с помощью штанги и троса соответственно.

Мареограф прибрежный МП-I, разработанный в ТОИ РАН, предназначен для измерений колебаний уровня на глубинах до 100 м с автономностью работы 45 сут. при дискретности 15 мин и 90 сут. при дискретности 30 мин. Прибор устанавливается на якорь и тросом подсоединяется к плавающему на поверхности бую. Принцип работы МП-I основан на измерении гидростатического давления с помощью специально модернизированного вибротрона типа ПДВ-10А, обладающего высокой разрешающей способностью, в котором увеличена добротность струнной колебательной системы. Одновременно с измерением гидростатического давления фиксируется температура корпуса ПДВ-10А с точностью $0,01^\circ\text{C}$. Для уменьшения погрешностей, возникающих за счет воздействия течений, поверхностных и внутренних волн, время одного измерения давления составляет около 8 минут. Чувствительность датчика давления 0,5 см.

Корпус МП-I – алюминиевый цилиндр, в котором размещены аккумуляторные батареи и электронный блок. На крышке корпуса крепятся датчики, внешний разъем и рым-болт. В состав мареографа входят: датчик давления; кварцевый датчик температуры; коммутатор, подключающий выходные сигналы датчиков на вход

преобразователя «частота-код», формирующего 16-разрядный двоичный код, который записывается в твердотельное буферное запоминающее устройство с привязкой к временным меткам.

Перед началом работы внешний разъем подключается к блоку обслуживания, проверяется работоспособность прибора решением контрольной задачи, устанавливается текущее время и дата, режим работы. По завершении измерений мареограф поднимают на борт судна и через внешний разъем с помощью специального прибора всю информацию из буферного запоминающего устройства переписывают на магнитную ленту и подают на компьютер и графопостроитель. Через разъем осуществляется также подзарядка аккумуляторов.

Мареограф "Прилив-2" нашел довольно широкое применение при проведении наблюдений в прибрежной зоне. Прибор обладает двумя режимами работы, один из которых предназначен для измерений только колебаний уровня, а другой – для измерений и уровня и волнения моря. В конструкции прибора предусмотрена возможность работы как в автономном режиме с записью получаемой информации во внутреннюю память, так и с передачей результатов измерений по кабельному каналу связи на береговой блок. В мареографе используется вибротронный датчик давления типа ПДВ-1Б. Чувствительный элемент датчика выполнен в виде сдиной конструкции из мембраны и струны, изготовленной из цельного куска специального сплава. При изменении гидростатического давления от 0 до 10 000 гПа частота возбуждаемых резонансных колебаний струны изменяется от 3000 до 3800 Гц. В качестве измерителя температуры внутри корпуса прибора используется термометр микропроцессора. Его показания используются для введения поправок в показания датчика давления. "Прилив-2" имеет следующие технические характеристики:

Предельная глубина погружения, м	100;
Погрешность измерения колебаний уровня моря, м	0,02;
Диапазон измерения колебаний уровня моря, м	± 5 ;
Дискретность в режиме измерений:	
уровня моря, мин	15, 30, 60,
уровня и волнения моря, мин	60;
Автономность в режиме измерений:	

уровня моря, годы	1,
уровня и волнения моря, сутки	35;
Диапазон измерения температуры воды, °С	-2 – 20;
Погрешность измерения температуры, °С	±0,1;
Длина двухжильного кабеля, м	500;
Габариты корпуса прибора:	
высота, мм	370,
диаметр, мм	90;
Масса прибора, кг	3.

Корпус мареографа "Прилив-2" (рис. 5.15) выполнен в виде цилиндра из нержавеющей стали. Внутри цилиндра на его основании жестко закреплены: датчик давлений, блок электроники и блок питания (четыре литиевых батареи напряжением 3,5 В). На верхней крышке цилиндра помещен рым-заглушка, который герметично закрывает извне доступ к разъему прибора. Через этот разъем осуществляется подключение мареографа к береговому блоку для считывания данных из памяти или для передачи информации по кабельной линии связи длиной 500 м в реальном масштабе времени. Для обеспечения устойчивой связи и исключения влияния электромагнитных помех на конце кабеля установлен адаптер, представляющий собой оптронную пару, организующую связь мареографа – компьютер по токовой петле.

Для измерения уровня моря на глубинах до 1000 м в ААНИИ был разработан мареограф «Цунами» с записью получаемой информации во внутреннюю полупроводниковую память и с передачей ее по гидроакустическому каналу связи на поверхностный буй. Прибор позволяет производить измерения колебаний уровня в диапазоне ± 3 м с погрешностью ± 4 см и температуры окружающей среды для введения температурной поправки в показания датчика давления. Дискретность измерений составляет 1, 10, 30 или 60 мин с автономностью работы до 1 года. Емкость внутренней памяти мареографа составляет 6144 цикла измерений. Общая масса прибора не превышает 30 кг.

Стальной корпус мареографа представляет собой цилиндр с наружным диаметром 0,17 м и высотой 0,65 м. На его верхней крышке помещены датчики гидростатического давления и температуры, а также пьезоизлучатель гидроакустических сигналов.

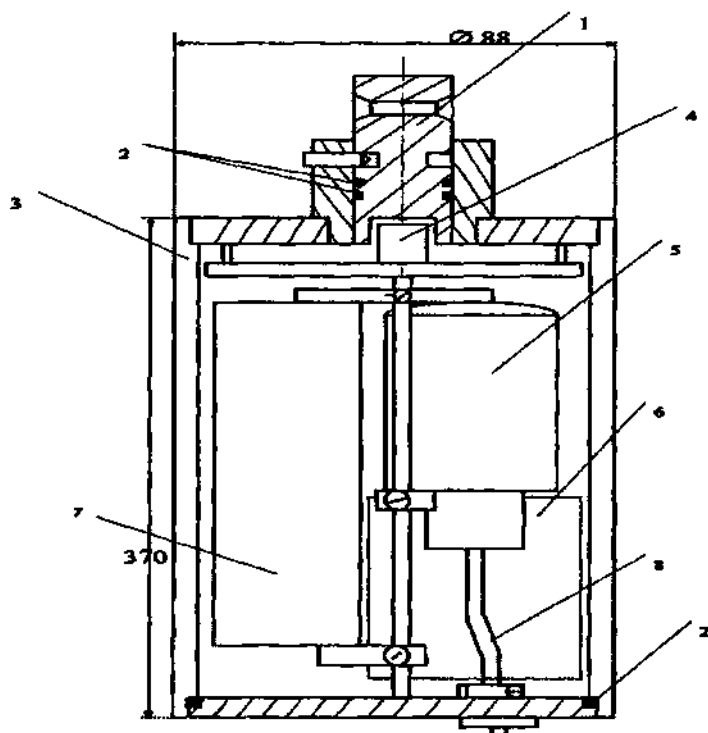


Рис. 5.15. Мареограф «Прилив-2»:

- 1 – рым-заглушка; 2 – кольца уплотнительные; 3 – корпус;
 4 – разъем герметичный; 5 – преобразователь давления ПДВ-1Б;
 6 – плата электронная; 7 – блок питания; 8 – трубка соединительная.

Датчик давления – вибростержневой вакуумированный преобразователь частотного типа ПДВ-100Б в пассивном пенопластовом термостате, с основной погрешностью измерения 0,15 % от верхнего предела измерения. Датчик температуры – полупроводниковый терморезистор типа ММТ-4Е-22, включенный в цепь положительной обратной связи автогенератора на операционном усилителе с мостом Вина, обеспечивает измерение с разрешающей способностью $\pm 0,02$ °С и возможностью внесения поправок в показания канала давления. Внутри корпуса размещены: электронная схема, блок магнитной памяти и блок питания (12 батарей типа 165У с общим напряжением 18 В).

Мареограф SIS-13 фирмы «Сьюбер» (Франция) рассчитан для работы на глубинах до 3000 м. В качестве датчика гидростатического давления используется кварцевый резонатор, обеспечивающий погрешность измерения уровня не менее ± 2 см.

Мареограф WLR5 фирмы «Ондеро инструментс» (Норвегия) рассчитан для работы на глубинах до 600 м и позволяет проводить измерения колебаний уровня и температуры воды. В качестве датчика гидростатического давления используется кварцевый резонатор с погрешностью не хуже $\pm 0,6$ см. В качестве датчика температуры используется термистор с погрешностью $\pm 0,04$ °С. Получаемая информация откладывается в магнитную память. Кроме того, приборы данной фирмы снабжаются гидроакустическим каналом связи с дальностью 800 м на частоте (16384 ± 5) Гц. В качестве материала для изготовления корпусов приборов используется алюминиевый сплав 6061/Т6, стойкий к морской воде. Вес WLR5 на воздухе 46 кг. В новой модификации WLR7 дополнительно установлен канал измерения электропроводимости, а дальность гидроакустического канала связи доведена до 2 км.

Измерение тягуна. Под явлением тягуна понимают горизонтальные почти периодические движения пришвартованных судов под воздействием на них длиннопериодных волн или длинной зыби. Величина подобных движений судов зависит в основном от таких характеристик длиннопериодных волн и волн зыби, как их высота, длина, период. В том случае, когда длиннопериодные волны воздействуют на судно, основная нагрузка сообщается судну не волновыми течениями, а в результате действия горизонтальной составляющей силы тяжести судна, которая связана с его наклоном на данной волне. Эти горизонтальные движения судов могут возникать под воздействием групповой зыби, но, как правило, нагрузка на суда от длиннопериодных волн на порядок больше нагрузки от зыби, поэтому ее можно считать основной.

Причины возникновения тягуна во всем его многообразии еще окончательно не объяснены. В первом приближении его можно объяснить следующим. Тягун представляет собой двойной резонанс: резонанс длиннопериодных волн с колебаниями массы воды в порту и резонанс колебаний массы воды в бассейне порта с ко-

лебаниями пришвартованного судна. Акватория порта в этом случае служит усилителем длиннопериодных первичных волн.

Явление тягуна может наблюдаться в защищенных и открытых портах, в океанах и морях. Его можно встретить во многих отечественных и зарубежных портах, например, в Корсакове, Новороссийске, Корсакове, Холмске, Батуми, Ильичевске, Клайпеде, Потти и др.

Учитывая величину подобного движения судов, тягун можно подразделить на четыре типа:

- слабый – горизонтальные движения судов менее 1 м, высота длиннопериодных волн не превышает 10 см;
- средний – движения судов составляют 1 – 2 м при высоте длиннопериодных волн от 10 до 7,87 дюйма;
- сильный – движения судов могут быть от 2 до 4 м при высоте длиннопериодных волн от 20 до 40 см;
- очень сильный – движения судов более 4 м при высоте длиннопериодных волн более 40 см.

Для регистрации длиннопериодных волн, вызывающих тягун, можно использовать различного типа мареографы. В этом случае подобные волны можно выделить на обычной мареограмме, правда, здесь возникают определенные трудности. Во-первых, особое внимание необходимо обращать на возможности отфильтровывать высокочастотную составляющую поверхностного волнения. Волны с периодом менее 30 с не должны регистрироваться измерительными приборами. Во-вторых, длиннопериодные волны при этом должны регистрироваться с несущественными искажениями.

При регистрации тягуна с помощью поплавочных мареографов типа СУМ для отфильтровывания высокочастотной составляющей необходимо соответствующим образом подбирать площадь поперечного сечения входного отверстия подводной трубы колодца уровня поста. Обычно для этой цели отношение площади входного отверстия к площади колодца подбирается приблизительно в диапазоне $(25 - 33)10^{-4}$. Кроме мареографа типа СУМ для регистрации тягуна можно также использовать, например, прибрежный мареограф ГМ-28. Оба типа этих мареографов имеют стандартную протяжку диаграммной ленты со скоростью 2 см/ч, что делает запись трудноразборчивой. Длиннопериодные волны на

ленте регистрируются в виде частых зубчиков. При этом можно определить среднюю высоту подобных волн, но трудно зафиксировать точный период. В некоторых случаях средний период можно определить, разделив промежуток времени регистрации на количество волн. Кроме того, для лучшей дешифрации записи длиннопериодных волн можно довести скорость протяжки ленты до 0,5 см/мин.

При выполнении наблюдений за тягуном производятся следующие работы:

- фиксируется время начала и конца явления;
- каждые 1 – 3 ч выполняются наблюдения за движением судов в различных частях порта, при этом регистрируются периоды и величина движения судов, их тоннаж, размеры (длина, ширина, осадка), местоположение в порту, количество и вид швартовых канатов;
- с помощью мареографов записываются высота и период длиннопериодных волн;
- определяются параметры ветровых волн и волн зыби на подходах к порту и в различных его частях и, конечно же, вблизи наблюдаемых судов: высота, длина, период.

Измерители волн цунами. На сети Госкомгидромета в настоящее время чаще всего используются поплавковый регистратор цунами ГМ-23-I (рис. 5.16), гидростатический регистратор цунами ГМ-23-II (рис. 5.17) и сигнализатор цунами ГМ-30.

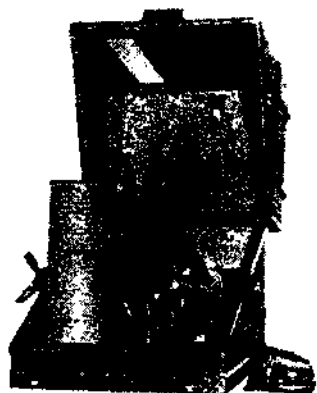


Рис. 5.16. Измеритель волн цунами ГМ-23-I.



Рис. 5.17. Измеритель волн цунами ГМ-23-II.

ГМ-23-I изготовлен на базе мареографа СУМ. Различие между ними заключается в том, что для лучшей расшифровки записи цунами в нем увеличена скорость вращения барабана, а для сигнализации об экстремальных значениях уровня в регистраторе установлены электрические контакты, включающие звонок, зуммер, сирену и т.п. Регистрирующая часть прибора помещена в литой герметичный корпус для предохранения при прохождении волн цунами. Прибор устанавливается в бетонированной будке над колодцем, соединенным с морем при помощи трубы. Бетонированные установки должны выдерживать динамический напор волн цунами при их накате на берег.

ГМ-23-II изготовлен на базе мареографа ГМ-28 и предназначен для регистрации волн цунами, высота которых превышает наибольший приливной уровень. Так как волны цунами наблюдаются сравнительно редко, в приборе предусмотрено специальное пусковое устройство, состоящее из открытых электродов и электромагнитного пускового реле. При подъеме уровня, превышающем максимальную высоту прилива, морская вода замыкает электроды, что заставляет срабатывать реле и включать часовой механизм прибора. Регистратор монтируется внутри специального бетонного основания. Прибор рассчитан на регистрацию высоты уровня до 10 м. Скорость вращения барабана увеличена в нем до 2,5 мм/мин.

ГМ-23-I и ГМ-23-II могут использоваться совместно и устанавливаться каскадом так, чтобы включение одного из них происходило до того, как перестал регистрировать другой. Перекрытие диапазонов измерения должно составлять 30 – 50 см, что обеспечивает непрерывность записи прохождения волн цунами.

Для подачи предупредительных сигналов о приходе опасных волн цунами используется *сигнализатор волн цунами ГМ-30*, выполненный в виде приставки к поплавковому измерителю. Принцип действия его основан на определении скорости изменения уровня с помощью магнитно-механической измерительной системы.

Глава 6

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЛНЕНИЕМ

6.1. История наблюдений над волнением

Поверхностное волнение моря – это процесс формирования, развития, распространения и затухания вызванных ветром волн на акваториях океанов, морей и других бассейнов. Волнение моря является одной из тех океанографических характеристик, которой человек стал заниматься сразу же, как только вышел в море. Так как состояние поверхности моря для моряков всегда было связано с силой ветра, то эти две характеристики долгое время оценивались совместно. Все это нашло свое отражение даже в общепринятых выражениях. Так, например, слова «штиль», «буря», «шторм» у каждого человека, связанного с морем, вызывают определенные представления о ветре по соответствующему ему состоянию моря.

Собранные моряками парусного флота с помощью визуальных или полуинструментальных измерений многочисленные количественные оценки элементов морских ветровых волн, несмотря на свою приближенность, имеют определенное значение и в настоящее время.

В 1853 г. в Брюсселе состоялась первая Морская международная метеорологическая конференция, много сделавшая для упорядочения гидрометеорологических наблюдений. Многие ее решения сохранили свое значение и до наших дней, например, 12 баллов шкалы Бофорта для наблюдений над ветром. 10-балльная шкала оценки состояния поверхности моря появилась в 1858 – 1859 гг., после чего, претерпев значительные внутренние изменения, она сохранилась до настоящего времени.

Впервые вопрос о единообразии массовых наблюдений элементов волн подвергся серьезному обсуждению на второй Международной конференции в Лондоне, в 1874 г. На ней была впервые предложена 10-балльная шкала степени волнения, которая, претерпев незначительные изменения, используется и поныне. К это-

му времени появились первые работы по исследованию влияния волнения на качку, прочность судов и гидротехнические сооружения. Тогда же появились и первые волномерные приборы: века Фруда, волномер Пари, динамометры Стивенсона и Гайярда и т.п.

6.2. Элементы волнения

Волнение поверхности моря является одной из тех океанологических характеристик, которые уже с давних пор интересовали людей, связанных с морем. Воздействию ветровых волн и зыби подвергаются в первую очередь плавающие в море суда и различные сооружения, находящиеся в прибрежной черте. Кроме того, поверхностное волнение оказывает влияние на формирование квазиоднородного слоя; передачу энергии; интенсивность и глубину перемешивания; интенсивность газообмена океана с атмосферой; проникновение загрязняющих веществ с поверхности моря в глубинные слои; изменение отражательной способности морской поверхности, что особенно сказывается при использовании неконтактных методов исследования океана и т.п.

Волны размывают и разрушают берега. Перемещают морские наносы (ил, гальку, песок) и заполняют ими судоходные каналы и портовые акватории, могут разрушать гидротехнические сооружения. Кроме того, данные о ветровом волнении и зыби необходимы для многих практических целей (судостроение, гидротехническое строительство на морях, навигация, рыбный промысел, расчет гидрофизических и гидрохимических процессов в океане и т.д.).

Ветровое волнение – это процесс формирования, развития, распространения и затухания вызванных ветром волн на акваториях морей, океанов и других бассейнов. Размеры, тип и форма волнения, скорость их перемещения, степень волнения, состояние поверхности моря (с.п.м.), т.е. в основном все элементы волн, зависят от целого ряда внешних причин: от силы и продолжительности ветра, от формы и размеров исследуемой акватории и т.п. Изучение всех этих зависимостей совершенно необходимо для решения основной задачи океанологии в этой области – для прогноза и расчета волнения в различных, но конкретных условиях. Решение этой задачи требует, естественно, законченной теории образования и развития волнения, для чего крайне необходимо проведение не-

посредственных наблюдений за волнением как в открытом море, так и в прибрежной зоне. Получение достоверных данных невозможно без измерений основных элементов волн. Такими элементами являются:

высота волны – превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле, проведенном в генеральном направлении распространения волн;

длина волны – горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле, проведенном в генеральном направлении распространения волн;

период волны – интервал времени между прохождением двух смежных вершин волн через фиксированную вертикаль;

направление распространения волн – направление перемещения волны, определяемое за короткий интервал времени порядка периода волны;

скорость волны – скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения, определяемая за короткий интервал времени порядка периода волны;

крутизна волны – отношение высоты данной волны к ее длине;

тип волнения – различают ветровое волнение, зыбь, мертвая зыбь, смешанное волнение. *Ветровые волны (вв)* – вызванные ветром волны, находящиеся под его воздействием. К ним относятся также *гравитационные ветровые волны* (вызванные ветром волны, в формировании которых основную роль играет сила тяжести), *капиллярно-гравитационные ветровые волны* (вызванные ветром волны, в формировании которых принимает участие сила тяжести и сила поверхностного натяжения) и *капиллярные ветровые волны* (вызванные ветром волны, в формировании которых основную роль играет сила поверхностного натяжения). *Зыбь (З)* – вызванные ветром волны, распространяющиеся в области волнообразования после ослабления ветра и (или) изменения его направления или вызванные ветром волны, пришедшие из области волнообразования в другую область, где дует ветер с другой скоростью и (или) другим направлением. *Мертвая зыбь (МЗ)* – вызванные ветром волны, распространяющиеся при отсутствии ветра. *Смешанное волнение (СВ)* – волнение, образующееся в результате взаимодействия ветровых волн и зыби;

форма волнения – различают регулярное, нерегулярное и толчею. *Регулярное волнение* – волнение, в котором форма и элементы всех волн одинаковы. *Нерегулярное волнение* – волнение, в котором форма и элементы волн меняются от одной волны к другой. *Толчея* – беспорядочное волнение, возникающее вследствие взаимодействия волн, бегущих в разных направлениях;

степень волнения определяется в баллах по высоте наиболее заметных крупных ветровых волн, зыби и волн мелководья (прибойных волн), находящихся в поле зрения наблюдателя;

состояние поверхности моря (с.п.м.) – элемент поверхностного волнения выражаемый в баллах и отражает не степень взволнованности моря, а эффект воздействия ветра на морскую поверхность, независимо от размеров волн.

При распространении волн из открытой части моря в прибрежную зону изменяются их характеристики и форма. При прохождении над мелководьем и приближении к берегу волны деформируются и разрушаются, вершины их гребней опрокидываются, волны начинают обрушиваться, энергия гасится. Это явление, которое носит название *бурунов*, служит признаком разрушения волн. Такие волны с забуруненными гребнями называются *прибойными волнами*, а само явление в своей совокупности называется *прибоем*. В случае, когда прибой сопровождается выбросом воды на значительную высоту, что обычно наблюдается вблизи приглубого берега, это явление носит название *взброса*.

Вблизи береговой черты прибойные волны окончательно разрушаются. Они опрокидываются или забуруниваются в последний раз и вода устремляется на берег, заливая его, а затем снова откатывается. Это явление носит название *наката*. Для прибоя типичны несколько рядов пенистых разбивающихся гребней волн. Следует отметить, что чем длиннее волны в открытом море, тем дальше от берега и на большей глубине появляются прибойные волны и тем больше их рядов образуется на прибрежном прибойном участке моря. Высоты прибойных волн, которые характеризуют силу прибоя, оцениваются в баллах по шкале степени волнения.

В том случае, когда ветровые волны и волны зыби распространяются на акватории с малыми глубинами, на форму и размеры волн будет оказывать влияние сила трения о дно. Данный про-

цесс называется *трансформацией волн*, в этом случае изменяются геометрические размеры, а также форма, период и скорость распространения волн. Глубина моря, равная половине средней длины волны, приблизительно служит границей, где начинается трансформация волн на мелководье. При набегании волн на оградительные сооружения, например, порта, возникает *дифракция волн*. При подходе волн к прибрежной зоне под некоторым углом их гребни начинают разворачиваться под влиянием малых глубин и стремятся занять положение, параллельное изобатам. Это явление называется *рефракцией*.

Изменение волн под влиянием только уменьшающихся глубин (при нормальном подходе гребней к берегу) называется *деформацией волн*. При определенных глубинах гребни волн опрокидываются и появляются *обрушивающиеся волны*. Набегающие на отлогий берег обрушивающиеся волны образуют *накат*.

Для осуществления Комплексного управления прибрежной зоной моря крайне необходимо количественное описание волн, для чего используют данные о средних значениях элементов волн и о значениях волн заданной обеспеченности. Эти величины принято называть *статистическими характеристиками* или *параметрами ветрового волнения*. В данном случае используются следующие характеристики волнения:

- средняя высота и высоты заданной обеспеченности;
- средняя длина и длины заданной обеспеченности;
- средний период и периоды заданной обеспеченности;
- направление распространения волн;
- средняя скорость распространения волн, средняя крутизна волн.

Все эти статистические характеристики ветрового волнения в фиксированной точке акватории в каждый момент времени определяются распределением скорости и направления ветра над исследуемой акваторией, продолжительностью действия ветра, разгоном волн, глубиной места, рельефом и уклонами дна и конфигурацией береговой черты бассейна.

Разгон волн – это расстояние, измеренное в направлении против ветра от точки наблюдений до подветренного берега (откуда дует ветер) или до подветренной границы поля ветра.

Акватории, в пределах которых дно не влияет на развитие волнения (глубины в этом случае составляют более 65 % средней длины волны в данном районе), называются *глубоководными*, иногда используется термин *глубокая вода*. Акватории, в пределах которых дно влияет на развитие волн, называются *мелководными*, или *мелкая вода*. В этом случае глубина составляет менее 65 % средней длины волны, а уклоны дна или близки к нулю, или произвольны, если глубины увеличиваются в направлении распространения волн. Прибрежная полоса воды, в которой, начиная с определенных глубин и до уреза воды, протекает процесс трансформации и окончательного разрушения волн, носит название – *прибрежное мелководье*. Типы акваторий и зон действия ветровых волн определяются в зависимости от соотношения между характеристиками волнения, с одной стороны, глубинами и уклонами дна – с другой.

В случае обеспечения КУПЗ для определения воздействия на гидротехнические и различные прибрежные сооружения в общем случае нужно знать расчетные параметры волн: высоту, период и длину расчетной волны, возвышение ее гребня над уровнем покоя, глубину первого обрушения волн, глубину последнего обрушения волн, высоту наката (заплеска воды на берег) или высоту взброса (если берег представляет собой круто наклонную стенку, принимающую на себя удары волны).

Расчетными называются такие характеристики волн, которые могут наблюдаться у гидротехнических и различных прибрежных сооружений при наиболее жестоких и волноопасных штормах и которые используют для определения воздействия волн на сооружения при их проектировании. Эти штормы и сопровождающиеся их ветровые условия также называются расчетными. В зависимости от класса и капитальности сооружения режимную обеспеченность расчетных штормов обычно принимают равной 10, 4, 2, 1 %, т.е. рассматривается максимальный шторм возможный один раз в 10, 25, 50 и 100 лет.

6.3. Обоснование необходимости наблюдений

Для определения расчетных параметров волн и характеристик волнения непосредственно из наблюдений необходимо располагать систематическими многолетними инструментальными наблю-

дений, проведенными именно в исследуемом районе и на определенных глубинах. Конечно же, такие наблюдения заранее не производятся и данные, как правило, отсутствуют. В некоторых случаях при случайном стечении обстоятельств имеющийся многолетний пункт наблюдений совпадает с районом исследований. Но даже и в этом случае результаты наблюдений обычно обладают недостаточно высоким качеством, так как чаще всего производятся полуинструментальными методами и заранее не подчинены задачам КУПЗ.

В этом случае требуются систематические, многолетние, инструментальные измерения именно в районе исследований. Такие материалы, как правило, отсутствуют. Поэтому необходимые параметры обычно получают расчетным путем. Но, несмотря на это, проведение натурных измерений представляет собой важную часть осуществления КУПЗ, особенно при проектировании и эксплуатации различных сооружений в море и прибрежной его части. Чаще всего проведение подобных измерений необходимо в следующих случаях:

1. Измерения осуществляются для получения предварительных или ориентировочных данных о ветроволновых условиях при отсутствии другой информации (синоптических карт с достаточной разрешающей способностью, стационарных наблюдений и т.п.).

2. В качестве одной из основных задач натурных измерений можно назвать проверку методов расчета ветра и волн. Важность этой задачи обусловлена тем, что многочисленные современные методы расчета и прогноза, применяемые в настоящее время во всем мире, еще заметно различаются между собой и, кроме того, они еще мало апробированы для штормовых условий, которые особенно важны для решения задач КУПЗ. Согласно данным Всемирной Метеорологической Организации, лучшие зарубежные спектральные и параметрические методы обеспечивают среднеквадратическую ошибку расчета примерно 1,5 – 2 м при характерных высотах волн (средняя высота одной трети наиболее высоких волн на волнограмме) примерно до 12 – 14 м. Ошибки расчетных и прогностических методов определялись путем сравнения результатов расчета и прогноза высот волн с измерениями, выполненными с помощью акселерометрических буйков, больших океанографических буйев, волнографов различных типов, устанавливаемых на океанографических платформах и судах погоды, спутниковых

измерителей. Отечественные методы, к сожалению, такой широкой проверки еще не прошли.

Особый интерес представляют штормовые условия и условия, плохо учитываемые современными методами. К штормовым можно отнести условия, когда скорость ветра превышает 15 – 20 м/с, обеспеченность таких скоростей в евразийских морях составляет преимущественно 3 – 10 % и 0,5 – 1 % соответственно. Существующие методы расчета дают заметно различающиеся данные по параметрам при относительном разгоне $gl / V^2 < 100$, где l – разгон волн, м; V – скорость ветра, м/с.

Подобная картина наблюдается и на мелководной акватории с относительными глубинами $gH / V^2 < 0,01$, где H – глубина места, м. Здесь необходимо обращать внимание на следующие обстоятельства:

- преобладание волн зыби в данном исследуемом районе;
- требуют специального внимания районы, расположенные под защитой мысов, островов, внутри бухт или на акватории сообщаемой с внешней акваторией сравнительно узким проливом или входом в канал. В этих случаях на элементы волн может оказывать влияние дифракция;
- в районе находящегося вблизи наветренного берега на расстоянии нескольких расчетных длин волн, при уклонах дна более 0,1, так как здесь может сказываться влияние отраженных волн;
- в районах отрицательных форм рельефа дна (желобов, морских каналов, каньонов), где часть волновой энергии может сложным образом фильтроваться и перераспределяться;
- на акваториях со сложным контуром береговой черты и при наличии множества островов. Здесь расчет осложняется кроме всего прочего наличием мелководий вокруг островов;
- при сложном рельефе дна вблизи проектируемых или эксплуатируемых сооружений в море, когда необходимо построить планы рефракции для спектральных составляющих с различными периодами и направлениями распространения;
- при уклонах дна в прибрежной зоне более 0,05 или меньше 0,002. В этих условиях плохо изучена трансформация волн;
- при наличии относительно сильных течений – когда $C/W < 10$, где W – скорость течения, м/с; $C = g/2\pi$ – условная средняя фазовая скорость волн, м/с.

Еще одной важной задачей проведения натурных наблюдений является накопление многолетних рядов данных измерений, анализ которых позволяет осуществить проверку методов расчета режима ветра и волн в исследуемом районе и провести методические исследования тонких характеристик режима: двумерных функций распределения, характеристик устойчивости ветра и волн, режимных спектральных функций, функций распределения параметров волн и скоростей ветра конкретного направления (при разбивке по румбам) и т.д. Кроме того, многолетние ряды наблюдений дают возможность оценить изменчивость ветро-волнового климата, выявить закономерности распределения штормов и решить другие вопросы.

И, конечно же, нельзя забывать о возможностях получения оперативной информации о ветре и волнах и последующей передачи в прогностические органы Росгидромета.

Весь комплекс современных наблюдений за волнением обычно выполняют визуально и с помощью различных приспособлений и приборов. Наблюдения за волнением производятся и с берега, и в открытом море — на судах различного типа и назначения, а также на буйковых станциях и стационарных платформах.

6.4. Визуальные наблюдения

Визуальные наблюдения за волнением заключаются в глазомерной оценке следующих элементов волнения: степени состояния поверхности моря, типа и формы волнения, длины, высоты, направления и периода. Визуальные наблюдения все же обладают малой точностью и поэтому в основном используются в информационных целях.

Определение степени волнения осуществляется по высоте наблюдаемых высот волн, производимое с округлением: до 0,25 м — при высоте волн до 1,5 м; до 0,5 м — при высотах волн от 1,5 до 4 м; до 1 м — при высотах волн более 4 м. Наибольшая высота волн определяется по оценке пяти наиболее заметных крупных волн, прошедших перед глазом наблюдателя в течение 5 мин. Высоты волн определяются на глаз, по последовательным отметкам гребня и подошвы на борту судна или по визуальной проекции гребня на надстройки или мачты судна. Перевод высоты волны в степень волнения производится с помощью шкалы степени волнения (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Шкала степени волнения

Высота волн, м		Балл степени волнения	Словесная характеристика волнения
от	до		
—	—	0	Волнение отсутствует
0	0,25	1	Слабое
0,25	0,75	2	Умеренное
0,75	1,25	3	Значительное
1,25	2,0	4	Значительное
2,0	3,5	5	Сильное
3,5	6,0	6	Сильное
6,0	8,5	7	Очень сильное
8,5	11,0	8	Очень сильное
11,0 и более	11,0 и более	9	Исключительное

Состояние поверхности моря (с.п.м.) определяется в баллах, а критерием для его оценки является вид поверхности моря под действием на нее ветра (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Шкала состояния поверхности моря

Характеристика состояния поверхности моря, баллы	Признаки для определения состояния поверхности моря
0	Зеркально-гладкая поверхность.
1	Рябь, появляются небольшие гребни волн.
2	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но пена не белая, а стекловидная.
3	Хорошо заметны небольшие волны, гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену – «барашки».
4	Волны принимают хорошо выраженную форму, повсюду образуются «барашки».
5	Появляются гребни большой высоты, их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн.
6	Гребни очерчивают длинные валы ветровых волн, пена, срываемая с гребней ветром, начинает вытягиваться полосами по склонам волн.
7	Длинные полосы пены, срываемой ветром, покрывают склоны волн и местами, сливаясь, достигают подошв.
8	Пена широкими, плотными сливающимися полосами покрывает склоны волн, отчего поверхность становится белой, только местами во впадинах волн видны свободные от пены участки.
9	Вся поверхность покрыта плотным слоем пены, воздух наполнен водяной пылью и брызгами.

При этом необходимо обращать внимание на внешние признаки: вид гребней, появление и распределение по водной поверхности барашков, брызг и пены. По с.п.м. можно судить о силе ветра. Бальность с.п.м. определяется по специальной шкале.

Определение состояния поверхности моря производится только при ветре. При штиле с.п.м. всегда равен нулю. При мертвой зыби с.п.м. не определяется.

Тип волнения обычно определяется по следующим признакам:

- *ветровое волнение* – волны имеют подветренный склон более крутой, чем наветренный. Верхушки гребней волн обычно заваливаются, образуя пену, или даже срываются сильным ветром. Направления ветровых волн и ветра приблизительно совпадают;

- *зыбь* – волны имеют правильную форму, они пологи и имеют длинные гребни, направления волн зыби и ветра могут не совпадать;

- *мертвая зыбь* распространяется при безветрии;

- *смешанное волнение* – волнение наблюдается при одновременном присутствии на водной поверхности ветрового волнения и зыби, причем направление распространения этих типов волн может не совпадать. Этот тип волнения чаще всего встречается в открытом море. Запись в книжке наблюдений производится в виде дроби, например, вв/З, причем в числителе ставится преобладающий тип.

Форма волнения определяется по расположению на поверхности моря гребней и впадин волн. Волны зыби и хорошо развитые ветровые волны при большой степени волнения являются примером *регулярного волнения*, когда хорошо заметны на водной поверхности сравнительно длинные гребни следующие в виде параллельных валов друг за другом. При *нерегулярном волнении* гребни волн разорваны на отдельные части неодинаковой высоты и длины по фронту движения, расстояние между соседними гребнями волн больше, чем длина этих гребней по фронту движения.

Направление распространения волн может быть определено путем непосредственного пеленгования по судовому компасу и фиксируется по восьми румбам: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ. При этом следует отметить, что на поверхности воды чайки, как прави-

ло, сидят носом на волну. Кроме того, необходимо учитывать, что направление указывается в соответствии с тем, откуда идут волны. Если наблюдается смешанное волнение, то направление определяется для каждого типа, а запись производится в виде дроби.

Длина волны определяется путем сравнения с длиной судна. При длине волны больше длины судна с кормы вытравливается буюк на такое расстояние, чтобы он находился на гребне волны, когда второй гребень находится под наблюдателем.

Период волнения определяется путем засечки секундомером времени прохождения через определенную, четко зафиксированную на поверхности моря, точку одиннадцати последовательно следующих друг за другом гребней волн. Затем это полученное время делят на десять и получают период волнения.

6.5. Устройства и приспособления для измерения элементов волн

Для измерения элементов отдельных волн пользуются различного типа специальными измерительными приспособлениями. Результаты подобных измерений, являясь более точными, чем визуальные, используются не только для информационных целей, но и для режимных обобщений. Одними из первых подобных приспособлений, не потерявших своего значения и до настоящего времени, являются волномерные рейки и вехи или волномерные щиты с сеткой, которые предназначены для определения высоты и повышения точности визуальных наблюдений.

Волномерные рейки (рис. 6.1, а) используются на небольших глубинах и обычно представляют собой шесть круглого сечения для наименьшего сопротивления их ударам волн с яркими делениями через 10 см. Длина реек выбирается с расчетом возможности измерения наиболее крупной волны при наивысшем уровне. Рейки или забиваются непосредственно в дно, или крепятся к свае.

Волномерные вехи (рис. 6.1, б) используются в более глубоких местах, где нельзя ставить рейку. Они состоят из собственно рейки, на которую нанесены деления, с поплавком. Закрепляются волномерные вехи жестко на одном и даже на трех якорях. При наблюдениях в открытом море можно использовать плавучие волномерные вехи. Стабилизация их в вертикальном положении дос-

тигается с помощью груза, укрепленного на нижнем конце рейки. Ниже груза закреплена специальная демпфирующая площадка, представляющая собой горизонтально расположенную раму, обтянутую водонепроницаемым брезентом. Площадка опускается на глубину, где не сказывается влияние поверхностного волнения (обычно более двухкратной высоты волны). Вежа опускается с борта судна и удерживается на лине на нужном расстоянии.

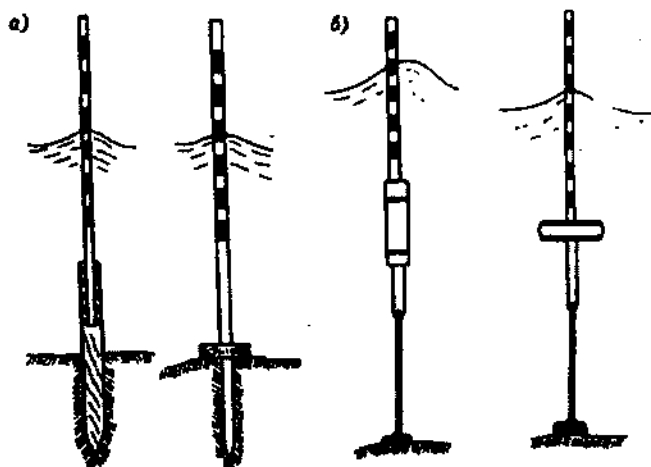


Рис. 6.1. Волномерные рейки (а) и вежи (б).

В целом подобные наблюдения не позволяют зафиксировать непрерывный процесс колебаний взволнованной поверхности, поэтому результаты таких наблюдений нельзя использовать для исследования статистических и спектральных характеристик волнения. Одним из наиболее точных методов регистрации колебаний в точке является киносъемка волномерной вежи или рейки с делениями. Однако этот метод трудоемок и используется, как правило, в качестве эталона при оценке точности других способов измерения характеристик поверхностного волнения.

В океанологической практике прибрежных наблюдений за основными элементами поверхностных волн, а также для измерения расстояний на море используются оптические *волномеры-перспектометры*. Широкое распространение у нас в стране нашел береговой волномер-перспектрометр ГМ-12 (ВБ-49) конструкции Иванова (рис. 6.2). Оптическая схема прибора представляет собой моно-

куляр (в некоторых модификациях бинокляр) со встроенной специально разграфленной сеткой, состоящей из системы линий в перспективной проекции.

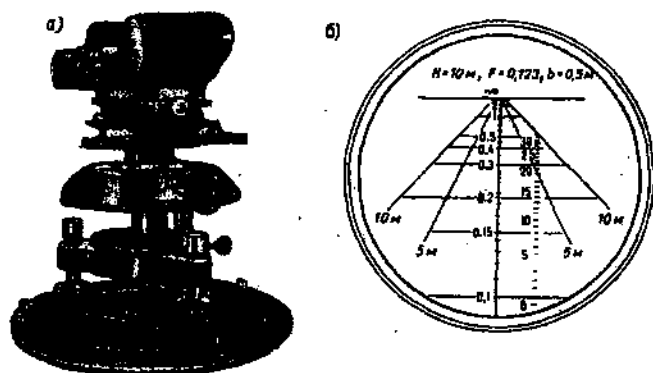


Рис. 6.2. Волномер-перспектометр Иванова (ГМ-12): а – волномер; б – перспективно-измерительная сетка.

На помещенную в фокальной плоскости одного из монокуляров стеклянную отсчетную сетку нанесены штрихи шкал дальности, высоты волн и наклонные линии для определения горизонтальных линий, перпендикулярных лучу зрения. Если верхнюю горизонтальную линию совместить с линией горизонта, то остальные горизонтальные линии будут соответствовать шкале дальности, оцифрованной в единицах длины. Наклонные линии, сходящиеся в одной точке, соответствуют параллельным линиям на поверхности моря, проведенным, как правило, на расстоянии 5 м одна от другой. Оптическая головка крепится на площадке, опирающейся обычно на горизонтальный цилиндрический валик, способный перемещаться в вертикальной плоскости для совмещения линии видимого горизонта на отсчетной сетке с линией видимого горизонта на море. Кроме того, вся эта конструкция может вращаться в горизонтальной плоскости относительно лимба на 360° и крепится в нужном положении стопорными винтами.

Отсчетная, или перспективная, сетка имеет две шкалы: шкалу дальности, расположенную в середине поля зрения оптической головки по вертикали, оцифрованную в единицах длины, предназначенную для измерения расстояний на море, и шкалу высоты

волн, расположенную справа от шкалы дальности, предназначенную для измерения высоты волн, которая определяется по количеству делений, уложившихся между подошвой и гребнем волны.

Сетка прибора рассчитывается для определенной высоты расположения прибора над поверхностью моря. В противном случае все результаты измерений умножаются на переходной коэффициент $k = H_1 / H$, где H_1 – фактическая высота установки прибора; H – рассчитанная высота. Рекомендуется выбирать k в пределах 0,5 – 2.

6.6. Волноизмерительная аппаратура

Инструментальные измерения элементов морских волн выполняются с помощью специальной водоизмерительной аппаратуры или волнографов, которые позволяют регистрировать величины, характеризующие волновые движения или измерять их элементы с наибольшей достоверностью. Подобные инструментальные наблюдения используются как для целей информации, так и в случае их систематичности и большой продолжительности, а также для режимных обобщений. Для статистической обработки при измерении волн необходима регистрация совокупности не менее 150 – 200 волн, следующих друг за другом. Поэтому длительность измерений волнения в точке при среднем значении периода волн от 4 до 8 с должна быть не менее 15 – 20 мин. Причем необходимо учитывать, что при развитии и затухании штормового волнения измерения следует производить с дискретностью 1 – 3 ч.

Как известно, частота и высота морских ветровых волн находится в пределах примерно от 0,03 до 10 Гц и от нескольких миллиметров до 25 м. И вполне естественно, что измерять волны в таких широких пределах изменений частот и высот одним каким-либо универсальным прибором практически невозможно. Но для решения основных практических и научных задач достаточно измерение волн с высотами от 0,1 до 25 м и частотами от 0,03 до 1,0 Гц в открытых частях океанов и морей и 0,1 – 10 м и частотами 0,06 – 1,0 Гц в прибрежных районах. Для таких характеристик волнения возможно использование и какого-то одного универсального прибора.

В настоящее время существует большое количество разнообразных методов и приборов – волномеров (приборы или устройст-

ва для измерения элементов волн) или волнографов (приборы для записи волновых колебаний свободной поверхности моря) для исследования морского волнения. Рассмотрим принцип действия и устройство некоторых типов волноизмерительной аппаратуры, используемой в океанографической практике.

Электродные волнографы включают в себя приборы, датчиками которых являются один или два электрода, погруженных вертикально в воду. По принципу действия можно различить следующие типы электродных волнографов.

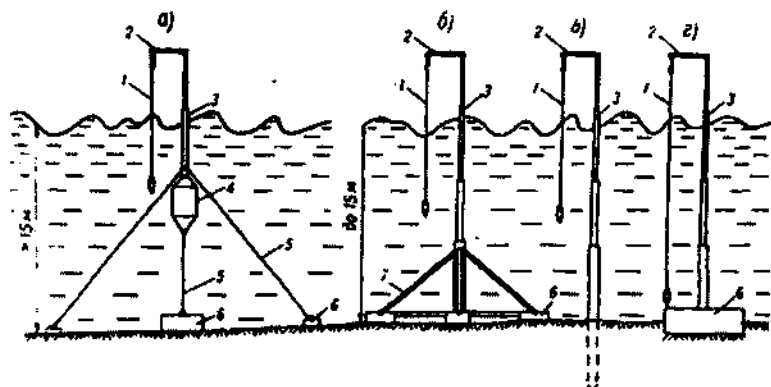


Рис. 6.3. Струнные (резистивные) волнографы:

- а* – на притопленном буйе с заякоренными оттяжками; *б* – на сварной пирамиде;
- в* – на свае, забитой в грунт; *г* – на свае, заделанной в бетонную плиту.
- 1 – датчик с грузом; 2 – кронштейн; 3 – телескопическая опора;
- 4 – притопленный буй; 5 – трос; 6 – мертвый якорь; 7 – сварная рама.

Струнные (резистивные) волнографы предназначены для непрерывной записи профиля волн в выбранном масштабе. Датчиком таких волнографов является не окисляемая в морской воде проволока с большим удельным сопротивлением, натянутая обычно на жесткую опору (рис. 6.3), устанавливаемую в прибрежных районах. Проволока заглубляется в воду примерно на половину своей длины. Морская вода служит проводником с малым активным сопротивлением. Пусть $\gamma/\epsilon\omega \gg 1$, где γ – удельная проводимость морской воды, $4 \cdot 10^{-2}$ 1/Ом·см; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость морской воды, $7 \cdot 10^{-12}$ Ф/см; ω – угловая частота переменного тока питания, рад/с. Экспериментально доказано, что для питания струнного датчика оптимальная частота тока

(f) может колебаться в пределах 5 – 8 кГц, так как использование тока высокой частоты способствует устранению обрастания электродов. Поэтому, зная, что $\pi^2 = \omega f$ и выбрав $f = 5$ кГц, получим $\omega = 31\,400$ рад/с. Отсюда $\gamma/\varepsilon\omega \gg 1$, т.е. можно сказать, что морская вода для токов звуковой частоты практически в данном случае представляет собой короткозамкнутый провод (изменение расстояния между двумя нихромовыми проволоками в морской воде от 0 до 25 м изменяет сопротивление между ними не более чем на 0,5 Ом). Таким образом, при волнении закорачивается часть проволоки, соответствующая уровню воды, а изменение ее сопротивления пропорционально профилю проходящей волны.

Типичным струнным (резистивным) волнографом является разработанный у нас в стране *прибрежный волнограф ГМ-61*, предназначенный для измерения высот (в диапазоне 0,05 – 10 м) и периодов волн. Прибор состоит из проволочного датчика кабельной связи, генератора звуковой частоты для питания датчика (5 кГц), измерительной схемы и аналогового регистратора с возможностью вывода на ЭВМ. В качестве датчика, преобразующего волновые колебания в электрический сигнал, используется высокоомная безокисная нихромовая проволока диаметром 0,3 – 0,4 мм и длиной 10 м, которая с концевым грузом подвешивается на эстакадах, свайных пирсах, свайных основаниях и т.д. и погружается при этом в воду на половину своей длины. Датчик включен в измерительную схему, выходной сигнал которой, промодулированный с профилем волновых колебаний водной поверхности, по линии связи (провод П-268 длиной около 500 м) подается на выпрямитель, а затем на регистратор.

Интересная реализация использования струнных волнографов для исследования высокочастотной составляющей поверхностного волнения была осуществлена в США. Датчик измерительной системы состоит из нескольких струн, изготовленных из нержавеющей стали диаметром 0,38 мм, длиной около 9 м и скомпонованных по группам. Каждая группа состоит из 3 штук, расположенных по прямой на расстоянии 15 см друг от друга. Причем вертикальная плоскость расположения каждой из групп составляет 90° по отношению к другим группам. Подобное расположение групп позволяет производить измерения кроме амплитуды и периода

волнения в диапазоне частот 0 – 10 Гц еще и наклон волны с точностью до 2° и направление распространения волны. Следует отметить, что для успешной эксплуатации такого прибора необходимы специальные схемные решения, тщательный расчет измерительной цепи и трудоемкая калибровка.

Электроконтактные волнографы являются частным случаем резистивных волнографов. Они представляют собой вертикальный ряд пар контактов, расположенных через фиксированное (5 – 10 см) расстояние на несущем стержне (рейке). Между контактами рейки включены постоянные сопротивления. При изменении уровня воды контакты либо замыкаются, либо размыкаются, изменяя общее сопротивление цепи. Зная положение контактов относительно уровня поверхности, можно определить ее возвышение. При уменьшении расстояния между контактами данный тип волнографа приближается по своим характеристикам к струнным волнографам, уменьшая дискретность измерений. На точность и стабильность таких волнографов влияют брызги, смачиваемость, коррозия, обрастание и загрязнение контактов.

Для устранения подобных причин погрешностей М. Т. Миязак (Япония) предложил конструкцию волнографа, в котором контакты изолированы от воды. Датчик волнографа начинает работать при сжатии гибкого внешнего кожуха с внутренним токопроводящим слоем под воздействием столба воды переменной высоты таким образом, что внутренние чувствительные элементы замыкаются на общий проводник. Подобная конструкция увеличивает долговечность и надежность волнографа.

К электроконтактным волнографам относится и разработанный в США радиоволнограф «Волновая вежа». Датчиком здесь служит длинный изолированный металлический стержень с рядом контактов. Стержень установлен на несущей малоподвижной базе – притопленном, свободно плавающем поплавке. Поплавок состоит из нескольких секций пустотелых загерметизированных труб диаметром 150 – 200 мм и общей длиной 20 м. Волнограф рассчитан на измерение волн высотой до 4,5 м. Передача получаемой информации осуществляется по радиоканалу, для чего на несущем бусе смонтированы измерительная схема, блок вторичного преобразования и радиопередающая аппаратура.

Нашел применение для измерения средних характеристик волнения, особенно в шельфовой зоне, автономный радиоволномер ГЗ-2 (рис. 6.4) с передачей получаемой информации по радиоканалу. Датчиком волнения в устройстве используется электроконтактная веха (1). При работах на глубинах более 20 м в качестве несущей опоры датчика использован буй – веха Фруда. Такой буй изготовлен из легкого алюминиевого сплава марки АМГ-6 в виде длинной полый трубы, составленной из набора герметичных секций (2) с соединительными муфтами (3). Такой буй изготовлен из легкого алюминиевого сплава марки АМГ-6 в виде длинной полый трубы, составленной из набора герметичных секций (2) с соединительными муфтами (3).

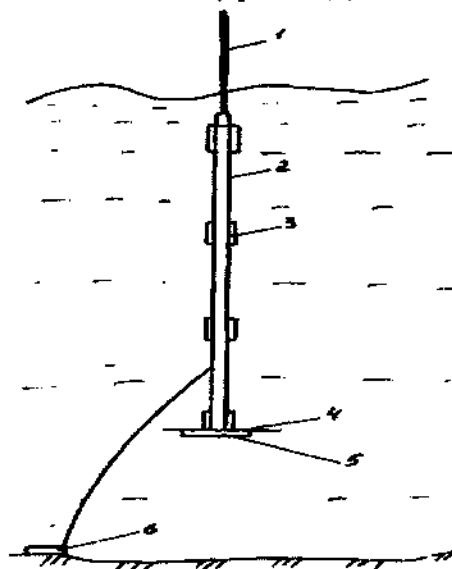


Рис. 6.4. Автономный радиоволномер ГЗ-2.

Для уменьшения собственных вертикальных колебаний буя на волнении на его нижнем конце прикреплены демпфирующий диск (4) и груз (5). Вся система устанавливается на якорь (6). Полезная грузоподъемность буя при метацентрической высоте 2 м и высотах волн до 6 м составляет 10 – 15 кг. Общая масса буя не превышает 100 кг.

Определение средних характеристик волнения осуществляется в автономном блоке следующим образом. Измеряется время прохождения 128 волн и суммируются высоты этих волн, затем автоматически это время и сумма делится на количество волн. Та-

ким образом, определяют среднюю высоту волн в диапазоне 0,2 – 8 м с ошибкой 6 % и средний период в диапазоне 0,25 – 16 с. Автономность работы устройства – до 1 месяца.

Точность и разрешающая способность резистивных и электроконтактных волнографов зависят от стабильности и разрешающей способности источников питания, от точности регистрации напряжения и используемых регистраторов, а также от диаметра датчика.

Емкостные волнографы в простейшем виде представляют собой изолированный, чаще всего тефлоном или углеродосодержащим полиэтиленом, токопроводящий стержень с загерметизированным нижним концом, помещенным в морскую воду. Система: морская вода – диэлектрик – проводник образует своеобразный конденсатор, емкость которого меняется в зависимости от прохождения профиля волны, т.е. зависит от площади обкладок и прямо пропорциональна профилю волны. Если этому конденсатору сообщен определенный известный заряд g , то с изменением емкости C меняется и напряжение U :

$$U = g/C.$$

Основное требование к емкостным волнографам – линейное изменение выходного сигнала от профиля волны. Датчик волнографа должен иметь небольшой диаметр для уменьшения погрешностей, обусловленных поверхностным натяжением воды, которое вызывает небольшую разность при измерении емкости в случае быстрого прохождения волны, что особенно важно при измерении волн в более высокочастотной части спектра.

Примером подобного типа волнографа является *емкостной датчик для регистрации волн*, разработанный в США. Датчик волнографа в виде стального стержня диаметром 1,6 мм и длиной 16 мм, покрытого полистиролом, позволяет измерять высоты небольших ветровых волн. Погрешность измерения не превышает 6 % для частот 0,03 – 28 Гц. Широкий динамический диапазон электронной аппаратуры позволяет производить измерение ряби с постоянной точностью независимо от степени волнения. Недостатком датчика является то, что он не может быть установлен на судне, а требует для своей работы неподвижной опоры.

Можно отметить, что электродные волнографы, выполненные в лучшем своем исполнении, являются эталонными приборами в волноизмерительной технике.

Поплавковые волнографы. В качестве датчика для измерения характеристик волнения используются также плавающие поплавки. Поплавки обычно изготавливают в форме вертикального цилиндра и крепят с помощью жестких пружин к несущей конструкции. Переменная архимедова сила, действующая на поплавок при прохождении профиля волны, воспринимается пружинами и преобразуются в непрерывную запись колебаний волнового уровня. Но этот метод не позволяет производить измерения в высокочастотной части спектра.

Примером использования подобного метода может служить *волнограф типа Вемельсфельдера* с механической передачей перемещений небольшого поплавка, помещенного в перфорированную трубу, при прохождении волнового профиля на регистратор.

Измерители гидростатического давления. Измерение давления осуществляется датчиками, расположенными на дне при небольших глубинах или находящимися в фиксированном положении ниже поверхности воды. На каждый датчик при этом действует столб воды и атмосферное давление. Это суммарное давление медленно меняется в связи с наличием в море длиннопериодных колебаний и происходящих атмосферных процессов. Волновой профиль накладывается на эти медленные изменения суммарного давления. Для измерения поверхностного волнения в этом случае используются различного типа датчики гидростатического давления, общие принципы действия которых приведены в гл. 5 «Наблюдения над колебаниями уровня моря».

Волнограф модели 521 (рис. 6.5) фирмы «ГидроПродукт» (США) предназначен для измерения высоты и периода волн при температуре окружающей среды $-10 \dots 50^\circ\text{C}$ и является абсолютно автономной системой. В его состав входят полупроводниковый тензометрический датчик, преобразователь, самописец с записью результатов измерений на ленте и блок питания. На ленте самописца воспроизводится легко воспринимаемая аналоговая запись средних характеристик высот волн от 0 до 3 м для средних периодов волн 5 – 20 с. Непрерывная запись амплитуды волны осущест-

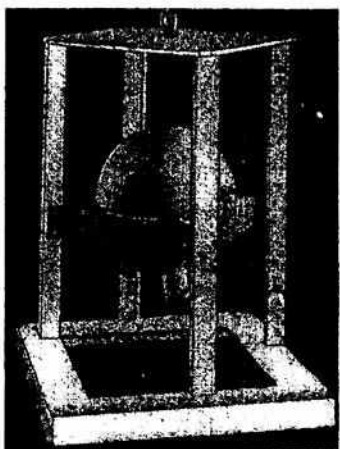


Рис. 6.5. Волнограф модели 521.

вляется в течение 400 с каждые 1000 с. В течение этого промежутка времени определяется средний период волны по среднему времени между двумя моментами пересечения волной нулевого уровня. Точность регистрации по всем измеряемым параметрам составляет $\pm 2\%$ от всей шкалы, а точность по времени в пределах $\pm 10\%$, причем данные о высоте волны автоматически корректируются установкой глубины датчика.

Измерительная схема волнографа помещена в анодированную алюминиевую сферу, состоящую из двух разделяемых полусфер с фланцевым соединением. Полусферы, кроме анодирования для предотвращения обрастания, подвергнуты термообработке и покрыты изнутри и снаружи эпоксидной смолой и краской. Диаметр сферы 273 мм, а толщина стенок 12,7 мм.

В рабочем положении сфера помещается для удобства эксплуатации в стальную поддерживающую раму, снабженную приспособлением для установки сферы в необходимом положении по отношению ко дну. Высота рамы 667 мм, а длина и ширина составляют 508 мм. Автономность работы волнографа 7 суток, а в случае использования внешнего контейнера с дополнительным блоком питания автономность работы увеличивается до 30 суток. В качестве источника питания используются никель-кадмиевые батареи. Волнограф устанавливают на глубину не более 15 м. Причем его можно устанавливать на дно или на АБС на больших глубинах.

Более высокая точность измерения характеристик волнения (не хуже $\pm 1\%$ от всей шкалы) достигнута в аналогичной системе, выпускаемой также фирмой «ГидроПродукт», дистанционном анализаторе волн модели 621-S.

Буйковые волнографы. При использовании волнографов подобного типа датчики характеристик поверхностного волне-

ния располагают или на буре, плавающем на поверхности, или подвешивают к нему.

Буйки с подвешенным датчиком волнения используются в основном при расположении датчика гидростатического давления на глубине более половины длины волны. Это вызвано тем, что воздействие ветрового волнения на такую глубину не проникает и гидростатическое давление там постоянно. Оно не зависит от состояния водной поверхности, а датчик давления, подвешенный к бую на такой глубине, воспринимает лишь вертикальные перемещения бую как изменения глубины погружения относительно уровня поверхности, т.е. как изменения гидростатического давления пропорциональные профилю волны. Передача сигнала на борт судна может осуществляться или по кабелю (волнограф ГМ-16, Россия) или по радиоканалу («Метеобуй» – США и волнограф ГМ-32 – Россия).

Следует отметить, что у нас в стране очень большое количество данных о характеристиках волнения, особенно в открытом море, было получено волнографом ГМ-16. На основе этих данных была сформулирована, существующая и сейчас, теория ветрового волнения. Поэтому, несмотря на наличие определенных погрешностей измерений и снятие с производства, конечно же, необходимо привести его описание. Тем более, что он является типичным представителем буйковых волнографов.

Волнограф ГМ-16 предназначен для записи профиля волны на ленте самописца и определения высоты и периода волн с судна лежащего в дрейфе или стоящего на якоре. Датчик волнографа на четырехжильном кабеле подвешивается к свободно плавающему на водной поверхности пенопластовому буйку и тем же кабелем типа РШМ длиной 450 м через блок управления и контроля связывается с аналоговым регистратором, находящимся на борту судна.

Основной частью датчика (рис. 6.6) является приемник давления (3), представляющий собой латунный цилиндр, одной из боковых плоских стенок которого служит гофрированная мембрана (4) из бериллиевой бронзы, припаянная по контуру к корпусу приемника.

Внутри его закреплена текстолитовая пластина с наклеенными на ней четырьмя проволочными тензометрами, изготовленными из

константана диаметром 0,03 мм и соединенными между собой по схеме равновесного моста постоянного тока.

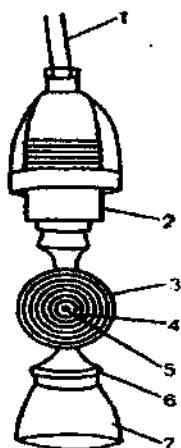


Рис. 6.6. Датчик волнографа ГМ-16.

Пластина стойкой и винтом (5) жестко связана с центром мембраны. Колебания мембраны, вызванные изменением гидростатического давления через стойку передаются текстолитовой пластине с тензотренирами, что вызывает изменение их сопротивлений и разбаланс моста. Напряжение питания (сухие батареи, находящиеся в блоке управления и контроля) по кабелю (1) через штепсельный разъем (2) подается на одну из диагоналей моста, а сигнал разбаланса моста, пропорциональный изменению гидростатического давления, снимается с другой диагонали моста и по кабелю подается на регистратор. В нижней части датчика помещен штуцер (6), на котором

смонтирован узел компенсатора (7), состоящий из двух полусфер (оргстекло) и сферического баллона, изготовленного из тонкой эластичной резины. При погружении датчика воздух из баллона компенсатора через штуцер поступает внутрь приемника давления, уравнивая наружное давление на мембрану. Это происходит до достижения рабочей глубины погружения датчика, когда весь воздух компенсатора переходит в приемник давления. В дальнейшем изменение гидростатического давления, вызванное волновыми колебаниями водной поверхности, уже непосредственно воспринимается мембраной.

Недостатком ГМ-16 является то, что при производстве записи волнения судно и боек с датчиком дрейфуют с разными скоростями, что вызывает необходимость регулярного вытравливания кабеля. Вес вытравленного кабеля, а иногда (особенно при сильном ветре) и нехватка запаса кабеля, приводят к тому, что боек не повторяет свободно волновой профиль, а как бы срезает гребни волн.

От этого недостатка, в какой то мере, избавлен *радиоизмеритель волн ГМ-32 и «Метеобуй»*, принцип действия которых одинаков. В этих устройствах на бую с большим запасом плавучести

размещены радиопередатчик с антенной, преобразователем и блоком питания. Датчик гидростатического давления (аналогичный датчику ГМ-16) тензометрического типа с помощью гибкого кабеля подвешивается под бумом на определенной, заранее заданной, глубине. Получаемая информация по радиоканалу передается или на береговую базу, или на борту судна, где она преобразуется в вид, удобный для дальнейшей обработки и регистрации.

При использовании волнографов типа буйков с подвешенным датчиком волнения возникает дополнительная погрешность. Подобная методика измерений предполагает, что система буй – кабель – датчик колеблется под воздействием волн в строго вертикальном положении. На самом же деле из-за воздействия орбитального движения частиц на волне, особенно в результате ударов разрушающихся гребней волн, буй совершает также колебания в горизонтальной плоскости (до 15 м). Вследствие гибкости кабеля и довольно большого динамического сопротивления его и датчика горизонтальному перемещению в воде, система буй – кабель – датчик не будет сохранять вертикальности и в измерениях высот волн появляется погрешность, которую иногда называют орбитальной. Эта погрешность может достигать 5 – 10 % и является случайной в силу случайного характера воздействия волн на буйковые системы.

Волнографы, регистрирующие ускорение волнового движения, включают в себя буй с установленными на нем стабилизированными по вертикали датчиками вертикального ускорения (с пределами измерения $\pm 2g$) – акселерометрами. Сигнал с акселерометра после двойного интегрирования по времени позволяет судить о высоте поверхностных волн. Акселерометры устанавливаются на буме, так как предполагается, что движения буя в точности следуют волновым движениям. Надежность работы измерительной схемы этого типа приборов достигается еще и тем, что вся аппаратура помещается внутри буя и изолирована от контакта с внешней средой. Такие буи обладают автономностью работы вплоть до года, автоматически с заданной дискретностью по времени, передавая сведения о поверхностном волнении. Подобные акселерометрические буи используются в различных видах: дрейфующие, теряе-

мые, привязные (к судну или несущему бую), заякоренные с кабельной или радиосвязью.

В настоящее время существует несколько вариантов подобного типа приборов. Из них можно отметить «Вейврайдер» фирмы «Датавел» (Нидерланды), «Вейвтрек» фирмы «Эндеко» (США), «Вейвкрейстбуй» фирмы «НБА Контроль ЛТД» (Великобритания) и автономный волноизмерительный буй ГОИНа (Россия). Эти волнографы позволяют измерять параметры ветрового волнения с достаточно высокой точностью даже в штормовых условиях. Однако их конструкции довольно сложны и имеют высокую стоимость.

Волномерный буй «Вейврайдер» имеет полый стальной сферический корпус диаметром 70 см и весом 90 кг. Внутри буя в специальной полости, заполненной демпфирующей жидкостью, установлен высокочувствительный акселерометр на демпфированном маятнике для стабилизации его вертикального положения. Период собственных колебаний маятника составляет 40 с. В бую размещены также схема преобразования сигнала датчика, блок питания и УКВ-радиопередатчик, обеспечивающий устойчивый прием информации в радиусе до 50 км. Антенна передатчика – 11-метровый штырь расположена в верхней части буя, в пружинящей опоре. К бую подвешивается балласт, масса которого зависит от ожидаемой скорости ветра, вместо балласта может подвешиваться термисторная цепь. Кроме того, волнограф имеет якорную систему, состоящую из троса, закрепленного в нижней части буя, эластичного элемента и якоря в виде цепи или бетонных блоков. Благодаря размерам, массе корпуса и методике установки волнографа для работы высокочастотное волнение срезается начиная с 0,8 Гц, т.е. исключается возможность измерения волн с периодами меньше 3 – 4 с. Автоматическая обработка результатов измерений на пункте приема информации позволяет рассчитывать средний период за 10 мин, фиксировать экстремальные и средние значения высоты волн, а также форму волнения.

Волнограф «Вейвтрек» конструктивно состоит из поверхностного буя, выполненного из литого алюминия сферической формы, соединенного с помощью жесткой штанги с герметичным контейнером в подводной части. В контейнере на гибкой связи подвешен акселерометр. Собственная частота отклонений акселеро-

метрического датчика от вертикали за высокочастотной границей диапазона частот измеряемых волн составляет около 3 Гц. Гидродинамическое сопротивление движению в воде штанги с контейнером, имеющим специальное оперение из продольных металлических пластин и датчика в контейнере с демпфирующей жидкостью таково, что обеспечивается наиболее благоприятный апериодический режим колебаний датчика относительно вертикали. В остальном он не отличается от волнографа «Вейврайдер».

Волнограф «Вейвкрайст» конструктивно выполнен из двух буюв сферической формы. В одном из них, измерительном, размещены акселерометрический датчик с системой низкочастотной маятниковой подвески в демпфирующей жидкости, измерительная схема, блок питания, УКВ-радиопередатчик с антенной в верхней части корпуса. Второй буй, несущий, предназначен для крепления якорной системы. Оба буюа связаны между собой штангой, узел крепления которой к буюу обеспечивает возможность их относительного поворота. Основным преимуществом данного волнографа является развязка измерительного буюа от якорной системы, что практически приводит к независимости передаточной характеристики прибора от динамических возмущений, вызванной методикой постановки на якорь.

Автономный волноизмерительный буй, разработанный в ГОИН, состоит из двух буюв (рис. 6.7) – измерительного (3) и несущего (1).

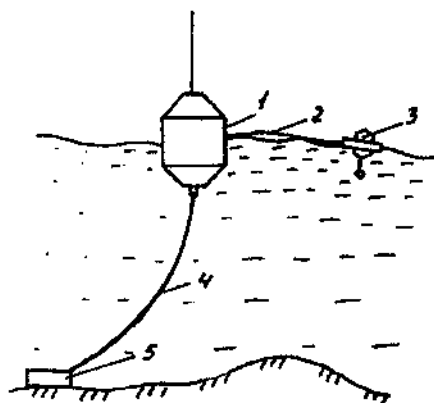


Рис. 6.7. Автономный волноизмерительный буй ГОИН.

Измерительный буй выполнен в виде сферы диаметром 315 мм. Внутренняя полость его заполнена демпфирующей жидкостью – трансформаторным маслом, где и находится акселерометрический датчик в кардановом подвесе. Буй для вертикальной стабилизации снабжен противовесом, а для обеспечения положительной плавучести – внешним пенопластовым кольцом.

Несущий буй представляет собой герметичный контейнер цилиндрической формы с коническими крышками высотой 850 и диаметром 580 мм. Внутри буя размещены: блок обработки сигнала датчика, устройство управления, компас, аккумуляторы, устройство преобразования энергии волн в электрическую энергию, УКВ-радиостанция со штыревой антенной в верхней части контейнера, на верхушке которой закреплен сигнальный огонь. Нижняя коническая крышка несущего буя через вертлюг и капроновый фал (4) соединена с якорем (5).

Устройство преобразования энергии волн в электрическую энергию представляет собой генератор постоянного тока ГРП-16/60 и инерционную массу. Статор генератора неподвижно связан с бумом, а инерционная масса с его ротором, ось которого совмещена с вертикальной осью буя. Акселерометрический датчик позволяет измерять вертикальные ускорения в диапазоне $\pm 1,5g$ при измерении его выходного напряжения ± 3 В. Он представляет собой механическую маятниковую систему с преобразователем углового перемещения маятника в электрический сигнал. Подвеска датчика в измерительном буме выполнена низкочастотной. Период ее собственных колебаний равен 40 с и находится вне диапазона периодов измеряемых волн.

Оба буя в области их ватерлинии соединены между собой двухжильным кабель-тросом, заключенным в оболочку, сочлененную из плавучих цилиндрических элементов (2). Подобная конструкция позволяет ограничить кривизну кабель-троса, не позволяет сближаться буям и ориентировать всю конструкцию волнографа вдоль генерального направления распространения волн.

Воноизмерительный буй предназначен для измерения параметров волн на глубинах до 15 м. Диапазон измерения волнографа по высотам волн (h) составляет 0,25 – 20 м с погрешностью $\pm(0,1 -$

0,05h) м, а периоды волн 1,0 – 20 с с погрешностью $\pm 0,5$ с. Передача информации осуществляется на расстоянии до 15 км.

Регистрировать вертикальные перемещения буй, кроме того, можно, измеряя колебания атмосферного давления с помощью барографа, установленного на этом бую. Такие приборы, представляющие в сущности разновидность барографа, недороги и сравнительно просты в эксплуатации. Еще в конце двадцатых годов XX в. В. В. Шулейкин предложил прибор подобного типа. Но он не нашел в то время широкого применения.

В настоящее время используется буй с установленным на нем *микробарографом* (США), позволяющим регистрировать волновое возвышение. Микробарограф снабжен специальными испарителями для капель воды, проникших через отверстия внутрь прибора, что, в свою очередь, вносит погрешность за счет избыточного давления паров воды и колебания температуры воздуха вблизи мембраны.

Альтиметры. Всю волноизмерительную аппаратуру, с помощью которой можно определить неконтактным способом расстояние от какого-то фиксированного уровня до взволнованной водной поверхности, объединяют альтиметры. Расстояние определяется с помощью либо импульсной техники (сигнал излучается импульсами и определяется сдвиг во времени между излученными и принятыми импульсами), либо модуляционной техники (сигнал несущей частоты модулируется по амплитуде или по частоте и также определяется сдвиг во времени). Альтиметры разделяются на системы, работающие в надир и в зенит (подводные). Но в обоих случаях носитель может быть неподвижным (надводная или подводная платформа, дно моря) или движущимся (самолет, ИСЗ, подводная лодка). В последнем случае обязательно учитываются вертикальные колебания носителя, направление движения его относительно генерального направления волн и угловое распределение энергии в спектре. Точность измерения волновых возвышений определяется диаметром пятна облучения и пространственным спектром поверхности. К приборам, работающим в надир, относятся радары, лазеры, инфракрасные альтиметры и сонары (ультразвуковые эхолоты), к приборам, работающим в зенит, – сонары. К альтиметрам относят также доплеровский и радиоизотопный аль-

тиметры, а также регистратор жесткости космических лучей. Остановимся на приборах, работающих в зенит, так как приборы, работающие в надир, изучаются в других дисциплинах. Из этих приборов в океанологической практике наибольшее применение нашли гидроакустические устройства для измерения характеристик волнсения.

Гидроакустические устройства позволяют измерять высоту волн на водной поверхности посредством непрерывных или импульсных ультразвуковых колебаний. Схема устройства содержит стационарные пересекающиеся под прямым углом антенные элементы, располагающиеся на дне. Каждый из них имеет нацеленную к водной поверхности веерообразную диаграмму направленности. Для передачи зондирующих сигналов и приема отраженных используются две расположенные под прямым углом и пересекающиеся диаграммы направленности, оси симметрии которых совпадают. При этом на участке пересечения происходит перемножение этих диаграмм направленности, что даст возможность сформировать острую, высокоэффективную диаграмму направленности зондирующего луча.

Подобное устройство, обеспечивающее необходимую точность измерений при использовании на больших глубинах, но требующее точной установки параллельно водной поверхности, было предложено в Японии (патент № 50-15371). На этом же принципе работает выпускаемый серийно в Японии прибор USW 132, обеспечивающий точность измерений $\pm 1\%$ и работающий на частоте 200 кГц.

Акустический измеритель волнения модель 480 фирмы «Ocean research equipment» работает по принципу обратного эхозондирования. Подводный блок (рис. 6.8) состоит из устанавливаемой на дне на глубинах до 600 м конструкции, в которой на кардановом подвесе смонтирован гидроакустический излучатель, направленный к поверхности моря, с очень узким лучом (ширина луча $\pm 1^\circ$) и с рабочей частотой 200 кГц, а также контейнер с электроникой. Ультразвуковые импульсы, излучаемые генератором, доходят до водной поверхности и, отражаясь от границы раздела вода – воздух, возвращаются назад на вход приемника акустического волномера.

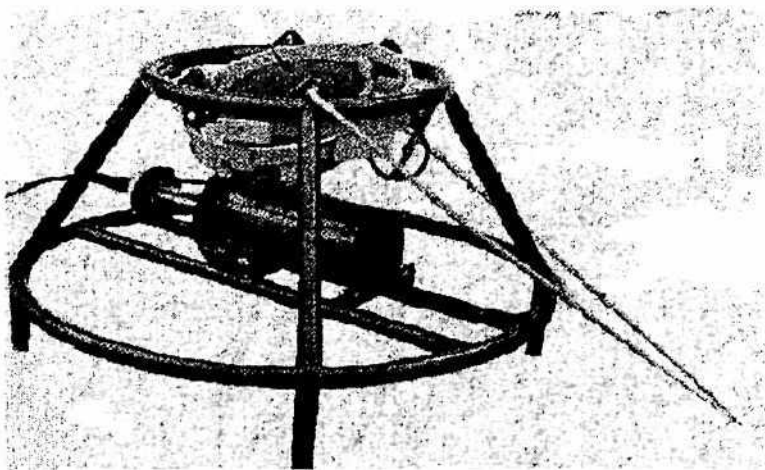


Рис. 6.8. Акустический измеритель волнения модель 480.

Время между излучением и приемом импульса служит мерой расстояния между акустическим волномером и поверхностью моря. Профиль волны, перемещаясь по водной поверхности, изменяет расстояние, проходимое ультразвуковым импульсом, что и фиксируется прибором, разрешающая способность которого 2,5 см, а точность измерений до 5 % от высоты волны.

Кроме ветрового волнения система может регистрировать и другие колебания уровня: приливы, зыбь, цунами. Устройство связано кабелем (длиной до 10000 м) с измерительным пультом, который может находиться на берегу, на борту судна или на платформе. Получаемая информация непрерывно регистрируется аналоговым самописцем.

Оптические методы. В прибрежной зоне при съемке волномерных реек или вех используется главным образом киноаппаратура. При проведении наблюдений на больших акваториях для получения комплексных характеристик волнения используется *стереофотосъемка волнения*. Стереофотограмметрический метод основан на анализе пары снимков (стереопара) поверхности моря, когда используется особенность бинокулярного зрения, благодаря которому человек может ощущать наблюдаемые им объекты пространственно, т.е. может оценивать их взаимное расположение пространственно. В нашем случае при стереоскопическом рас-

смаатривании стереопары возникает оптическая трехмерная модель морского волнения, а в результате обработки этой стереопары получают поле волновых возвышений и строят план взволнованной поверхности в изогипсах. Стереоснимки получают с помощью двух фотоаппаратов, оптические оси которых параллельны и разнесены на определенное расстояние (базис съемки). Стереофотоаппараты устанавливают на берегу, одном или двух судах и различных летательных аппаратах.

Фотограмметрический метод исследования волнения был впервые использован в 1906 – 1907 гг. на германских судах «Планета» и «Пруссия». В 1907 г. академик А. Н. Крылов впервые применил на к/л «Уралец» у мыса Айя на Черном море фотогеодезит. В 1913 г., исследуя качку судов, он фотографировал волнение с парохода «Метеор» в Атлантическом океане.

Основной недостаток оптических методов заключается в том, что они требуют достаточной освещенности моря, за исключением измерения характеристик волнения с помощью лазера.

Судовые волнографы. Всегда существовала насущная необходимость в волнографе, размещаемом непосредственно на борту судна и используемом для исследования механизма возникновения, развития и затухания ветрового волнения, а также поведения судна при различном волнении как на ходу, так и в дрейфе. Измерение характеристик волнения с борта судна можно производить с помощью альтиметров, электродных волнографов, стереофотоаппаратуры и т.п., но в любом случае требуется введение поправок на качку судна. Большое распространение в океанологической практике в качестве судового волнографа получил прибор, предложенный М.И. Такером.

Волнограф Такера позволяет измерять на малом ходу судна, с судна лежащего в дрейфе или стоящего на якоре гидростатическое давление в фиксированной точке на небольшой глубине датчиком волнения, встроенном в обшивку судна в плоскости его центра тяжести, и вертикальное перемещение этой точки акселерометром с двойным интегрированием выходного сигнала.

Прибор монтируется посередине корпуса примерно в трех метрах ниже ватерлинии. Гидростатическое давление воздействует на тензометрический датчик через отверстие в корпусе судна, ко-

торый преобразует гидростатическое давление в электрический сигнал. Изменение гидростатического давления в этом случае зависит от высоты волны и мгновенного положения судна относительно его положения покоя (качка судна). Для исключения влияния качки судна на выходной сигнал датчика давления рядом с ним в кардановом подвесе помещен тщательно установленный вертикальный акселерометр. С помощью RC-фильтров и других электрических цепей осуществляется двойное интегрирование выходного напряжения акселерометра. В результате на выходе акселерометра получают сигнал, определяющий мгновенную высоту датчика давления. Таким образом, влияние вертикальных перемещений судна исключается из показаний датчика гидростатического давления.

Если прибор установлен на наветренном борту судна, то вследствие эффекта отражения волны будет регистрироваться завышенная высота волн, а при установке на подветренном борту – заниженная. Для исключения подобного эффекта датчики размещают на каждом борту судна, при этом регистрируется среднее арифметическое из показаний двух приборов. Кроме того, во время измерений рекомендуется судно устанавливать носом на волну, что также уменьшает влияние подобного эффекта. Но в любом случае корпус судна деформирует волны в месте установки датчиков. Таким образом, по результатам расчетов и экспериментов случайная погрешность измерения высот волн волнографом Такера достигает 10 %, а волны с периодом менее 4 с вообще не регистрируются.

Волнограф судовой ГМ-62 предназначен для измерения высот и периодов волн с судна в открытом море. Кроме того, он может использоваться для регистрации вертикальной качки той части судна, где подвешены датчики – линейных колебаний этой части вдоль вертикальной оси.

В качестве преобразователя волновых колебаний в электрические сигналы используется струнный (резистивный) датчик в виде безокисной нихромовой проволоки длиной 15 – 20 м и диаметром 0,3 мм, натянутой вертикально и погруженной в воду примерно на половину своей длины. При этом выходной сигнал проволочного датчика является линейной функцией двух переменных: волновых

колебаний водной поверхности и вертикальных колебаний самого датчика, вызванных качкой судна. Для измерения вертикальных колебаний проволочного датчика в точке, где он установлен, помещается еще датчик гидростатического давления – датчик качки. Он является модификацией датчика волнографа ГМ-16, в котором упрощена конструкция, увеличена надежность, а вес доведен до 22 кг при небольших изменениях его габаритов ($\varnothing 95 \times 400$ мм) за счет совмещения дополнительного груза с корпусом датчика. Датчик качки, так же как и датчик ГМ-16, опускают в воду на глубину более половины длины волны. Проволочный датчик наматывают крутой спиралью (один виток на 25 см) на жгут проводов датчика качки. Оба эти датчика имеют линейные характеристики, равные чувствительности, равные и постоянные выходные сопротивления измерительных схем (100 Ом). Обеспечение этих требований является обязательным условием для правильного суммирования по методу сложения токов выходных напряжений соединенных параллельно датчиков.

Таким образом, волнограф ГМ-62 (рис. 6.9) состоит из проволочного датчика волновых колебаний (2), датчика гидростатического давления (датчика качки) (1) с линией связи, подъемного устройства (3), электромеханической лебедки с токоприемником (4), блока питания и контроля (5), измерительного блока (6) и аналогового регистратора (7).

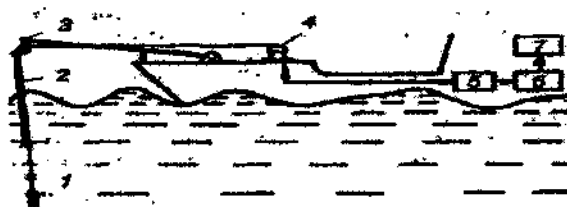


Рис. 6.9. Схема установки волнографа ГМ-62 на судне.

Датчики волнографа (рис. 6.10) подвешиваются на крамболе по носу или корме судна на расстоянии (в зависимости от водоизмещения) 3 – 7 м от него. Место расположения датчиков обусловлено тем, что при положении судна на малом ходу (1 – 2 уз) «носом или кормой на волну» набегающие на него волны не деформируются корпусом судна на некотором от него расстоянии.

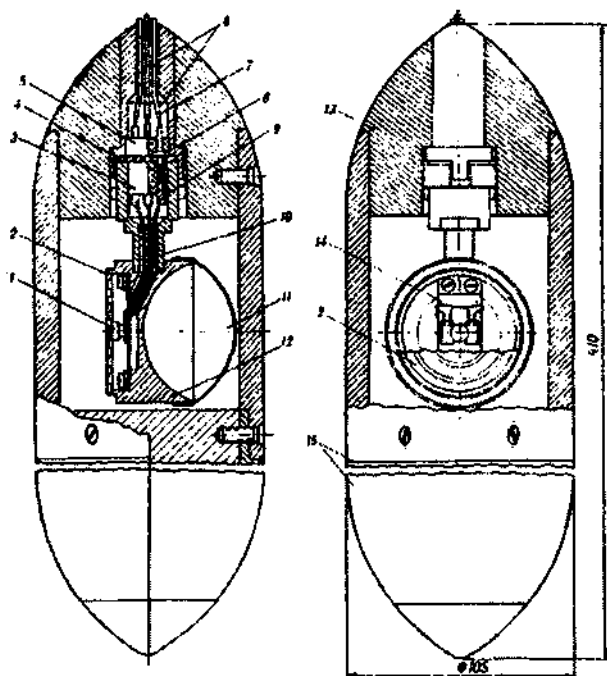


Рис. 6.10. Датчик волнографа ГМ-62: 1 – стойка мембраны; 2 – мембрана; 3 – розетка; 4 – резиновая прокладка; 5 – вилка разъема; 6 – заливка пастой УТ-31; 7 – провода; 8 – штыри; 9 – соединения; 10 – заливка эпоксидным компаундом; 11 – фторопластовая полусфера; 12 – дно корпуса; 13 – головка; 14 – пластина; 15 – нижняя головка обтекателя.

В Московском инженерно-физическом институте разработана «Система путевого измерения характеристик волнения океана», которая предназначена для измерения волнения на ходу судна и состоит из: датчика волнения, датчика качки судна, двух аналого-цифровых преобразователей, блока вывода информации на магнитную ленту, магнитного накопителя и компьютера.

Датчиком волнения системы служит емкостной датчик, емкость которого образована отрезком изолированной длинной линии (кабель-трос), погруженной на половину своей длины в воду, и бортом судна. Кабель-трос включен в автогенераторную схему. Выходной сигнал генератора пропорционален емкости системы кабель – трос – борт судна, которая, в свою очередь, является линейной функцией профиля волны.

Движение судна в море принято рассматривать как движение твердого тела с шестью степенями свободы, при этом в данном случае нас интересуют три основные: бортовая, килевая и вертикальная качки. К сожалению, учесть все три типа качки возможно лишь при усложнении системы измерения и алгоритма обработки. Но при ограничении маневрирования судна по отношению к фронту волны можно ограничиться, как в данной системе, измерением только вертикальной качки. Для этой цели здесь используется пьезорезонансный акселерометр, установленный в точке подвеса датчика волнения, что позволяет ему учитывать вертикальные перемещения этой качки. Информация с датчиков преобразуется в 16-разрядный двоично-десятичный код с помощью АЦП (промышленный частотомер ЧЗ-32). Регистрация получаемой информации осуществляется через блок вывода на магнитный накопитель методом фазового кодирования.

В ИОФ РАН разработан микроволновый доплеровский *радиолокационный волномер-профилометр* (РЛВП), позволяющий производить измерение профиля волны. Источником электромагнитного излучения в нем (рис. 6.11) является диод Ганна I (ДГ), помещенный в резонатор и снабженный теплоотводом.

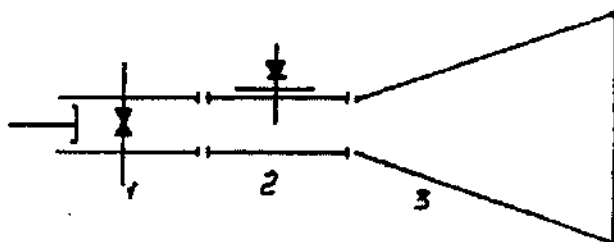


Рис. 6.11. Радиолокационный волномер-профилометр.

При работе РЛВП высокочастотное излучение от ДГ проходит через детекторную секцию (2), состоящую из волновода сечением 23×10 мм с прорезью вдоль широкой стенки волновода; зонда, пропущенного через щель волновода, и каретки перемещения зонда, позволяющей изменять положение относительно ДГ с точностью 0,1 мм. Детектором (Д) служит диод Д608А. Облучение поверхности производится либо с помощью рупорной (3), либо параболической антенны.

Отраженное от водной поверхности высокочастотное излучение возвращается в волноводный тракт РЛВП. Из-за эффекта Доплера отраженное излучение имеет частотный сдвиг, пропорциональный скорости перемещения элементов водной поверхности. Взаимодействие излученной и отраженной частот вызывает колебания токов, протекающих через Д и ДГ. В этом случае главным фактором, определяющим частоту изменения тока, протекающего через ДГ, будет колебания времени запаздывания сигнала по мере прохождения профиля волны из-за изменения расстояния между водной поверхностью и ДГ. Получаемая информация может быть отложена в память компьютера, выведена на графопостроитель, обработана и записана на магнитный носитель.

Таким образом, в настоящее время существует большое количество устройств для измерения характеристик волнения, отличающихся диапазоном измерений, точностью, числом регистрируемых элементов, способом использования и рядом других параметров. По точностным характеристикам первенство принадлежит стационарным волнографам, которые устанавливаются на неподвижную или малоподвижную опору. Такие волнографы, несмотря на различие способов измерения, имеют погрешность в пределах 1 – 5 % и теоретически неограниченный диапазон измерения высот волн.

Волнографы, устанавливаемые на судне или связанные с ним кабелем, тросом и т.п., имеют заметно меньшую точность, что вызвано наличием этой связи и искажением картины волнения судном. Подобные волнографы имеют большой разброс значений ошибок измерения – от 1,5 до 20 % и диапазон измерения высот волн около 20 м.

Промежуточное положение занимают автономные волнографы, не имеющие механической связи с другими телами. Устройства такого типа имеют меньшую точность, чем стационарные волнографы, но заметно меньший разброс погрешностей измерений (1,5 – 4 %). Диапазон измерения автономных и судовых волнографов примерно одинаков. Отдельно следует выделить средства измерения волнения, не имеющих непосредственного контакта с водной средой, например, оптические и радиоволномеры. Однако у первых затруднена регистрация при визуальных наблюдениях либо полученные данные характеризуют интегральную картину волне-

ния на некотором участке, а вторые принципиально могут измерять лишь усредненное значение высот волн на определенной линии.

Наиболее универсальными, по-видимому, следует считать автономные волнографы, которые можно использовать для измерений как в прибрежной зоне, так и в открытом море. Точность таких волнографов в основном определяется преобразованием какого-либо параметра волнения в электрический сигнал и зависит от целого ряда требований, предъявляемых к прибору.

Универсального волнографа для океанологических исследований не существует. Определение вторичных параметров волнения: период, средняя длина и высота волн, спектр и других выполняется специальной аппаратурой и также зависит от точности преобразования физического параметра в электрический сигнал.

К сожалению, в настоящее время средства для стандартных измерений поверхностного волнения не выпускаются промышленностью из-за отсутствия поверочных схем и средств поверки, так как терминологическая и понятийная база описания процесса не стандартизована, а требования к метрологическим характеристикам рабочих средств измерения не нормированы.

6.7. Волноизмерительные работы в прибрежной зоне

В рамках Комплексного управления прибрежной зоной моря, как правило, для измерения волн требуется организация волномерной станции или поста с несколькими наблюдателями с целью обеспечения круглосуточных наблюдений. В случае больших глубин или при большом удалении исследуемой акватории от берега, как правило, организуют наблюдения с судна, которое эпизодически или постоянно находится в распоряжении наблюдателей. В зависимости от целей и задач исследований наблюдения над волнением могут проводиться визуально, полуинструментально или с помощью волноизмерительной аппаратуры.

Прибрежный пункт наблюдений должен полностью удовлетворять требованиям, которые предъявляет практика к содержанию информации о волнении. В прибрежной зоне, как правило, наблюдения проводятся на волномерном створе (профиле), ориентированном в сторону открытого моря, откуда ожидается подход

наибольших волн. Обычно такой профиль оказывается направленным по нормали к берегу и прибрежным изобатам. На створе устанавливаются струнные, электроконтактные или буйковые волнографы с таким условием, чтобы в промежутках между ними уклон дна был примерно одинаковым и не было подъемов дна или ложбин, обусловленных барами или выходом гряд коренных пород.

Для установки струнных и электроконтактных волнографов используются готовые эстакады, платформы, притопленные буи либо специальные передвижные или стационарные основания, а чаще всего сваи или вехи. Для этой цели в выбранных точках профиля забуривают или забивают металлические или деревянные сваи диаметром 5 – 10 см либо, особенно у отмелей берегов, устанавливают козлы или треноги, изготовленные из металлических труб или из уголкового железа. Размещение волнографов осуществляется с учетом так называемого логарифмического закона – чем дальше от берега, тем больше расстояние между ними (число волнографов и названные расстояния зависят от возможностей наблюдателя, поставленной задачи и конкретных условий).

Кроме того, на берегу организуют также пункт визуальных или полуинструментальных (с помощью, например, реек, вех или волномсра-перспектометра) наблюдений. При малых возвышениях берега над уровнем воды для наблюдений строят специальную вышку, с которой можно производить наблюдения над элементами волнения в пределах волноизмерительного профиля. Оптимальную высоту пункта можно определить с помощью выражения $H = 0,05 - 0,06L$, где H – высота пункта (глаза наблюдателя), м; L – расстояние от пункта наблюдений до места установки волномерных реек, вех или буюв, м.

Одновременно на волномерном пункте производятся измерения скорости и направления ветра, а также длиннопериодных колебаний уровня (приливо-отливные, сгонно-нагонные и т.д.). Последние измерения необходимы для того, чтобы знать глубины на волноизмерительном профиле и в точках измерений элементов волн в сроки наблюдений. После штормов и один раз в 10 – 15 дней для определения возможных изменений глубин и уклонов дна производят промеры глубин на профиле, которые должны быть привязаны к временному реперу.

Визуальные наблюдения над элементами волнения и наблюдения над ветром и уровнем производятся систематически 4 – 8 раз в сутки в зависимости от целей и задач исследований.

6.8. Наблюдения за морским прибоем

На прибрежных волноизмерительных пунктах также производятся наблюдения за морским прибоем. Подобные наблюдения необходимы для решения ряда практических вопросов, связанных с КУПЗ, в том числе с процессами деформации берегов, перемещения вдольбереговых наносов, формирования кос и морских баров. Особенное значение эти наблюдения имеют при проектировании и строительстве различных гидротехнических и прибрежных сооружений, которые могут испытывать разрушительное воздействие прибойных волн или находиться в зоне затопления при накате или заплеске воды на береговой откос. В определенный момент наблюдения за прибоем имеют и оперативное значение, так как они регламентируют выполнение в прибрежной зоне различных работ, особенно в штормовых условиях: складирование грузов на берегу, подходы судна, высадка на берег и т.д. Как правило, наблюдения за прибоем производятся в тех местах побережья, где они представляют интерес.

Все эти наблюдения производятся на специальном пункте наблюдений за прибоем, закрепленным на берегу постоянным створом (рис. 6.12). Для этого за пределами самого дальнего заплеска воды на берег прочно устанавливают сваю, которая должна выступать над поверхностью земли не менее чем на 1 м. Затем от этой сваи по створу в сторону моря через каждые 5 – 10 м устанавливают вехи – забивают в грунт колья или шесты. Верхушки вех должны не затапливаться вершинами прибойных волн. Количество вех должно быть таким, чтобы створ из них размещался от уреза воды в сторону моря на расстояние, охватывающее всю прибойную зону. В том случае, когда ширина прибойной зоны очень велика, длина створа должна быть несколько больше, чем возможная длина прибойной волны. На головках вех со стороны наблюдателя крупными цифрами указывают расстояние от вех до установленной на берегу сваи.

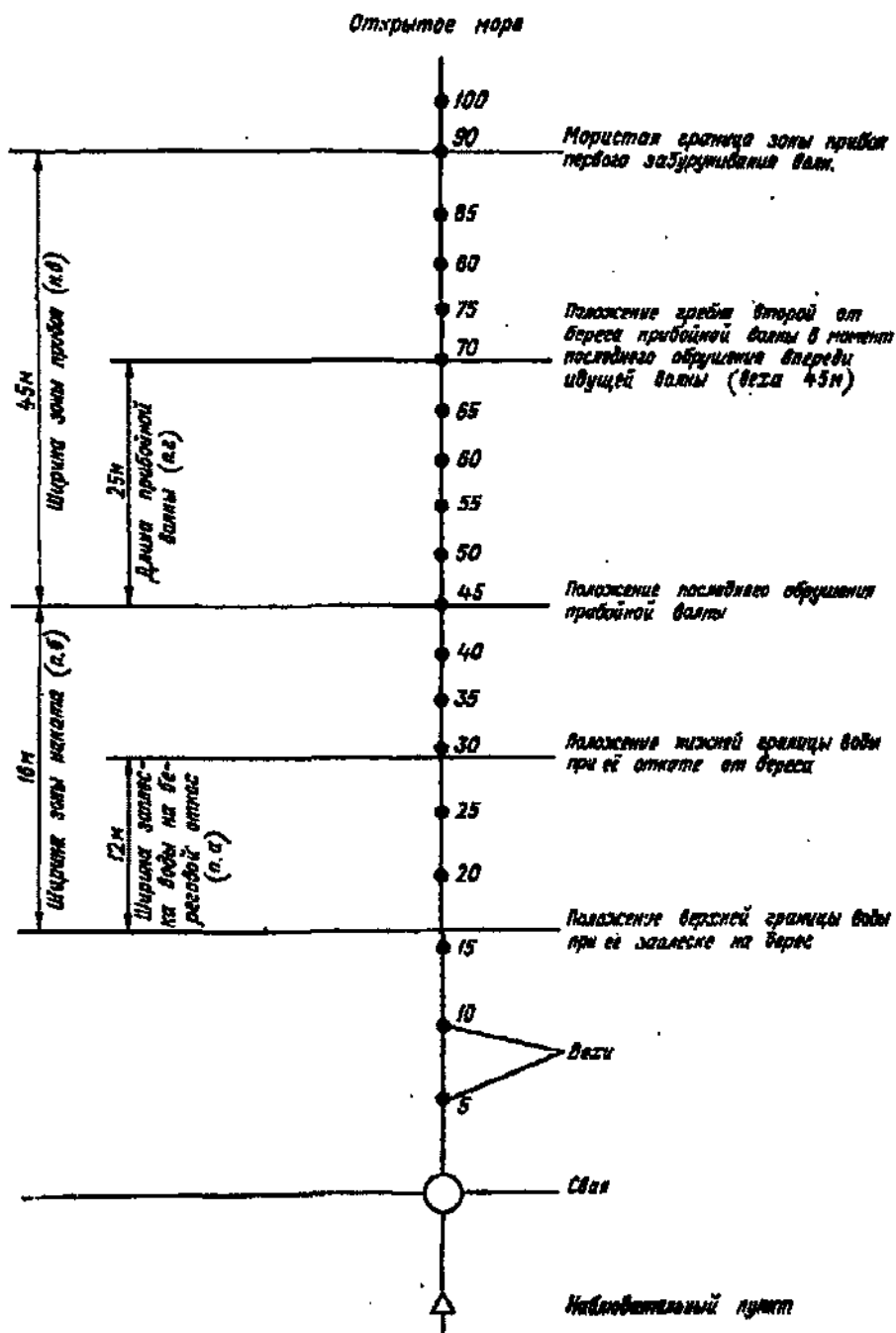


Рис. 6.12. Схема измерений при наблюдениях над морским прибоем.

В районе пункта наблюдений регулярно производятся промеры глубин, первый из которых выполняют при организации пункта наблюдений, а последующие – после каждого шторма, прохождения паводочных вод в устьевых участках рек и т.п. Промеры производят, измеряя глубину у каждой вехи, в штилевую погоду, а в морях с приливами – в моменты полных и малых вод. Промеры производят у приглубого берега до глубины 10 м, а у отмелого – на расстоянии не менее 500 м от берега.

Перед началом наблюдений за прибойными волнами производят визуальные или полуинструментальные наблюдения за элементами волнения за пределами прибойной зоны. Сами наблюдения за прибоем заключаются в измерении следующих характеристик:

- ширина заплеска воды на береговой откос определяется как расстояние от верхней границы воды, заливающей берег после последнего обрушения прибойной волны, до нижней границы отката этой воды в море. Эти измерения производят после обрушения пяти наиболее крупных прибойных волн;

- ширина зоны наката определяется как расстояние от верхней границы воды, заливающей берег, до той вехи, где произошло последнее обрушение прибойной волны, вызвавшей заплеск воды на берег. Измерения также производятся пять раз;

- ширина зоны прибоя определяется как расстояние от вехи, где происходит последнее обрушение наиболее крупной прибойной волны, до мористой границы зоны прибоя, где происходит первое забурунивание волн под влиянием мелководья. Расстояние до мористой границы зоны прибоя определяют по вехам, а в случае, если створ вех не доходит до этой границы, – визуально;

- длина прибойных волн определяется как расстояние от прибойной волны, в момент ее последнего обрушения, до гребня подходящей к берегу следующей волны, даже если эта волна не является прибойной или еще не вошла в зону прибоя. Измерения производят пять раз.

- высота и средний период прибойных волн определяется аналогично методике определения тех же характеристик ветровых волн;

- количество прибойных волн, одновременно находящихся в прибойной зоне.

6.9. Определение силы удара волн

При проектировании и эксплуатации прибрежных гидротехнических сооружений (молов, волноломов и других портовых систем) очень важными являются наблюдения за динамическими характеристиками морских волн, в частности за волновыми нагрузками на береговые сооружения.

В порту Туапсе в 1926 г. проводились первые исследования воздействия волн на береговые сооружения. По предложению профессора Федорова и инженера Кузнецова там был открыт первый пост наблюдений. Впоследствии, в 1928 – 1929 гг., были созданы волноизмерительные станции в портах Ялта и Потти. За рубежом, в течение 1930 – 1939 гг., были открыты станции в портах Дьепп, Генуя, Неаполь. В настоящее время наиболее совершенной в России является Сочинская волноизмерительная станция (ВИС), начавшая работу в 1953 г. и предназначенная для проведения комплексных исследований динамических характеристик морских волн в натуральных условиях на подходе к портовым ограждающим сооружениям, а также воздействия волн на эти сооружения и прибрежную портовую акваторию.

В комплекс этой станции (рис. 6.13) входят: металлический массив-гигант, помещенный в центре мола, наблюдательная башня на оконечности этого мола и наблюдательная вышка на оконечности другого мола. Приборы и оборудование ВИС для измерений волнового давления на вертикальную стенку; колебаний массива под воздействием волн и осуществляющие запуск и автоматическое регулирование работы станции установлены в массиве-гиганте.

Этот массив состоит из надводных помещений и донной галереи, связанных шахтой. В верхних помещениях – энергетический и вспомогательный отсеки, а также аппаратная, в которой находятся: указатели высот волн на подходах к молу и у стенки; вибрографы; щит автоматического управления и другое оборудование. Приборы для измерения взвешивающего давления и водосборник расположены в донной галерее. Из соединительной шахты через шлюзовые аппараты выведены наружу датчики волнового давления.

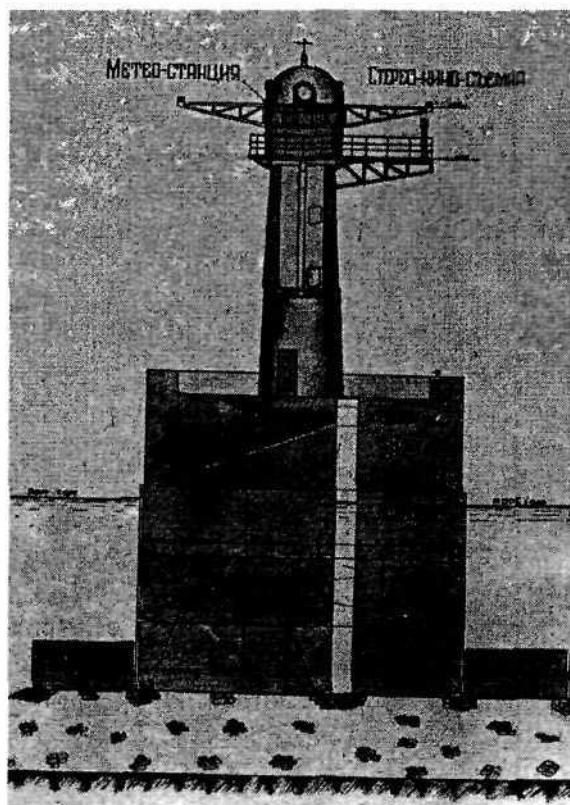


Рис. 6.13. Волноисследовательская станция.

Для комплексного исследования динамических параметров волнения необходимо проводить наблюдения над характеристиками волнения и ветра. Волноизмерительная аппаратура (электроконтактный волнограф и аппараты для стереофотосъемки волнения) и приборы для инструментальных наблюдений за ветром (модифицированный анеморумбометр М-47 с непрерывной записью скорости и направления ветра) установлены в наблюдательной башне.

При шторме, когда нет возможности попасть на башню и в случае необходимости иметь более полные данные о характеристиках волн на подходе к порту, наблюдения за волнением и его кинофотосъемка производится с наблюдательной вышки на оконечности другого мола.

На Сочинской ВИС используется также ряд специальных приборов: вибрографы и сейсмографы, применяемые для измерения колебаний массива-гиганта станции под ударами волн; динамографы различных систем, для определения силы удара волн.

Динамографы по принципам действия датчиков можно разделить на три основных типа: индуктивные, сильфоно-реостатные и тензометрические (рис. 6.14).

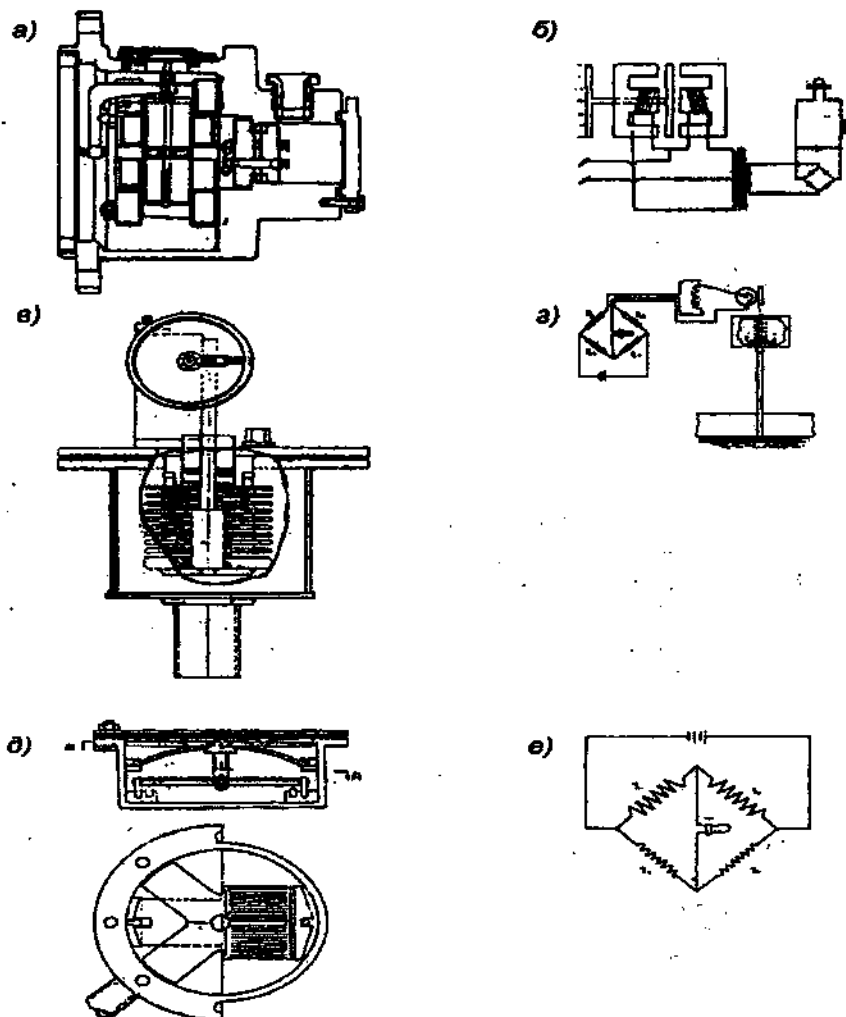


Рис. 6.14. Основные типы динамографов (а, в, д) и их схемы (б, г, е).

В датчике индуктивного динамографа (рис. 6.14, *а*) мембрана, воспринимающая волновое давление, связана с подвижным сердечником трансформатора. На датчик подается переменное напряжение. С трансформатора сигнал, пропорциональный волновому давлению, поступает на дифференциальный разделительный трансформатор, затем выпрямляется с помощью диодного моста, фильтруется Г-образным LC-фильтром и попадает на шлейф регистрирующего осциллографа.

Первичным измерительным преобразователем сильфоно-реостатного динамографа (рис. 6.14, *б*) является сильфон, у которого подвижный конец связан с ползуном реохорда. Реохорд включен в мост постоянного тока, к измерительной диагонали которого подсоединен шлейф осциллографа. Таким образом, разбаланс моста, вызванный изменением сопротивления реохорда (которое пропорционально измеряемому волновому давлению), фиксируется измерительным осциллографом.

Следует отметить, что основным недостатком этих двух типов динамографов является большое значение постоянной времени, что не позволяет достаточно надежно регистрировать кратковременные «пиковые» давления большой интенсивности при ударах волн о вертикальную стенку. Этого недостатка нет в тензометрическом динамографе.

Чувствительным элементом датчика тензометрического динамометра (рис. 6.14, *в*) является упругая мембрана плоской или полукруглой формы, которая непосредственно воспринимает давление. При этом центр мембраны жестко связан с пластинкой с наклеенными тензометрами. Тензометры соединены между собой по мостовой схеме. Измерительная диагональ моста подключена непосредственно на шлейф измерительного осциллографа.

Целый ряд приборов для измерения волновых нагрузок разработан в Институте океанологии РАН. Среди них следует отметить индукционные динамографы ИДК-1, ИДК-2, индукционный измеритель вектора гидродинамического давления ВДК-И и др.

ГЛАВА 7

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

7.1. Общие положения

Температура воды характеризует степень ее нагретости и является одним из параметров ее физического состояния. Температура воды Мирового океана – одна из основных характеристик океанической среды, которая может изменяться в довольно широких пределах как во времени, так и в пространстве. В высоких широтах, в период льдообразования, значение температуры поверхности воды, в зависимости от ее солёности, может составлять 1,8 – 1,9 °С, что соответствует нижней границе ее изменчивости. Температура поверхностных вод в тропической зоне океана не превышает обычно 30 °С, а в таких районах, как Карибское, Красное моря, Персидский залив она может достигать и 32 °С, что соответствует верхней границе ее изменчивости. Средняя температура вод океана составляет 3,18 °С.

Температура оказывает большое влияние на протекание физических и химических процессов в морской воде, определяет такие ее свойства, как плотность, объем, вязкость, электропроводность, скорость распространения звука, растворимость газов и т.д. Температура является главным фактором образования ледяного покрова. Также сведения о режиме морских вод необходимы для оценки интенсивности процессов коррозии металлов и различных строительных материалов.

Теплосодержание характеризуется количеством тепла, содержащимся в единице объема воды и измеряется в калориях на 1 см³. Температура воды в море определяется тепловыми процессами на поверхности раздела вода – воздух (поглощение прямой и рассеянной солнечной радиации, эффективное излучение водной поверхности, турбулентный теплообмен между морем и атмосферой, испарение и конденсация, льдообразование и ледотаяние), а также тепловыми процессами внутри водной толщи моря (теплообмен между поверхностными и глубинными водами, перенос тепла течениями и т.п.).

7.2. Основные понятия и определения

Температурное поле поверхности океана определяется зональной компонентой и течениями. Воздействие течений проявляется как в понижении, так и в повышении температуры в зависимости от района океана.

Общая картина вертикального распределения температуры воды подчинена единой схеме. Теплая тропическая вода занимает в океане сравнительно тонкий приповерхностный слой, который отделен от нижележащих холодных слоев главным *термоклин* - слоем повышенных значений вертикального градиента температуры. На экваторе термоклин приподнят, а в субтропиках заглублен и выходит к поверхности океана в умеренных широтах. Эта структура термоклина определяется связью поля плотности воды с полем крупномасштабных течений.

Сезонные колебания температуры обычно охватывают сравнительно тонкий слой воды до глубин 200 – 400 м. В ряде внутренних морей и полярных водоемах зимняя вертикальная конвекция достигает и больших глубин, а иногда проникает и до дна. Верхний слой в умеренных и полярных областях составляет несколько десятков метров, а в тропических районах достигает 100 и более метров. На распространение температуры в наиболее глубоких слоях океана преимущественное влияние оказывает процесс распространения приполярных донных вод.

Результаты наблюдений показали, что вертикальные распределения температуры воды характеризуются нестабильностью с вертикальными масштабами от сантиметров до сотен метров. Тонкая структура стратификации температуры представляет собой неупорядоченное или систематическое чередование по глубине участков с низкими и высокими вертикальными градиентами. Наибольшие из зарегистрированных в термоклине вертикальных градиентов температуры в слоях толщиной менее 1 см достигают $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$. В то же время в океане можно наблюдать полностью *изотермические слои*, характеризующиеся нулевым вертикальным градиентом температуры. В океане может встречаться и *обратный градиент температуры*. Максимально зарегистрированные вертикальные градиенты температуры в таких слоях достигают $0,024\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

Неоднородности стратификации температуры как неупорядоченного, так и ступенчатого характера в океане распространяются до самых больших глубин. Однако амплитуды большинства неоднородностей тонкой структуры имеют тенденцию убывать с глубиной.

Температура, являясь термодинамической величиной, характеризует состояние термодинамического равновесия как всей океанической системы, так и отдельных ее частей, т.е. температура определяет направление передачи энергии путем теплообмена, а эта передача осуществляется от объемов с большей температурой к объемам с меньшей температурой.

7.3. Обоснование необходимости исследований

Для целей Комплексного управления прибрежной зоной моря информация о температуре воды является крайне необходимой. Температура воды является одной из самых важных характеристик морских водных масс. Результаты измерений температуры воды позволяют определить теплосодержание моря, рассчитать тепловой баланс. Колебания температуры воды меняют ее плотность, что в значительной степени определяет различные процессы и явления, происходящие в море. Значение температуры воды и ее изменчивость вместе с соленостью и содержанием растворенного кислорода являются главными факторами существования и развития морской флоры и фауны.

При проектировании, строительстве и эксплуатации различных сооружений в море крайне необходимо знать температуру воды, пределы ее изменения, а также вероятность появления той или иной температуры. Абсолютные значения температуры воды, а также ее пространственно-временная изменчивость в значительной мере определяют деятельность человека в море. Результаты измерений температуры воды используются для оперативного обслуживания и в службе прогнозов, для определения сроков льдообразования и начала таяния льда, для специальных исследований некоторых сторон температурного режима (вертикальная и горизонтальная стратификация, суточный ход в отдельных местах исследуемого района), а также для характеристики условий, при которых изучаются другие элементы гидрометеорологического режима.

Непосредственное влияние температуры воды и воздуха сказывается на возникновении физической коррозии материалов, возникающей под воздействием деформации, усадки и набухания при переменном их увлажнении и высыхании, а также в результате отложения солей в порах материалов при испарении воды. Этот вид коррозии особенно интенсивно происходит при заметной смене явлений замораживания и размораживания, что требует сведений о температуре воды для учета этих процессов. Особенно важны данные о средних и экстремальных значениях температуры воды за определенные интервалы времени.

Температурный режим моря характеризуется среднесуточными и экстремальными значениями температуры. В том случае, если в районе исследований или при необходимости приведенных специальных наблюдений для выявления некоторых сторон температурного режима (например, пространственно-временное распределение и т.п.) отсутствуют многолетние наблюдения, здесь производятся наблюдения во время работ. Эти наблюдения за температурой производятся также для выявления условий, при которых изучаются другие элементы гидрометеорологического режима (например, льды и гидрохимические характеристики).

Результаты наблюдений за многие годы позволяют вычислить средние декадные, средние месячные, средние годовые, а при необходимости и средние суточные температуры. Кроме средних характеристик температурный режим характеризуют также абсолютные максимумы и минимумы, а также повторяемость средних месячных, суточных или срочных значений температуры воды, которые находятся по многолетним рядам наблюдений. Так же как и средние, экстремальные значения обычно определяют для декад, месяца и года, а эмпирические зависимости повторяемости и обеспеченности строят за эти же (или любые другие) промежутки времени. Все эти характеристики температуры воды обычно дополняют информацией о датах наступления определенных ее значений, например, температур замерзания воды и таяния льда.

Теплосодержание воды обычно не вычисляют, так как средняя температура слоя воды достаточно точно характеризует количество тепла. Численное равенство теплосодержания и средней температуры обусловлено тем, что удельная теплоемкость воды практически равна 1 кал/см^2 .

7.4. Состав и объем работ

При исследовании температурного режима планирование работ должно в полной мере опираться на материалы предыдущих наблюдений, что позволяет получить действительно новую информацию, которая не дублировала бы уже имеющиеся данные и позволяла бы сопоставить всю имеющуюся информацию. Для обоснования состава и объема работ необходимо выполнить предварительный сбор и анализ фондовых материалов наблюдений, выполненных различными ведомствами за предыдущие годы.

Перед проведением основных наблюдений необходимо проводить рекогносцировочные работы, которые позволят обосновать их объем, способы измерений, места установки гидрометеорологических постов, буев, требуемого технического оснащения, количества исследуемых горизонтов, дискретности и точности наблюдений.

Состав и объем наблюдений за температурой морской воды устанавливаются техническим заданием и программой работ. Наблюдения проводятся на многосуточных станциях и при выполнении океанографической съемки, как правило, на стандартных горизонтах с учетом сезонных колебаний. По температуре требуются среднемесячные и экстремальные (по месяцам) значения. Иногда бывают необходимы среднесуточные, среднедекадные, среднегодовые значения температуры и их экстремумы. Температурный режим водных масс характеризуется также повторяемостью средних срочных, суточных или месячных величин. Кроме того, как правило, требуются сведения о характерных датах, таких, например, как дата замерзания воды и дата таяния льда.

При рекогносцировочных работах в качестве первого этапа исследований температурного режима исследуемой акватории могут быть выполнены температурные съемки поверхности моря неконтактными методами. Эти съемки удобны также для регулярного контроля температурного режима моря, особенно для определения моментов перехода температуры воды через 0°C . Как правило, наблюдения над температурой воды производятся различного типа измерителями температуры поверхностного слоя воды, глубоководными опрокидывающими термометрами, различного типа зондирующими и буксируемыми автоматическими системами.

Планирование наблюдений за температурой воды, их дискретностью, продолжительностью, охватом температурными наблюдениями исследуемой акватории должно обеспечивать в последующем вычисление необходимых статистических характеристик.

7.5. Методы измерения температуры воды

Изменение температуры объема воды приводит к изменению всех ее частиц, и практически все характеристики воды становятся функцией температуры. Подобные изменения происходят с любым веществом. Поэтому в качестве термометрических выбираются такие вещества, которые с изменением температуры довольно сильно и линейно меняют свои свойства. Кроме того, для целей термометрии можно использовать и зависимость оптических, электрических, акустических и других характеристик водной среды от изменений температуры. Все это является необходимым условием, так как температуру нельзя измерить непосредственно и ее значение определяется по изменению какой-либо физической характеристики термометрического вещества.

Основой измерения температуры является *температурная шкала*, построенная по нескольким опорным точкам, неизменность которых подтверждается общими физическими законами.

Таковыми точками могут быть значения температур кипения или затвердения чистых веществ. Взяв различные термометрические вещества, можно построить различные шкалы. Наибольшее распространение получила шкала Кельвина – термодинамическая шкала температур, основой которой принята одна опорная точка – тройная точка воды, со значением температуры 273,16 К (рис. 7.1). Длина этой шкалы от абсолютного нуля до бесконечно больших температур. В практическом приложении шкалы Кельвина используется Международная практическая температурная шкала (МПТШ). Так, МПТШ 1968 г. опирается на шесть опорных точек, воспроизводимых равновесными состояниями, приписанных определенным значениям температур, и на эталонные приборы, градуированные при этих температурах. Эталонные приборы необходимы для осуществления интерполяции между температурами опорных точек.

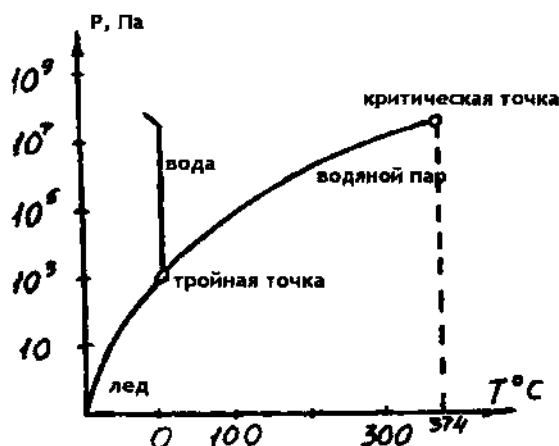


Рис. 7.1. Тройная точка воды.

Измерение температуры воды в море отличается немаловажными особенностями. Как уже отмечалось, температура океанической воды подвержена существенным колебаниям как во времени, так и в пространстве. Температуру воды можно измерять различными способами, использующими разнообразные физические принципы и, конечно же, обладающими различными точностными характеристиками. Методы измерения температуры воды подразделяются на *контактные* и *неконтактные*.

Контактный метод основан на введении в исследуемую среду измерительного зонда, содержащего соответствующий термометрический элемент. В качестве подобного элемента используют: жидкостные (ртутные) термометры расширения, металлические деформационные термометры, термоэлектрические термометры (термопары), проволочные и полупроводниковые термометры сопротивления, кварцевые термометры. В этом случае за температуру среды принимают температуру измерительного зонда. Значения температуры могут регистрироваться как неподвижными, так и движущимися измерительными системами. При этом в первом случае значение принимаемого сигнала определяется амплитудой и периодом флуктуаций температуры, а во втором - в основном линейными размерами температурных неоднородностей, хотя при определенных обстоятельствах и здесь оказывают влияние амплитуда и период флуктуаций.

Неконтактные методы основаны на измерении термометрических свойств самой среды, т.е. используются собственное тепловое излучение водной поверхности в инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра электромагнитных волн, являющееся функцией термометрических свойств среды.

Термометрические элементы, предназначенные для измерения температуры, обычно называют *датчиками* или *первичными измерительными преобразователями*. При использовании измерительной аппаратуры в целях измерения температуры морской воды во всей ее толще для предохранения датчиков от воздействия агрессивной среды, которой является морская вода, и гидростатического давления его помещают в специальный кожух. Это увеличивает размеры датчика, приводит в какой-то мере к пространственному искажению поля температуры и увеличивает тепловую инерцию, т.е. увеличивает время запаздывания принятия датчиком температуры окружающей среды. Подобные недостатки становятся в итоге основными источниками погрешностей при исследовании пространственно-временной изменчивости полей температуры в Мировом океане.

При измерении температуры воды контактными измерителями в море возникает вопрос о соответствии температуры датчика температуре исследуемой среды. В случае изменений температуры водной среды, которые обычно наблюдаются в океане, температура датчика всегда отстает от температуры воды. Пусть датчик в защитном корпусе имеет температуру T , площадь поверхности S и помещен в воду с температурой T_0 . Тогда количество тепла (dQ), получаемое датчиком за единицу времени t определяется как

$$dQ/dt = \alpha S(T_0 - T),$$

где α — коэффициент теплопередачи.

Если в датчике поле температуры однородно, можно считать, что все это тепло идет на изменение его температуры dT , т.е.

$$dQ = c\rho_d V dT,$$

или

$$dQ = mcdT,$$

где c – удельная теплоемкость датчика; ρ_d – его плотность; V – объем датчика; m – его масса.

Отсюда $McdTdt = \alpha S(T_0 - T)$.
Введя обозначение $\tau = mc/\alpha S$, получаем

$$\tau = (T_0 - T)dt/dT. \quad (7.1)$$

Величина τ , имеющая размерность времени, носит название *постоянной времени датчика*, а коэффициент тепловой инерции определяется скоростью изменения температуры датчика при единичной разности температур между ним и средой. Исходя из (7.1) τ является функцией инерционности датчика, но следует подчеркнуть, что свое особое влияние оказывает также и скорость обтекающего датчик потока.

При конструировании аппаратуры для измерения температуры морской воды следует учитывать ряд следующих факторов. Термочувствительный элемент обычно имеет арматуру, предохраняющую его от воздействия агрессивности морской воды, гидростатического давления, набегающего потока и механических повреждений. Датчик, как правило, имеет тепловой контакт с массивным корпусом измерительного устройства. Параметры теплообмена датчика и среды являются переменными. Размеры датчика обычно приводят к пространственному искажению поля температуры. Тепловая инерция и ее изменчивость в режиме обтекания, а также конечные размеры датчика температуры оказываются основными источниками погрешностей при изучении пространственно-временной изменчивости поля. Эти погрешности относятся к погрешностям динамического характера. Тепловой контакт между датчиком и массивным корпусом приводит к методическим погрешностям.

Наиболее распространенными из-за своей простоты являются *жидкостные термометры расширения*, в которых используется зависимость между температурой и объемом термометрической жидкости, заключенной в резервуаре, жестко соединенным с капилляром, связанным с температурной шкалой. В качестве термометрической жидкости чаще всего используют не смачивающую стекло чистую и осушенную ртуть, что позволяет получать до-

вольно высокую чувствительность за счет использования капилляров с малым диаметром ($\approx 0,1$ мм). Кроме того, ртуть обеспечивает хорошую линейность шкалы. В качестве термометрического вещества применяются также керосин, толуол, спирт, пентан. Однако они обладают большей тепловой инерцией за счет большей вязкости и худшей теплопроводности. Средний коэффициент объемного теплового расширения (β) в диапазоне температур $0 - T$ определяют по формуле

$$\beta = (V_T - T_0)/V_0 T.$$

Стекло, используемое для изготовления капилляров термометров, также должно отвечать определенным требованиям. Оно, например, должно обладать минимальным термическим старением. В противном случае, это явление может привести к изменению объема резервуара с ртутью. Кроме того, одновременно с изменением объема термометрической жидкости меняется и объем корпуса термометра, т.е. термометр на самом деле регистрирует «видимый» коэффициент расширения, равный сумме истинных коэффициентов расширения, жидкости и стекла. Так, для ртути коэффициент объемного теплового расширения имеет значение порядка $0,00018^\circ\text{C}^{-1}$, а для стекла — $0,00002^\circ\text{C}^{-1}$.

Металлические (деформационные) термометры чаще всего изготавливают из биметаллических элементов, состоящих из металлов с резко отличающимися коэффициентами теплового расширения. Так, например, для изготовления термометров можно использовать материалы с большим коэффициентом расширения (латунь, никель, сталь и т.п.) и с малым коэффициентом — инвар. Биметаллические термометры изготавливают обычно из двух прочно соединенных примерно равных по толщине слоев материалов в виде пластин, пружин или диафрагм. С изменением температуры из-за различия коэффициентов расширения эти элементы изгибаются (деформируются) в сторону слоя с меньшим тепловым расширением и приводят в действие механическую или электрическую систему регистрации. Благодаря своей простоте, компактности и дешевизне, несмотря на невысокую точность, биметаллические термометры широко используются при изменении температуры в жидкостях и газах.

Термоэлектрические термометры основаны на использовании открытого в 1821 г. явлении термоэлектричества (эффект Зеебека). Если два проводника (рис. 7.2) из разных материалов (А и В) соединены концами в замкнутый контур и места соединений находятся при разных температурах, то в контуре возникает электрический ток. Оба соединенных проводника, называемые термоэлектродами, образуют термопару. Одно из мест спайки проводников, помещенное в среду с измеряемой температурой, называется рабочим концом термопары, а второе, находящееся при постоянной известной температуре, называется свободным концом термопары. Термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), возникающая в цепи термопары, зависит от температуры рабочего (T) и свободного (T_0) концов, а также от свойств материала термоэлектродов.

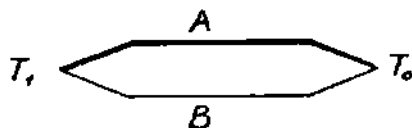


Рис. 7.2. Термопара.

Объяснение термоэлектрического эффекта связано с представлением о наличии в металлах свободных электронов. Количество электронов в единице объема материала зависит от состава вещества и его температуры. Если существует электрический контакт между двумя материалами с различными концентрациями свободных электронов, то возникает диффузия из материала А в В. Это, в свою очередь, способствует появлению разности потенциалов между ними, препятствующей диффузии. А при небольшой разности температур между рабочим и свободным спаями разность потенциалов будет пропорциональна возникающей ТЭДС (E) и коэффициенту термоэлектрической способности термопары (α):

$$E = U_A - U_B = \alpha(T - T_0).$$

Коэффициент α постоянен только при небольшом перепаде температур, так как он сам в общем случае зависит от температуры.

В качестве материала для измерительных термопар выбирают материалы с постоянным α в достаточно широком диапазоне температур. Из наиболее распространенных термопар можно от-

метить медь-копелевую термопару, изготавливаемую из медной (марки М1) проволоки диаметром 0,2 – 0,5 мм и сплава копель (марки МНМц 43 – 0,5). Зависимость ТЭДС от температуры (T) описывается уравнением

$$E = 42,63T + 5,037T^2 - 4,5105T^3, \text{ мкВ.}$$

Допустимые отклонения ΔE измеряемых значений ТЭДС от основных значений E в рабочем диапазоне температур составляет $\pm 0,055$ мВ.

Высокой линейностью и довольно высокой ТЭДС отличается хромель-копелевая пара [тип ХК(L)]. Наиболее точная и более изученная – платинородиевая пара (платина +10 % родий / платина). Термопары из благородных материалов и сплавов обладают наиболее высокой точностью (стабильностью и воспроизводимостью), хотя, в общем, их ТЭДС ниже, чем у термопар из неблагородных металлов.

Для увеличения чувствительности в малом диапазоне температур соединяют несколько термопар (рис. 7.3) и получают термобатарею. Ток, регистрируемый при этом измерительным прибором, будет

$$I = n\alpha(T - T_0)/(R_n + nR_{тп} + r),$$

где n – число термопар; R_n , $R_{тп}$, r – сопротивление прибора, термопары и подводящих проводов соответственно.

ТЭДС батареи равна сумме ТЭДС пар, но ее постоянная времени больше, чем у отдельной термопары.

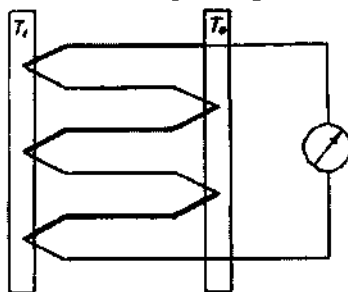


Рис 7.3. Термобатарея.

Термометры сопротивления используют эффект зависимости электрического сопротивления различных веществ, металлов и их

полупроводников то их температуры. Эта зависимость характеризуется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), определяемым как относительное приращение электрического сопротивления вещества при изменении его температуры на единицу

$$\alpha = \frac{dR}{Rdt}, \quad (7.2)$$

где R – сопротивление вещества при температуре T .

Термосопротивления используют и в качестве образцовых, и в качестве рабочих приборов самого различного назначения. В качестве материалов для термосопротивлений пригодны только те, физические и химические свойства которых не изменяются с течением времени в исследуемом диапазоне температур. Сопротивление такого материала должно хорошо воспроизводиться и с изменением температуры монотонно и линейно возрастать или уменьшаться. Кроме того, внешние воздействия (давление, влажность, деформация, коррозия) не должны оказывать влияния на сопротивление термометра. Для получения хорошей временной стабильности отношения входного и выходного сигналов термосопротивления должны быть хорошо стабилизированы (искусственно состарены). ТКС, так же как и удельное сопротивление датчика, должны быть, возможно, больше, чтобы сам термопроводник занимал как можно меньший объем.

В океанологической практике широкое применение нашли проволочные и пленочные (ПТС) и полупроводниковые (ППТС) термометры сопротивления. Простота конструкций датчиков и их измерительных схем, высокая точность и разрешающая способность, возможность уменьшения постоянной времени – все эти качества способствовали широкому внедрению термосопротивлений в океанологическую технику.

Конструктивно ПТС, как правило, представляют собой бифилярную спираль, намотанную на жесткое основание или отрезок проволоки, которые помещают в защитный корпус чаще всего в виде трубки. В качестве термометрического элемента используются платина, медь, а в последнее время – никель и вольфрам.

Для большинства металлов ТКС в принципе постоянен в большом диапазоне температур, следовательно, проинтегрировав выражение (7.2), получим

$$R = R_0 \alpha \Delta T, \quad (7.3)$$

где $\Delta T = T - T_0$ – интервал изменения температур, R_0 – сопротивление при температуре 0°C .

Разложив показательную функцию в ряд, ограничившись двумя первыми членами разложения, для ряда металлов, например, платины и меди, в диапазоне изменчивости температуры $-4 \dots 38^\circ\text{C}$ с достаточной степенью точности можно записать

$$R = R_0(1 + \alpha T). \quad (7.4)$$

Прочный корпус датчиков температуры изготавливают из стали, а для уменьшения тепловой инерции иногда используют золото. В целях увеличения теплопроводности внутреннее пространство между самим датчиком и его корпусом заполняют трансформаторным или силиконовым маслом, или специальной пастой высокой теплопроводности.

Наибольшее распространение в качестве термометрического материала, благодаря высокой химической стабильности, линейности, температурной зависимости сопротивления, хорошей обрабатываемости, а также устойчивости против воздействия окружающей среды, получила платина. Платина высокой степени химической чистоты с ТКС $\alpha = 3,926 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ используется для воспроизведения МПТШ в диапазоне $-260 \dots +630^\circ\text{C}$. Из нее изготавливают образцовые и эталонные термометры сопротивления.

На втором месте по использованию в качестве термометрического вещества стоит медь. Сопротивление меди с изменением температуры в рабочем диапазоне меняется практически линейно. ТКС меди при температуре 20°C больше, чем у платины ($4,26 - 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$). Для понижения постоянной времени чувствительный элемент может быть изготовлен из тонкой (диаметром около $0,02 \text{ мм}$) изолированной медной проволоки, сотканной на основе капроновой нити в виде тонкой ленты. Такой датчик обладает постоянной времени порядка $0,02 \text{ с}$ и достигает в рабочем диапазоне температур стабильность показаний $\pm(0,01 - 0,05)^\circ\text{C}$.

Никель имеет хорошую коррозионную стойкость в атмосферных условиях, обрабатывается в холодном состоянии, ТКС равен $(5,2 - 6,9) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, что способствует более высокой чувствительности по сравнению с платиновыми и медными ПТС. Но возникают трудности с получением химически чистого никеля, что сказывается на стабильности во времени, калиброванной проволоки для изготовления датчиков, что ведет к разбросу механических и электрофизических свойств.

До сих пор в технике измерений температуры морской воды оптимальными остаются точность до $10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$ и стабильность $0,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в год. Использование металла в качестве чувствительного элемента позволяет получить ПТС с высокой точностью, стабильностью, чувствительностью, воспроизводимостью характеристик, а также простым математическим выражением для кривой зависимости сопротивления от температуры окружающей среды.

К недостаткам ПТС можно отнести малую крутизну преобразования, обусловленную сравнительно небольшой величиной α для металлов (порядка $10^{-3} \text{ град}^{-1}$) и малым собственным сопротивлением, что усложняет передачу информации от датчика на измерительные схемы. Кроме того, ПТС обладает относительно большим значением постоянной времени.

При изучении микроструктуры полей температуры для уменьшения постоянной времени перспективным является использование микроэлектроники в части тонко- и толстопленочной технологии при создании чувствительных элементов. Они изготавливаются методом напыления платины или других металлов на каркас из изоляционного материала. Подобные технологии позволяют получать миниатюрные (размеры в первых сантиметрах), малоинерционные (миллисекунды), высокотехнологичные и относительно дешевые. При этом появляется возможность максимально автоматизировать процесс производства датчиков и получать их с заранее заданными характеристиками (ТКС, номинальное сопротивление и постоянная времени). Используя подобные термометры в такой агрессивной среде, как морская вода, следует применять защиту чувствительных элементов в виде кварцевой пленки или тонкой пленки различных лаков, напыляемых поверх металлов.

Полупроводниковые термометры сопротивления (ППТС) имеют значительно большую крутизну преобразования, т.е. более высокий ТКС (до 6 – 8% на 1°C) и большое удельное сопротивление. Все это позволяет изготовить термометры с высокой чувствительностью, пригодные для измерения малых градиентов температуры при очень малых размерах; облегчает конструирование телеизмерительных систем и регистраторов, позволяя, например, использовать их непосредственно в качестве задающих резисторов в измерительных генераторах. Измерение температуры путем преобразования сопротивления ППТС в частоту с помощью RC-генератора обеспечивает высокую помехозащищенность, удобство передачи, регистрации, анализа результатов измерений и весьма перспективно.

В последнее время широкое распространение получили полупроводниковые термосопротивления (термисторы), выполненные на основе германия, кремния, окислов металлов и т.п. Малая тепловая инерция ППТС (до 20 мс) и высокое разрешение (порядка $5 - 10^{-4}$ °C) позволяют использовать их для измерения флуктуаций температуры в море при исследовании тонкой структуры. ППТС также используются для коррекции термических погрешностей датчиков электропроводности.

Зависимость температурного коэффициента термистора α_T от температуры можно представить в виде

$$\alpha_T = B/T^2,$$

где $B = \Delta E/2K - \text{const}$ для каждого конкретного полупроводника; E – энергия активации; K – постоянная Больцмана.

Зависимость сопротивления термистора R_T от температуры определяется как

$$R_T = AT^b e^{B/T}, \quad (7.5)$$

где A и $B - \text{const}$.

Обычно при практических расчетах в небольших интервалах температур (20 – 30°) величиной T^b пренебрегают, так как $b \ll 1$. Тогда выражение (7.5) примет вид, аналогичный (7.4) для ПТС, т.е.

$$R_T = Ae^{B/T}.$$

Значения постоянных коэффициентов здесь можно определить путем измерения сопротивлений при двух известных значениях температуры.

К недостаткам ППТС следует отнести, в первую очередь, нелинейность их температурной характеристики (их чувствительность меняется на различных участках диапазона измерений) и временной дрейф (изменение характеристик с течением времени). Все это заставляет использовать ППТС в случае допустимой невысокой точности при необходимых высоком разрешении и малой постоянной времени. Правда, современные полупроводниковые термисторы не уступают платиновым ПТС. Кроме того, можно использовать узкий диапазон измерений, где нелинейность была бы ниже допустимой погрешности, или искусственно линеаризовать термисторную характеристику с помощью различных существующих в настоящее время методов. При изучении влияния гидростатического давления на ППТС было установлено, что изменение давления приводит к изменению их сопротивления, которое эквивалентно изменению температуры на $1,5 \cdot 10^{-6}^{\circ}\text{C}$ на 1 атм в диапазоне давления 0 – 700 атм.

Для коррекции динамических характеристик ПТС, с целью приближения их тепловой инерции к постоянной времени датчиков электропроводности, в последнее время стали практиковать совместное использование ПТС и ППТС. Наиболее удачно это реализовано Нейл Брауном в STD-системе MARK-III, где для коррекции постоянной времени 250 мс платинового ПТС со 100-омным чувствительным элементом использован миниатюрный термистор с постоянной времени 25 мс. На термистор, установленный в непосредственной близости от платинового ПТС, подается питание через интегратор с постоянной времени ПТС (250 мс). Такое совместное использование ПТС и ППТС в одном измерительном канале позволяет успешно сочетать высокую долговременную стабильность и линейность выходного сигнала с малой инерционностью ППТС.

Термочувствительные кварцевые резонаторы, применяемые в виде термометров, используют температурную зависимость упругой постоянной пьезокристаллов, в основном кварца, имеют высокую добротность, стабильность параметров (максимальный

дрейф после начального периода старения кристалла имеет значение порядка 10^{-3} К в месяц), обладают высоким разрешением ($10^{-4} - 10^{-6}$ К) с абсолютной погрешностью в рабочем диапазоне температур до $\pm 0,02$ °С. Кварцевые термометры пригодны для эксплуатации при наличии ударов и вибраций (10 – 1000 g) и имеют постоянную времени 1 – 5 с. Другим их важным преимуществом является то, что их чувствительный элемент – термочувствительный срез пьезокристалла является частотно-термочувствительным элементом с высокой добротностью и стабильностью и может быть использован непосредственно в качестве частотно-задающего элемента в системах телеизмерений с частотной модуляцией.

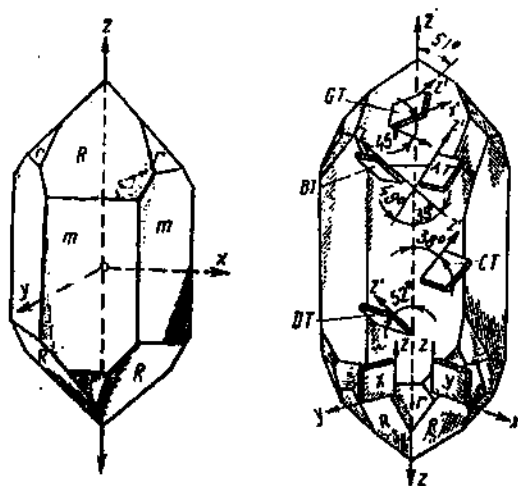


Рис. 7.4. Кристалл кварца.

Кристалл кварца (SiO_2) представляет собой 6-гранную призму, ограниченную двумя пирамидами. В кристалле кварца различают (рис. 7.4, а) взаимно перпендикулярные оптическую ось Z , три электрические оси X (проходят через вершины шестиугольника поперечного сечения) и три механические оси Y (проходят перпендикулярно сторонам шестиугольника поперечного сечения). Кристаллы кварца анизотропны и его свойства в направлении различных осей неодинаковы, поэтому и свойства кварцевых пластин зависят от угла среза. Выбор среза осуществляется в зависимости от желаемых свойств кварцевого резонатора - его температурных и

частотных характеристик. В качестве чувствительных элементов используют срезы с большим температурным коэффициентом частоты (ТКЧ), чаще это простые срезы (рис. 7.4, б) и прежде всего Y-срез, когда плоскость пластины параллельна оси X. Частота собственных колебаний кварцевой пластинки связана с ее размерами, плотностными и механическими свойствами кристалла, поэтому ТКЧ связан с температурными зависимостями этих величин.

В диапазоне температур от -50 до $+250$ °C собственная частота пьезокристалла хорошо описывается полиномом третьего порядка:

$$f(T) = f_0(1 + AT + BT^2 + CT^3),$$

где $f(T)$ – частота при T °C; f_0 – частота при T_0 °C; A, B, C – const.

Выбрав соответствующий срез кристалла можно получить значения B и C , близкие к нулю, т.е. линейную зависимость выходной частоты от температуры. В распространенных кварцевых термометрах используется Y-срез, при этом чувствительность термометров, например, модели 2801A (США) составляет $0,0001$ °C в диапазоне от -80 до $+250$ °C. Кристаллы чувствительных элементов могут иметь форму, например, плосковыпуклой линзы диаметром 8 мм с радиусом кривизны 100 м и толщиной линзы в центральной части $\sim 0,35$ мм. Их размещают, как правило, в металлическом корпусе, подобном корпусу стандартных транзисторов, заполняемом гелием при давлении $0,1 - 1$ атм. Для обеспечения виброустойчивости кристаллы крепят на пружинящих контактах.

Отрицательными характеристиками кварцевых датчиков температуры являются сравнительно большая величина постоянной времени и определенная сложность схем вторичного преобразования. Для создания термометров особенно удобным является использование двух кварцевых генераторов, один из которых с термочувствительным кварцем, а другой – опорным, термостабилизированным, когда срез кристалла не чувствителен к изменению температуры. Выходная частота с обоих генераторов поступает на смеситель, с которого и снимается разностная частота. В случае когда частота чувствительного кварца при 0 °C совпадает с частотой опорного, при измерении частоты на выходе смесителя, мы получаем в цифровом виде непосредственное значение температу-

ры в °С. Собственная резонансная частота кварцевых датчиков температуры колеблется в пределах от 3 до 30 МГц, а изменение частоты при изменении температуры на 1 °С составляет 100 – 200 Гц.

Например, в автономных измерителях «Поток» в качестве опорного кварцевого резонатора используется элемент РК-169, а в качестве термочувствительного – элемент РК-112 МА-5000КОД. Термочувствительность такого датчика составляет $f(T) \approx 1000$ Гц/К, что позволяет обеспечивать измерение температуры морской воды с погрешностью $\pm 0,01$ °С с постоянной времени 1 с.

Очевидно, кварцевые термометры следует использовать при необходимости достижения высоких точностных характеристик и разрешающей способности в случае исследования постоянных или медленно меняющихся (частоты менее 0,1 Гц) процессов, например, при изучении длиннопериодных флуктуаций температуры, особенно при проведении долговременных автономных наблюдений.

Неконтактные методы измерения температуры морской воды основаны на измерении собственного теплового излучения водной поверхности в инфракрасном (ИК) и микроволновом (СВЧ) спектрах. Несмотря на преимущества (измерения могут проводиться практически в любую погоду и в любое время суток), использование СВЧ-диапазона для определения температуры поверхности оксана (ТПО) затрудняется относительно низкой излучательной способностью воды в этом диапазоне (0,3 – 0,4) и существенной зависимостью от состояния поверхности моря (волнение различных масштабов, пена, брызги и т.п.). Анализ имеющихся в настоящее время результатов спутниковых экспериментов показывает, что получение оценок ТПО в этом диапазоне с погрешностью менее 1,5 – 2 °С в ближайшем времени маловероятно. В ИК-диапазоне на измерение ТПО сильно сказывается влияние атмосферы (так, при наличии значительной облачности измерение ТПО практически исключается), что вызывает необходимость корректного его учета или исключения.

Влияние атмосферы проявляется в молекулярном и аэрозольном рассеянии ИК-излучения облачностью, селективным и неселективным его поглощением в основном атмосферным водяным паром, углекислым газом и озоном, а также поглощение ИК-излучения кристаллами льда, располагающихся вблизи тропопаузы.

Если влияние облачности в ИК-диапазоне избежать практически невозможно (результаты измерений ТПО при наличии облачности должны каким-либо образом выделяться из общего массива данных), то рассеяние водяным паром, CO_2 , O_3 и поглощение кристаллами льда можно в значительной мере уменьшить. Для этого, во-первых, измерения в ИК-диапазоне проводят в так называемых окнах прозрачности атмосферы, характеризующихся почти полным пропусканием излучения, а во-вторых, используют многоканальные ИК-радиометры, обладающие техническими характеристиками, достигнутыми в настоящее время. Кроме того, для оценки ТПО можно воспользоваться методами, в которых осуществляются эмпирические связи температуры воды с рядом измеряемых величин. Это может быть реализовано путем использования данных прямых одновременных подспутниковых измерений гидрометеорологических параметров с последующей статистической обработкой результатов наблюдений, применяя регрессионный, корреляционный анализы и т.п. Использование подобных методов позволило достигнуть погрешности оценки ТПО в пределах $0,5 - 1,0$ °С. Применение ИК-радиометров с самолетов на небольших высотах позволяет достигнуть еще большей точности измерения ТПО.

Анализируя положительные и отрицательные стороны существующих дистанционных методов измерений ТПО, можно прийти к выводам, что наиболее целесообразно проводить измерения температуры воды комплексно с использованием как подспутниковых прямых измерений, так и ИК- и СВЧ-методов. В этом случае прямые подспутниковые измерения используются как калибровочная база для ИК-измерений, проводимых в условиях безоблачной атмосферы. Результаты этих измерений (точность которых принципиально достигает более высокой, чем при СВЧ-радиометрических измерениях) будут уже калибровочной основой для всепогодного метода определения ТПО-метода СВЧ-радиометрии. Можно надеяться, что реализация такого подхода позволит повысить точность измерения температуры поверхности океана.

Таким образом, существует большое количество различных возможностей измерения температуры морской воды. По принципу и месту проведения измерений все измерители температуры можно подразделить на глубоководные измерители, измерители

температуры поверхности моря (ТПМ) и измерители температуры поверхностного слоя моря (ТПСМ).

Под *температурой поверхностного слоя* понимается температура верхнего слоя морской воды толщиной не более 1 м в месте измерения, принимаемая за среднюю в этом слое и условно распространяемая на ближайшую акваторию. Температуру поверхностного слоя следует отличать от *температуры поверхности моря*, под которой понимается температура тонкого поверхностного слоя морской воды толщиной от нескольких микрон до 1 – 2 см. Температура поверхности моря может отличаться от температуры поверхностного слоя на 1 – 3 °С. Вследствие испарения она обычно ниже температуры поверхностного слоя.

7.6. Измерители температуры морской воды

В настоящее время в океанологической практике для измерения ТПМ (ТПО) применяются в основном лишь неконтактные методы (ИК- и СВЧ-радиометры). Так как наибольшее применение нашли ИК-радиометры, использующие, как известно, естественное (тепловое) излучение водной поверхности, остановимся более подробно на их принципе действия.

Фундаментальной основой при рассмотрении теплового излучения является понятие об *абсолютно черном теле (АЧТ)* – теле, поглощающем все падающее на него излучение любых длин волн. Спектральное распределение излучения АЧТ описывается законом Планка:

$$W_{\lambda} = 2\pi\hbar c^2 / (\lambda^5 e^{ch/\lambda KT} - 1), \quad (7.6)$$

где W_{λ} – спектральная плотность излучения, Вт·см⁻²·мкм⁻¹; λ – длина волны, мкм; $\hbar$ – постоянная Планка, $(6,6256 \pm 0,0005) \cdot 10^{-34}$ Вт·с²; T – абсолютная температура, К; c – скорость света, $(2,997925 \pm 0,000003) \cdot 10^{10}$ см·с⁻¹; $c_1 = 2\pi\hbar c^2 = (3,7415 \pm 0,00019) \cdot 10^4$ мкм·К; K – постоянная Больцмана, $(1,38054 \pm 0,00018) \cdot 10^{-23}$ Вт·с·К⁻¹.

Анализ выражения (7.6) позволяет сделать вывод, что лучистый поток, излучаемый АЧТ, быстро возрастает с ростом температуры. Выражение этого возрастания можно получить, проинтегрировав уравнение Планка:

$$W_{\lambda} = \int d\lambda = \left[2\pi^5 K^4 / (15c^2 h^3) T^4 \right] = \sigma T^4.$$

Это соотношение называется законом Стефана-Больцмана, а $\sigma = (5,6697 \pm 0,0029)10^{-12}$ Вт·см⁻²·К⁴ — постоянная Стефана — Больцмана. Продифференцировав уравнение Планка, получим закон смещения Вина:

$$\lambda_{\max} T = a,$$

где $\lambda_{\max}$ — длина волны, на которой наблюдается максимум распределения спектральной плотности излучения при данной температуре; $a = (2897,8 \pm 0,4)$ мкм·К.

Рассчитав с помощью (7.6) излучение АЧТ при температурах от 240 до 300 К, температурах экстремальных состояний океанологических объектов (−33 ... +27 °С), получим, что максимальные плотности излучения будут лежать в пределах длин волн 9,5 — 12,1 мкм и имеют значения $1,03 \cdot 10^{-3}$ и $3,14 \cdot 10^{-3}$ Вт/см² мкм. Свыше 99 % плотности излучения приходится на спектральную область 4 — 40 мкм, а в диапазоне 8 — 13 мкм сосредоточено 35 % всей плотности излучения.

Формирование теплового излучения моря происходит в тонком поверхностном слое, толщина которого в диапазоне 8 — 14 мкм составляет около 0,02 мкм. Термический режим этого слоя отличается от режима нижележащих слоев и определяется эффективным ИК-излучением поверхности моря (разность между длинноволновыми излучениями поверхности моря и атмосферы), потерями тепла на испарение, теплообменом с атмосферой и с нижележащими слоями воды (в меньшей степени). Разность ТПМ и воды на глубине около 0,5 м может составлять от десятых долей градуса до нескольких градусов и может подвергаться суточным колебаниям и по величине, и по знаку.

При прохождении ИК-излучения от водной поверхности до приемника измерительного прибора оно подвергается поглощению и рассеянию газами атмосферы, жидкими и твердыми частицами, находящимися во взвешенном состоянии. Основными газами атмосферы, поглощающими ИК-радиацию, являются водяной пар, углекислый газ и озон. При наличии осадков и облачности измере-

ние инфракрасной радиации проводить также невозможно. Поглощение ИК-излучения указанными газами атмосферы является избирательным и селективным. Имеются участки ИК-диапазона, где спектральный коэффициент пропускания T_λ практически равен нулю и, наоборот, где он близок к единице. Первые из этих участков называются *полосами поглощения*, а вторые, где атмосфера прозрачна для ИК-излучения, называются *окнами прозрачности атмосферы*.

Инфракрасные измерительные приборы регистрируют спектральную плотность излучения и носят название *инфракрасных радиометров*. Принцип получения данных о ТПО по результатам измерения спектральной плотности излучения основывается на использовании законов теплового излучения. Простая и очевидная связь температуры излучающей поверхности и интегральной спектральной плотности W_{T_0} вытекает из использования законов Стефана-Больцмана, Ламберта, Кирхгофа:

$$W_{T_0} = (\epsilon\sigma/\pi)T_0,$$

где ϵ – интегральная излучательная способность водной поверхности; σ – постоянная излучения; T_0 – термодинамическая температура излучающей поверхности.

Поэтому, измерив W_{T_0} и зная ϵ , легко вычислить искомую величину T_0 . Как известно, не существует способов непосредственного измерения лучистых потоков. Для их количественного определения применяются преобразователи лучистой энергии в другие виды энергии, чаще всего в электрический сигнал. Этими преобразователями, называемыми приемниками излучения, могут быть термоэлементы, болометры, фотоэлементы. Термоэлементы представляют собою спай различных проводников или полупроводников. Болометры представляют собой металлические или полупроводниковые термометры сопротивления с зачерненной поверхностью. Фотоэлементы являются приборами, реализующими фотоэлектрический эффект. Блок-схема ИК-радиометра, типичная для большинства систем подобного рода, приведена на рис. 7.5.

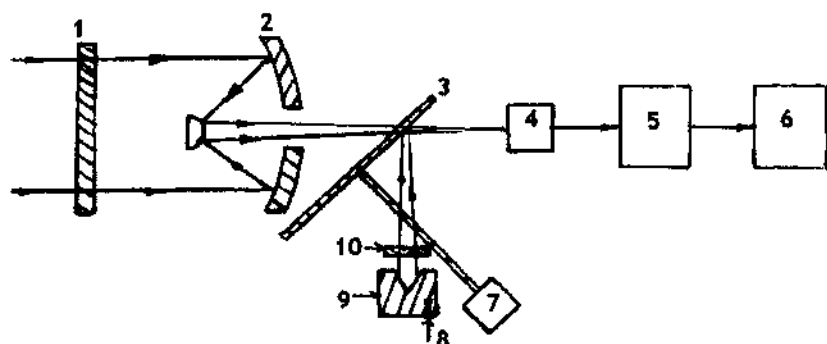


Рис. 7.5. Обобщенная блок-схема ИК-радиометра.

Радиационный поток от водной поверхности попадает в ИК-радиометр через входное отверстие, закрытое светофильтром (1), прозрачным для ИК-излучения в пределах рабочего интервала длин волн $\Delta\lambda$, и фокусируется зеркальным объективом (2) на приемник излучения (4). Электрический сигнал от приемника излучения, пропорциональный радиационному потоку, подается в блок усиления и преобразования (5), после чего попадает на регистратор (6). Для повышения точности ИК-радиометр снабжается опорным источником для сравнения возникающего сигнала с сигналом от водной поверхности. Для этого используется макет АЧТ (9) в виде, например, полости конической формы, зачерненной внутри. Температура макета АЧТ регулируется и измеряется термосопротивлением (8). Излучение от водной поверхности и от опорного источника попеременно с помощью модулятора (3) направляется на приемник излучения (4). В качестве подобного модулятора может использоваться зеркальный диск с прорезями, вращаемый электродвигателем (7). Перед макетом АЧТ на пути потока излучения ставится светофильтр (10), идентичный светофильтру (1).

Существует много конструкций ИК-радиометров, различающихся использованием различных типов приемников излучения, расположением модулятора, типом применяемых объективов (линзовые или зеркальные), размещением макета АЧТ и т.п. Некоторые модификации, использующие в качестве приемников излучения термоэлементы, могут совсем не иметь модуляторов и опорных источников. В этом случае один спай термоэлемента термостатируется. Кроме того, для получения температурного поля поверх-

ности океана могут использоваться сканирующие ИК-радиометры. Они позволяют освещать широкую полосу на водной поверхности по обе стороны от маршрута полета летательного аппарата и получать непосредственно ее тепловые изображения.

Проведенные в США исследования ИК-радиометров, установленных на ИСЗ, показали, что двухканальный ИК-радиометр компенсирует влияние на измерение температуры водяного пара, что исключает необходимость измерения профилей температуры и пара в атмосфере. А при использовании четырехканального ИК-радиометра возможно уменьшение погрешности измерения температуры воды при отсутствии облачности за счет осуществления коррекции и поглощения ИК-излучения слоем кристаллов льда, расположенных вблизи тропопаузы.

Измерение температуры поверхностного слоя воды (глубина до 1 м) может производиться различными типами измерителей. Ее можно измерить обыкновенным ртутным термометром прямо за бортом или в пробе воды, зачерпнутой ведром. Так и поступают с тех пор, как термометр, изобретенный Галилеем в конце XVI в., был снабжен единообразной сравнимой у разных термометров шкалой, что произошло только после работ Цельсия и Линнея (1740-е гг.). И в настоящее время еще пользуются для измерения температуры поверхностным термометром в специальной оправе ОТ-51 (рис. 7.6).

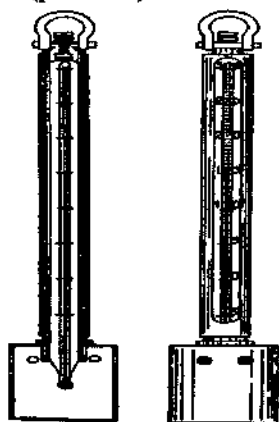


Рис. 7.6. Поверхностный термометр в специальной оправе.

Оправа служит для увеличения постоянной времени термометра после подъема его на палубу. Для этого нижняя часть оправы выполнена в виде стаканчика, заполняемого водой из точки измерения, что сводит к минимуму искажение результатов из-за изменения окружающей температуры. Кроме того, оправа предохраняет хрупкую конструкцию ртутного термометра от механических повреждений.

Термометр в данной конструкции может работать в диапазоне 0 – 35 °С с погрешностью $\pm 0,1$ или $\pm 0,5$ °С.

Для измерения пространственного распределения температуры воды в поверхностном и приповерхностном слоях на ходу судна используются различные буксируемые устройства. Простейшим из буксируемых приборов является *термометр сопротивления*, буксируемый на кабель-тросе в поверхностном слое воды. Примером такого типа устройств может служить *буксируемая система ВМС США*. Датчик температуры воды данного устройства в виде платинового ПТС в стальном корпусе с небольшим вертикальным стабилизатором для ориентации по потоку с диапазоном измерений –5 ... 30 °С и погрешностью измерений $\pm 0,015$ °С вмонтирован в кабель-трос. Выдержка системы на рабочем горизонте осуществляется установленным на конце кабель-троса *Y*-образным снарядами фирмы Брайнзон. Система может буксироваться со скоростью до 12 уз, а рабочая глубина определяется по количеству вытравленного кабеля.

В Морском гидрофизическом институте (АН Украины) был разработан буксируемый измеритель температуры, предназначенный для измерения температуры поверхностного слоя со следующими *техническими характеристиками*:

Диапазон измерения, °С	–2 ... 35
Погрешность измерения, °С	$\pm 0,1$
Чувствительность, °С	0,01
Постоянная времени, с	1
Дискретность отсчета, с	1
Максимальная глубина погружения, м	100
Максимальная скорость буксировки, уз	15
Продолжительность непрерывной работы, ч	240

Платиновые ПТС со схемой вторичного преобразования помещены в стальном корпусе, снабженном стабилизирующими рулями и связаны с бортовым блоком одножильным кабель-тросом. Бортовое устройство обеспечивает преобразование получаемой информации в десятичный код, его индикацию в физических единицах (°С), осреднение результатов измерения (5, 60, 300, 600 с по выбору оператора), вывод информации на аналоговый регистратор и цифровые каналы регистрации.

Гораздо более сложным и трудным делом оказалось измерение воды на глубинах. К XIX в. относится и начало работ по созданию широко используемых и в настоящее время *глубоководных опрокидывающихся термометров*. В 1842 г. Айме предложил минимальный опрокидывающийся термометр с ртутным и спиртовым наполнением, а в 1866 г. Э.Х. Шнайдер сконструировал второй термометр (максимально-минимальный). Наиболее удачной была конструкция ртутного опрокидывающегося термометра с отрывающимся столбиком, предложенная в 1878 г. механиками из Лондона Негретти и Замбра. Этот термометр регистрировал не только максимальную или минимальную температуру, но и реальную температуру на заданном горизонте. В 1892 г. француз Шабо, а позднее немецкий механик Рихтер поместили во внутреннюю полость защитного стеклянного кожуха опрокидывающегося термометра дополнительный термометр. Этот термометр позволил учитывать изменение длины оторвавшегося столбика ртути основного термометра из-за изменений температуры окружающей среды при подъеме термометра на борт судна, что дало возможность повысить точность измерения температуры воды на любой глубине.

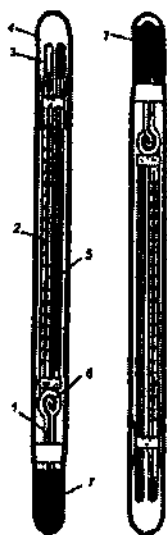


Рис. 7.7. Глубоководный опрокидывающийся термометр (ТГ).

И до сих пор глубоководные опрокидывающиеся термометры (ТГ) используются во всем мире. ТГ состоят (рис. 7.7) из основного (2) и вспомогательного (5) термометров, заключенных в общую стеклянную оболочку (4), предназначенную для предохранения термометров от внешнего давления. Основной термометр, служащий для измерения температуры воды на горизонте наблюдений, состоит из резервуара с ртутью (7) и прикрепленного к нему толстостенного капилляра с нанесенной на нем шкалой. Пространство между резервуаром и стеклянной оболочкой для увеличения теплопроводности заполнено ртутью, отделенной от остальной части термометра пробкой, служащей одновременно и для крепления термометра. Капилляр на некотором расстоянии

от резервуара имеет сужение и специальное ответвление (1) (глухой отросток), предназначенный для обрыва ртути при опрокидывании ТГ и фиксации определенного ее объема, соответствующего измеренной температуре.

Вслед за отростком капиллярная трубка завернута петлей (6) для приема излишка ртути. С противоположной стороны капилляр заканчивается приемником (3), который при опрокидывании ТГ заполняется полностью. Объем приемника и капилляра до точки нуля для каждого термометра постоянен, выражается в градусах и обозначается V_0 или Vol .

Вспомогательный термометр, вмонтированный в опрокинутом положении относительно основного, служит для измерения температуры внутри стеклянного баллона в момент производства отсчета, что позволяет внести поправку в показания основного термометра на изменение температуры окружающей среды (редукционная поправка).

ТГ выпускаются с различными шкалами основного термометра от $-2 \dots 8^\circ\text{C}$ до $-2 \dots 32^\circ\text{C}$, с ценой деления от $0,05$ до $0,1^\circ\text{C}$ и с погрешностью измерений от $\pm 0,05$ до $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Вспомогательные термометры имеют шкалы с пределами $-20 \dots 45^\circ\text{C}$ и с делениями шкалы через $0,5^\circ\text{C}$.

В 1914 г. И. Б. Шлиндлер описал возможность использования ТГ для определения глубины погружения приборов в море. Если в глубоководном опрокидывающемся термометре разгерметизировать наружный стеклянный кожух в его нижней части со стороны резервуара основного термометра, то в таком не защищенном от давления термометре длина столбика ртути в капилляре будет изменяться не только под влиянием температуры, но и в результате меняющегося гидростатического давления. Такое устройство получило название *термометр-глубомер ТГМ* (рис. 7.8). В конструкции ТГМ предусмотрено отверстие в его верхней части для стока воды, а резервуар его основного термометра отогнут и располагается вдоль капилляра для уменьшения общей длины глубомера. Одновременно с ТГМ в паре с ним на ту же глубину опускается обычный ТГ.

Отсчет по ТГ дает истинную температуру воды на данном горизонте, а отсчет по ТГМ искажен влиянием давления, поэтому

значение последнего может быть рассчитано по разности показаний обоих термометров. На регулярной выставке океанологической техники в Брайтоне в 1994 г. фирмой SIS-Sensoren Instrumente Systeme (Германия) были представлены глубоководные опрокидывающиеся термометры RPV 4002 (стоимостью 3200 марок) и глупомеры RPM 2000, 6000, 10 000 (3500 марок). Это не привычные стеклянные ртутные термометры, а миниатюрные электронные измерители, выполненные в стандартных габаритах для крепления их в обычной двухпенальной раме батометра. Показания датчика высвечиваются на 5-разрядном LCD-табло, аналогичном применяемому в наручных часах. Двух литиевых элементов питания от обычных наручных часов хватает на 2700 измерений. Высокая временная стабильность (уход составляет 0,00025 °C в месяц) позволяет с помощью этих устройств проводить метрологическую поверку СТД-систем даже непосредственно в экспедициях.

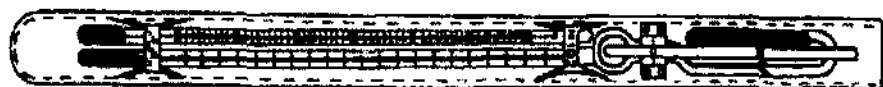


Рис. 7.8. Термометр-глубомер ТТМ.

В настоящее время в практике океанологических исследований широко используются различного типа термобатиграфы, позволяющие получать оперативную информацию о распределении температуры воды по глубине в дрейфе или на ходу судна. Существуют механические и электронные термобатизонды. Правда, следует отметить, что механические термобатиграфы обладают значительными погрешностями, малым разрешением и несовершенной формой регистрации. Современные автоматизированные электротермобатизонды позволяют получать информацию в виде, удобном для ввода в ЭВМ. Связь бортового блока с зондирующим устройством осуществляется по многожильному или одножильному кабель-тросу, гидроакустическому каналу или радиоканалу. Существуют также полностью автономные зонды, снабженные внутренним регистратором. Рассмотрим более подробно некоторые наиболее широко используемые термобатизонды.

К механическим термобатизондам относится устройство типа «Батитермограф», различные модификации которого выпускаются во многих странах (Англия, Германия, Дания, США, Япония и др.). Все они в какой-то мере отличаются глубиной погружения, но конструкция их практически одинакова. Нашей промышленностью выпускаются два типа подобных приборов – ГМ-7-III и ГМ-9-III. Кроме того, если ГМ-9-III предназначен для измерения распределения температуры воды по глубине в слое 0 – 200 м, то ГМ-7-III позволяет еще и отобрать пробы воды на восьми горизонтах в слое 0 – 200 м.

Батитермограф ГМ-9-III (рис. 7.9, а) состоит из термоблока, регистрирующего устройства и батиблока, соединенных вместе с помощью корпуса прибора (соединительной гильзы). Термоблок предназначен для регистрации температуры, а батиблок показывает глубину. Движение этих двух блоков комбинируется в одно движение пера, записывающего на пластинке из стекла со специальным покрытием изменение температуры в зависимости от глубины. Таким образом получают температурную кривую от поверхности до глубины 200 м. Прибор предназначен для зондирования верхнего слоя океана с судна, лежащего в дрейфе, стоящего на якорь или на ходу судна.

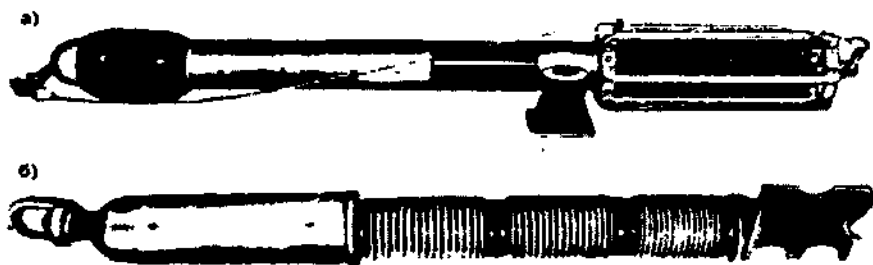


Рис. 7.9. Батитермограф ГМ-9-III.

Термоблок представляет собой термосистему, состоящую из медной капиллярной трубки, соединенной с концом термометрической геликоидальной полый пружины. Вся система заполняется толуолом. Капиллярная трубка длиной 20 – 25 м и наружным диаметром 1,2 мм уложена в несколько слоев на гребенках, радиально расположенных в хвостовой части прибора. Термосистема защищается от механических повреждений ребрами стабилизатора. Ге-

геликоидальная пружина представляет собой трубку из бериллиевой бронзы, свернутую в виде спирали с тремя витками. Один конец пружины, связанный с капиллярной трубкой, закреплен неподвижно, ко второму, свободному концу, припаяна стрелка с иглой на конце. При колебаниях температуры изменяется и объем толуола, которым заполнена термосистема. Возникающая при этом упругая деформация геликоидальной пружины приводит к перемещению иглы, которая скользит по покрытию стекла и процарапывает его рабочую поверхность, покрытую чернильным раствором. В термоблоке установлена также и фиксирующая стрелка, предназначенная для вычерчивания базисной линии. Эта линия служит для проверки правильности установки стекла в отсчетном приспособлении.

Батиблок (рис. 7.9, б) служит для записи глубины погружения прибора. Он состоит из цилиндрической пружины, надетой на неподвижный стержень. Поверх пружины укреплен блок, состоящий из трех спаянных между собой сильфонов. Пружины и сильфоны воспринимают меняющееся давление воды при изменении глубины погружения прибора. Неподвижный конец сильфонов припаян к стакану головки, подвижный конец закрыт втулкой, к которой при помощи направляющего угольника прикреплен столик с устанавливаемым на нем стеклом для записи вертикального профиля температуры. При погружении прибора втулка под воздействием гидростатического давления перемещается по стержню на расстояние, пропорциональное гидростатическому давлению, а вместе с ней перемещается и стекло. Стрелка, которой заканчивается геликоидальная пружина, вычерчивает кривую линию, соответствующую изменению температуры с глубиной.

Для отсчета и обработки записи батитермографа используется специальное отсчетное приспособление. Основной его частью является тарировочная сетка, горизонтальные линии которой соответствуют глубинам, а вертикальные – температурам. Сетка жестко установлена в рамке с пазами. Над рамкой укреплена в конической оправе лупа.

Основные технические характеристики ГМ-9-III.

Диапазон измерения температуры, °C	-2 ... 30
Погрешность измерения температуры, °C	±0,1

Диапазон измерения глубины, м

до 200

Погрешность измерения:

глубины до 30 м, м

± 1

глубины свыше 30 м, % от измеренной глубины

± 3

Масса прибора в воздухе, кг

10

Габаритные размеры, мм

120 × 640

Уже длительное время, благодаря простоте изготовления и эксплуатации, которая зачастую по силам даже экипажам коммерческих судов, широко используются в океанологической практике для исследования верхнего слоя океана теряемые (ХВТ) батитермографы, выпускаемые многими фирмами.

Впервые теряемый зонд был выпущен американской корпорацией Sippikan в 1960 г., и с тех пор появилось множество типов судовых и авиационных систем, позволяющих определять ход температуры, температуры и электропроводности, температуры и скорости звука с глубиной вплоть до 1000 м. Преимуществом подобных систем является возможность их использования непосредственно на ходу судна.

В состав теряемых зондов входят: сами зонды; бортовой блок, состоящий из персонального компьютера со специализированным программным обеспечением; ручное (рис. 7.10) или палубное стационарное метательное устройство (рис. 7.11) для сбрасывания зонда в воду (ленчер).

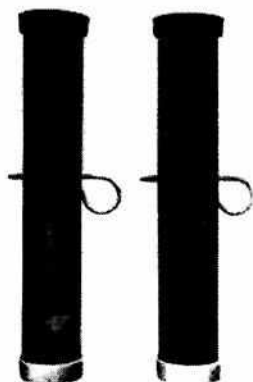


Рис. 7.10. Теряемый термо-зонд в футляре (ХВТ).



Рис. 7.11. Ручное метательное устройство.

Зонды в виде обтекаемого корпуса (рис. 7.12) состоят из измерительного блока, пенала и катушки с сигнальным кабелем, который через метательное устройство, в котором устанавливается вторая катушка с кабелем, связывает погружаемый зонд с бортовым блоком. Подобное размещение катушек с сигнальным кабелем позволяет точно производить измерения в заданной точке независимо от скорости и курса носителя. Передача информации на приемный компьютер начинается с момента касания зондом поверхности воды, которая в этом случае играет роль "земли". Скорость зондирования в различных моделях может варьироваться от 2 до 7 м/с. Глубина нахождения зонда определяется по формулам зависимости от времени свободного падения зонда. Во время зондирования эта процедура осуществляется автоматически с помощью программных средств. После достижения определенной глубины кабель обрывается, а зонд теряется.

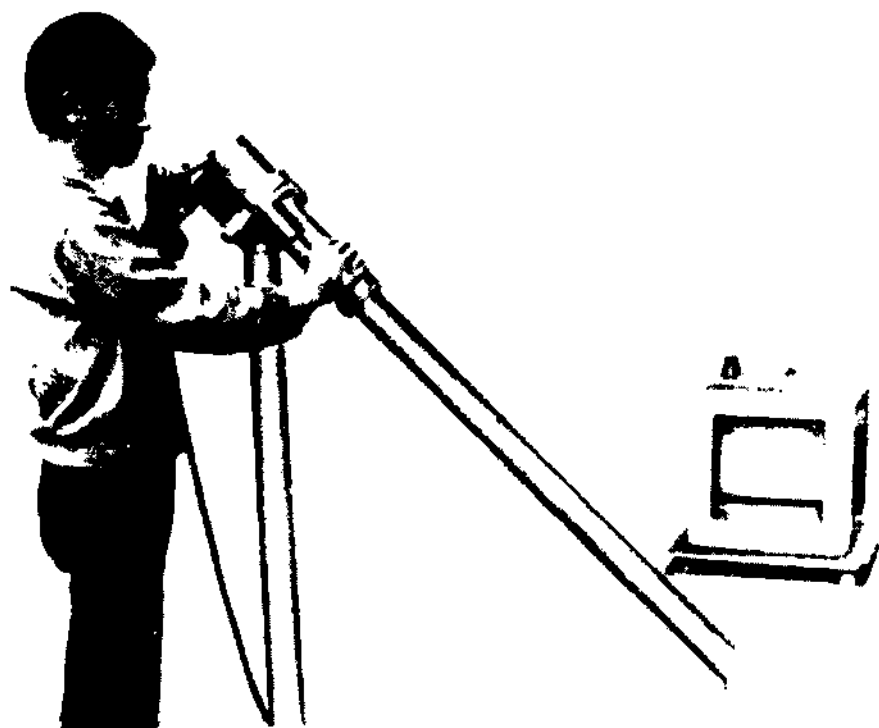


Рис. 7.12. Стационарное метательное устройство.

Большое распространение в настоящее время нашли теряемые батитермографы типа Т-5 и Т-7 «Deer Blue» фирмы Sippikan. Зонды Т-5 способны работать до глубины 1000 м при скорости судна до 20 уз. Зонды Т-7 при той же скорости способны проводить измерения до глубины 760 м. Разрешение зондов по глубине – 65 см, по температуре – 0,01 °С. Постоянная времени датчика температуры (чаще всего термистор) – 150 мс. Точность по глубине – 2 %, по температуре $\pm 0,15$ °С.

Среди отечественных приборов имеется измеритель, схожий с зарубежным аналогичными образцами – термозонд обрывной. В основном он используется при проведении океанографических работ на судах Главного управления навигации и океанографии МО.

7.7. Методика наблюдений за температурой воды в прибрежной зоне моря

Температура воды на прибрежных ГМС и ГМП для получения репрезентативных материалов наблюдений по всей прилегающей акватории измеряется в одном и том же месте, как минимум, четыре раза в сутки в синоптические сроки (0, 6, 12 и 18 ч по СГВ). При этом место проведения измерений должно удовлетворять следующим условиям:

- глубина места при самом низком уровне должна быть не менее 50 – 60 см;
- должно быть обеспечено беспрепятственное сообщение с открытым морем во все сезоны года;
- место измерений должно быть удалено от места стока промышленных вод;
- место измерений должно быть удалено от мест впадения рек и ручьев. В устьевых областях крупных рек это требование не соблюдается, так как здесь возникает необходимость проведения измерений в распресненных водах.

Перед началом исследований, особенно для изучения режимных характеристик температуры воды, необходимо проанализировать все имеющиеся материалы, относящиеся к району работ. В случае отсутствия нужных данных, как правило, организуют наблюдения с целью изучения температурного режима в объеме

стандартного комплекса. На отмелях берегах с возможной значительной осушкой, вызванной сгонно-нагонными или приливо-отливными колебаниями уровня, допускается измерение температуры воды в нескольких постоянных точках в зависимости от положения уреза воды. В случае установления прочного ледового покрова разрешается измерять температуру воды в лунках для измерения толщины льда. Если в районе наблюдений образуются навалы дрейфующего льда на берег и прибрежную зону моря, то также допускается перенос места наблюдений в другое доступное место.

В ряде случаев стандартные наблюдения в одной или трех точках продолжительностью один год с учетом привлечения многолетних рядов наблюдений близлежащих морских ГМС и ГМП позволяют получить надежные сведения о температурном режиме поверхности воды прилегающей акватории.

В некоторых случаях для решения задач КУПЗ результатов стандартных наблюдений оказывается недостаточно. В этих случаях организуют дополнительные наблюдения для исследования особенностей температурного режима акватории. Подобные исследования помогут выявить пространственно-временную изменчивость температуры воды, установить тепловое влияние рек в устьевых областях, определить зависимость изменения температуры воды по пространству и по глубине от сгонно-нагонных и приливо-отливных колебаний уровня моря.

Довольно значительная пространственно-временная изменчивость температуры воды наблюдается в мелководных акваториях. Здесь кроме суточного и годового хода отмечаются довольно значительные по амплитуде кратковременные изменения температуры, вызванные сгонно-нагонными и приливо-отливными колебаниями уровня. В этом случае рекомендуется проведение учащенных наблюдений (каждый час) на береговых станциях с одновременным проведением работ на многосуточных станциях в открытых районах моря. Продолжительность подобных наблюдений регламентируется длительностью этих явлений. При этом стандартными горизонтами наблюдений при глубинах до 20 м являются 0,5, 3, 5, 10, 15 м и дно (0,5 м от дна).

Для исследования температурного режима на открытых акваториях иногда используют, так называемые, «веерные разрезы». Подобные разрезы обычно начинают от постоянной береговой точки наблюдений, выбранной в рамках КУПЗ. Разрезы, идущие от этой точки, должны охватывать всю акваторию. Веерные разрезы позволяют выявить особенности распределения температуры воды на исследуемой акватории при различных синоптических ситуациях. В районах устьев рек результаты наблюдений на этих разрезах позволяют определить тепловое влияние реки на устьевое взморье, а также характер влияния сгонно-нагонных и приливо-отливных явлений на изменение температуры воды.

Глава 8

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕЧЕНИЯМИ

8.1. Общие положения

Морские течения наиболее сложная и наименее изученная океанологическая характеристика. Знание морских течений крайне важно для обеспечения Комплексного управления прибрежной зоной. Особенно необходимы эти знания для проектирования прибрежных и морских сооружений, включая трубопроводы и их эксплуатацию; для расчета нагрузок на эти сооружения, вызванные дрейфующим льдом и при навалес льдов на суда; определения скорости и направления переноса загрязняющих веществ. Опыт показывает, что имеющаяся информация по течениям в большинстве случаев позволяет представить лишь общую картину циркуляции вод бассейна или его частей.

Приступая к рассмотрению вопроса об измерении течений в Мировом океане, необходимо остановиться на современных представлениях о физической сущности самой измеряемой величины, т.е. скорости и направлении течений.

Возникновение течений, связанное с общей циркуляцией, является следствием различных гидрометеорологических процессов, протекающих как в планетарном, так и в региональном масштабах. Все это вызывает как горизонтальные, так и вертикальные циркуляции. Изменчивость океанических течений во времени и пространстве изучена еще явно недостаточно, а методология и технология измерения вертикальной циркуляции в настоящее время находится еще в начальной стадии. Самые высокие скорости течения (3 – 5 м/с и выше) наблюдаются в узкостях и проливах. Максимальные скорости таких мощных океанических течений, как Гольфстрим, Куро시오 и т.п. достигают 2,0 – 2,5 м/с, экваториальных противотечений – 1,0 – 1,5 м/с, средняя скорость обычных

океанических течений составляет примерно 0,1 м/с, а средняя меридиональная скорость глубинной циркуляции около 0,035 м/с.

Кроме того, в потоке обычно наблюдается турбулентный режим движения воды, характеризующийся перемешиванием водных масс, вызывающим пульсацию скоростей течений как по значению, так и по направлению. Существующая аппаратура позволяет измерять подобные изменения скорости и направления течений во времени. Проведенные исследования показывают, что, например, пульсационные изменения происходят с большой частотой, причем на отдельные пики значительной амплитуды накладываются пики меньшей амплитуды, но большей частоты.

Измерения течений в океане до недавнего времени проводились, как правило, для получения географических представлений о скоростях течений, переносе водных масс и других подобных сведений. В связи с развитием гидродинамики океана в настоящее время результатам измерений скоростей течений стали придавать несколько иное значение. Так, например, открытие явления синоптического вихреобразования в океане, мощных вихрей с размерами в десятки и сотни километров, энергия течений в которых намного превосходит энергию крупномасштабной циркуляции вод в океане, в значительной мере предопределило дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных исследований по динамике океана.

Течения измеряются либо в полярной системе координат, когда регистрируется модуль скорости и угол его ориентации относительно магнитного меридиана, либо в декартовой системе координат, когда измеряются проекции вектора скорости на ортогональные оси координат и углы ориентации этой системы координат относительно магнитного меридиана. По результатам измерений, во втором случае определяются проекции вектора скорости течения на меридиан и параллель. К точности измерений течений в океане, а точнее, скоростей движения воды в настоящее время предъявляются высокие требования. Это обусловлено тем, что результаты измерений необходимы для исследования динамических балансов, эффектов взаимодействия движений разных пространственно-временных масштабов, а также для оценки существующих и разработки новых теоретических концепций.

8.2. Основные понятия и определения

В настоящее время в прибрежной зоне моря все морские течения, в зависимости от вызывающих их причин, можно разделить на ветровые, дрейфовые, компенсационные, сейшевые, стоковые, прибрежные циркуляционные, плотностные, приливо-отливные.

Ветровыми течениями принято называть всю совокупность движений воды, вызванных непосредственным влекущим воздействием ветра, а также и наклоном водной поверхности и перераспределением плотности воды, обусловленных ветром.

Дрейфовые течения возникают в результате влекущего действия ветра.

Компенсационные течения, как правило, восполняют убыль воды, которая образуется при растекании избытка воды, например, при сгонах или нагонах.

Сейшевые течения представляют собой горизонтальную составляющую орбитальной скорости частиц в сейшевых волнах.

Стоковые течения образуются под влиянием стока впадающих в море рек.

Прибрежные циркуляционные течения появляются как следствие взаимодействия потоков открытого моря с формами рельефа дна и конфигурацией берегов или гидротехнических сооружений.

Плотностные течения возникают вследствие горизонтальной плотностной неоднородности морских вод.

Приливо-отливные течения, образующиеся под влиянием приливообразующих сил, имеют ярко выраженный периодический характер (полусуточный, суточный, полумесячный и т.п.). В то же время все вышеперечисленные типы течений являются непериодическими.

В прибрежной зоне влияние некоторых факторов, действующих на формирование течений, оказывается отличным от зоны открытого моря. Так, например, стоковые течения наблюдаются только в устьях рек, компенсационные течения наиболее четко проявляются в районах с сильными сгонно-нагонными явлениями, циркуляционные течения наблюдаются только в прибрежной зоне, плотностные течения в прибрежной зоне проявляются относительно слабо.

В море довольно редко наблюдаются течения, вызванные каким-либо одним течениеобразующим фактором. Обычно одновременно действует ряд сил, которые создают так называемые суммарные течения, которые и измеряют при наблюдениях.

В глубоководных морях в качестве морской границы прибрежной зоны принято условно считать 50-метровую изобату. А в мелководных морях за подобную границу принимают зону имеющихся в данном районе морских гидротехнических и различных прибрежных сооружений, а также зон строительства таких сооружений плюс 2-3 мили.

8.3. Состав и объем исследований

В прибрежных районах моря обычно отмечается возрастание скоростей неперриодических течений с удалением от берега и их уменьшение в устьевых областях рек по мере удаления от замыкающего створа. Для прибрежной зоны моря также характерна большая пространственно-временная изменчивость по сравнению с открытым морем.

Для целей Комплексного управления прибрежной зоной моря основные сведения о режиме течений должны включать общую характеристику полей течений изучаемого бассейна (или какой-либо его части для каждого сезона), представленную в табличном виде. В этом случае, тем более, если в исследуемом районе предполагается какое-нибудь строительство или прокладка трубопровода, необходимо определить:

- розы поверхностных и придонных течений, ежемесячно;
- таблицы повторяемости скоростей течений по направлениям;
- средние скорости течений независимо от направления;
- средние скорости течений от каждого румба;
- максимальные скорости течений от каждого румба;
- направление и скорость суммарного переноса вод;
- функцию распределения скоростей независимо от направления и для каждого румба;
- режимные сведения о вертикальной структуре течений, включая эпюры средних и максимальных скоростей;

– общую схему течений с детализацией по сезонам не менее чем на трех горизонтах, для поверхностного течения – схема с детализацией по типовым полям ветра.

Данные о повторяемости течений позволяют судить и о времени, в продолжении которого будет действовать данное течение. Правда, необходимо иметь в виду, что таблицы повторяемости содержат вероятностные характеристики и для каждого конкретного отрезка времени табличные данные могут не совпадать с наблюдаемыми. Различие будет тем больше, чем меньше период, для которого определяют те или иные характеристики. Как правило, таблицы повторяемости течений составляют для 8 или 16 румбов. При глубинах до 5 м в них помещают данные для двух горизонтов: поверхностного и придонного. При больших глубинах – для горизонтов 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 м и 1 м от дна. В зависимости от специфики исследуемого района выбирают количество пунктов для измерения течений.

Для районов с приливами основными характеристиками течений являются гармонические постоянные приливных течений, по которым вычисляют сами течения и составляют таблицы их повторяемости. Гармонические постоянные определяют для четырех основных волн прилива.

8.4. Обоснование необходимости исследований

Задача изучения течений в рамках КУПЗ определяется режимом эксплуатации исследуемого района. Понятно, что имеющаяся информация о течениях в большинстве случаев дает лишь общее представление о циркуляции вод. Поэтому сведения, необходимые для оперативного обслуживания и получения режимных характеристик (включающих и максимальные скорости течений по направлениям, возможные один раз в определенное число лет), могут быть результатом только прямых измерений в период исследований.

Для оперативных целей результаты измерений используются непосредственно, а для построения режимных функций распределения скоростей течений они крайне нужны при выполнении гидродинамического моделирования и расчетов на основе синоптического архива. Данные этих же наблюдений позволяют оценить оптимальную пространственную дискретность измерений и опреде-

лить количество автономных буйковых станций, судов и других технических средств, необходимых на различных этапах исследований. Для получения надежных данных, пригодных для верификации гидродинамических моделей и расчетных методов, может потребоваться увеличение продолжительности наблюдений.

Перед началом натурных измерений необходимо собрать сведения о ранее проведенных наблюдениях в данном районе и общие сведения о режиме течений по всей прилегающей к нему акватории. Для этого следует использовать архивные и другие данные Гидрометслужбы и различных организаций, а также иметь материалы о конфигурации берегов, рельефе дна и об их изменчивости во времени, о составе грунта, флоре и фауне.

В конечном счете, задача по изучению течений устанавливается в виде перечня характеристик, которые должны быть получены. При оценке силовых нагрузок, возникающих под воздействием течений, основной задачей является определение наиболее возможной скорости для конкретных направлений течений.

Продолжительность наблюдений над течениями для получения характеристик с определенной обеспеченностью зависит от изменчивости течений, которая определяется флуктуацией факторов, определяющих режим течений в прибрежной зоне (ветер, сток рек, колебания уровня и т.д.). Следовательно, проанализировав изменчивость этих факторов, можно определить возможный диапазон изменений величин течений. Если по результатам измерений можно найти тесную корреляционную зависимость характеристик течений от характеристик определяющих факторов, то можно оценить экстремальные характеристики течений и их повторяемость, используя закон распределения всей совокупности факторов.

Для районов открытого моря, удаленных от берега более чем на 10 – 15 миль, с глубинами более 30 – 40 м скорости ветровых поверхностных течений могут быть оценены с помощью ветрового коэффициента (K), используя выражение $V = KW$, где V – скорость ветрового течения; W – скорость ветра. В том случае, когда V представлена в см/с, а W – в м/с, то можно считать, что K находится в диапазоне 1,0 – 1,5. Но использование подобного коэффициента для расчета ветровых течений в открытом море правомочно лишь для продолжительного, постоянного во времени и однород-

ного по пространству ветра, что позволяет получить в реальных условиях лишь приближенные данные о течениях. В прибрежных районах подобный метод может быть использован для приблизительной оценки только дрейфовых поверхностных течений. Здесь K зависит от глубины места, распределения плотности воды по вертикали, атмосферной стратификации, поэтому его необходимо определять в каждом случае отдельно. В некоторых случаях путем осреднения можно получить корреляционное уравнение, связывающее скорость течения в точке с параметрами ветра или градиентами атмосферного давления.

Для получения осредненных значений течений можно воспользоваться данными наблюдений над уровнем моря на береговых и островных уровенных постах. Градиентная составляющая течений в данной точке моря пропорциональна динамическому наклону его уровенной поверхности. Если береговая черта позволяет вычислить по береговым уровенным наблюдениям относительные уклоны уровня, то метод линейной корреляции позволяет определить зависимость между составляющими осредненного течения и относительными уклонами уровня по разным направлениям.

Принимая во внимание, что наблюдения над течениями, как правило, производятся эпизодически и в течение сравнительно непродолжительных промежутков времени, а наблюдения на береговых и островных ГМС и ГМП над ветром и колебаниями уровня ведутся в течение многих лет (в несколько сроков, а иногда и ежедневно), то только использование подобных оценок позволяет определить сезонную и межгодовую изменчивость режима течений.

В некоторых случаях суммарное течение в прибрежной зоне или на устьевом взморье вызывается несколькими факторами (например, сток реки, ветер), действующими одновременно. В этом случае следует оценивать выборку течений параллельно по многолетним характеристикам двух-трех факторов. Удобно оценивать статистические данные о ветре и течениях в проекциях вектора на меридиан и параллель (в декартовой системе координат) или в проекциях на линию, параллельную берегу и перпендикулярную ему, так как составляющие ветра за длительный период вдоль определенного направления распределяются по нормальному закону. Этим целесообразно пользоваться, например, при расчете переноса вод вдоль берега.

8.5. Методы наблюдений за течениями

В прибрежной зоне моря стандартными горизонтами наблюдений за течениями являются 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250 и 300 м. При глубинах до 50 м стандартными горизонтами являются 0 – 2, 10, 15, 20, 25, 30, 40 и 50 м. Число горизонтов наблюдений на одной станции, как правило, должно быть не менее трех, при глубине 10 м – не менее двух, при глубине 4 м – один горизонт. Обязательно производятся наблюдения на придонном горизонте (на расстоянии 1 м от дна). Конкретное расположение станций, их количество и число горизонтов наблюдений на каждой из них, а также дискретность и продолжительность наблюдений полностью зависят от целей и задач исследований и местных гидрометеорологических условий.

Исследования гидродинамических процессов в Мировом океане основываются на прямых и косвенных методах измерения скорости потоков. Выбор того или иного метода измерения параметров течений и характеристик измерительной аппаратуры в первую очередь определяется целью исследований для необходимого диапазона масштабов и способа описания движения. В зависимости от этого используются измерения в фиксированной точке или разнесенные по пространству, выбирается количественный и качественный состав аппаратуры.

В настоящее время существует много способов измерений параметров течений, основанных на различных физических принципах. В соответствии с этими принципами можно выделить несколько основных методов измерений характеристик течений на различных глубинах, в поверхностном и придонном слоях: навигационный; поплавочный; гидродинамический (вертушечный); электромагнитный; термодинамический; акустический; оптический; вихревой; метод меток; электрохимический; неконтактный.

Навигационный метод долгое время был одним из самых распространенных методов наблюдений за течениями. Основные сведения о поверхностных течениях Мирового океана получены путем обработки массовых навигационных определений, заключающихся в сопоставлении счислимых и обсервованных мест судов. Счислимое место судна находится путем прокладки на карте ис-

тинного курса судна и пройденного расстояния по лагу. Обсервованное место определяется по данным наблюдений за небесными светилами при помощи секстана или применением радиометрических методов: радиопеленгования, радиолокации, спутниковой навигационной системы. Направление сноса определяется направлением вектора, соединяющего счислимое место с обсервованным, а скорость – путем деления расстояния между ними (S_T) на промежуток времени между обсервациями t

$$\bar{U}_T = \int_0^t \bar{U}_T dt / t,$$

где $\bar{U}_T$ – вектор течений:

$$U_T = \tilde{S}_T / t,$$

здесь S_T – вектор сноса течением за промежуток времени t .

Средняя квадратическая ошибка вычисленных характеристик течений складывается из соответствующих ошибок положения счислимых и обсервованных точек

$$\sigma_T = (1/t) \sqrt{\sigma_{сч}^2 + \sigma_{от}^2 + \sigma_{пр}^2},$$

где $\sigma_{сч}$, $\sigma_{от}$, $\sigma_{пр}$ – средние квадратические ошибки счисления и обсерваций в точках отшествия и пришествия соответственно.

При статистической обработке большого количества наблюдений (иногда их количество достигает нескольких тысяч) удается исключить неизбежные ошибки, связанные с несовершенством применявшихся в прошлом навигационных приборов и с неточностью метода.

Поплавочный метод измерения течений основан на определении положения в пространстве и во времени поплавков, движущихся с поверхностными водами в потоке. Для измерения характеристик течений используются различного типа поплавки, которые могут запускаться как на водную поверхность, так и на требуемую глубину (поплавки нейтральной плавучести). Скорость течений принимается равной скорости движения поплавка, определяемой по времени прохождения им определенного расстояния. Оно является осредненной для участка потока по траектории дви-

жения поплавка. Это допущение значительно упрощает определение скорости, хотя, как известно, тело, плывущее по течению, движется быстрее окружающих его частиц воды. Это объясняется наличием неуравновешенной проекции веса тела на ось движения. Рассмотрим силы, действующие на тело, плывущее в состоянии безразличного равновесия (рис. 8.1). Расположим центр тяжести тела в начале прямоугольной системы координат, а ось абсцисс направим по течению параллельно поверхности воды. Подъемная сила действует по нормали к водной поверхности, а ее проекция на ось движения равна нулю. Сила тяжести направлена вертикально вниз. Вес тела равен

$$P = \gamma V,$$

где γ – удельный вес; V – объем тела.

Проекция веса тела на ось движения

$$P_x = \gamma V \sin \alpha,$$

где α – угол наклона водной поверхности к горизонту.

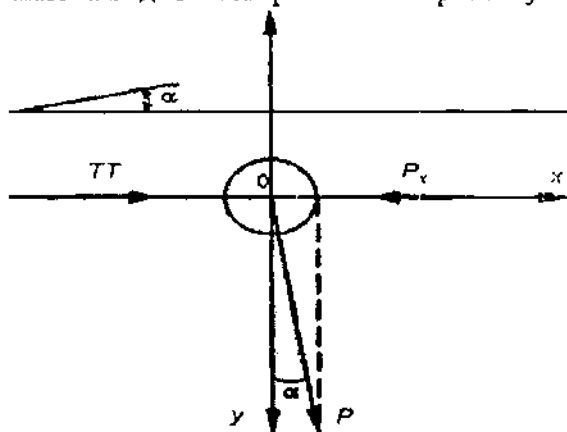


Рис. 8.1. Силы, действующие на тело, плывущее в состоянии равновесия.

Сила P_x вызывает ускорение плывущего тела, которое уменьшается за счет сопротивления воды. Поэтому тело, находящееся в потоке, приобретает скорость от нуля до значения, несколько превышающего скорость течения воды, т.е. пока сила сопротивления воды R не уравновесит движущую силу. Кроме того, на поплавок, находящийся на поверхности воды, воздействует ветер и вол-

нение. Поэтому габариты, плавучесть и загрузка буюв должны быть такими, чтобы их подводная парусность во много раз превосходила парусность надводной части для сведения к минимуму влияния ветра на движение бую.

Общей особенностью поплавочного метода является получение данных в такой в системе координат, когда за независимые переменные берутся начальные координаты x_0 и прошедшее с начального момента время $\tau_0 + \Delta\tau$. Текущие координаты определяются следующим образом:

$$x = (x_0, \tau_0 + \Delta\tau); x_0 = (x_0, \tau_0).$$

Скорость течения определяется как производная по времени от координаты:

$$U = (x_0, \tau_0 + \Delta\tau) = \frac{\partial}{\partial T}(x_0, \tau_0 + \Delta\tau).$$

$$x - x_0 = \int_{\tau_0}^{\tau_0 + \Delta\tau} U(x_0, \tau_0 + \Delta\tau) d\tau.$$

Исследование течений с помощью поплавков осуществляется двумя способами: непосредственное наблюдение за перемещением поплавков и массовое разбрасывание маркированных поплавков, подбираемых в последствии на побережье или другими судами (бутылочная почта).

При первом способе используются поверхностные поплавки, поплавки нейтральной плавучести, поплавки с подводными парусами, случайно плавающие предметы и т.п. Эти средства обладают свойствами (или снабжаются специальными устройствами) активного и пассивного действия, позволяющими определять их местоположение в любой момент времени с помощью судовых навигационных систем сопровождающего судна или системой спутникового слежения за дрейфом буюв.

Поплавки нейтральной плавучести обладают нулевой плавучестью в слое воды с определенной плотностью, что позволяет им дрейфовать в этом слое в течение длительного времени. Местоположение их определяется либо с судна, либо автономными акустическими станциями, либо специальной акустической системой,

позволяющей определять координаты поплавков на больших расстояниях. Последние получили название поплавков СОФАР по названию береговой системы станций для дальнего наблюдения источников акустических сигналов.

Гидродинамический метод основан на измерении давления, оказываемого потоком на находящееся в нем тело. Между скоростью течения и давлением, оказываемым потоком на тело, существует зависимость

$$P = \frac{1}{2} C_m \rho U^2 S_T,$$

где P – давление потока на тело; C_m – коэффициент, зависящий от формы тела и числа Рейнольдса; ρ – плотность воды; S_T – площадь проекции на плоскость, нормальную направлению потока.

Отсюда

$$U = \sqrt{2P / C_m \rho S_T},$$

т.е. измерив давление потока на тело, можно определить и скорость течения. Но этот метод в своем прямом приложении не нашел широкого применения, так как он обладает существенно нелинейной характеристикой преобразования в диапазоне скоростей течения 0,02 – 2 м/с.

Наибольшее распространение среди датчиков гидродинамического типа нашли, так называемые, вертушечные. Здесь в качестве чувствительного элемента используются: ротор Савониуса, лопастной винт (пропеллер), крылатки, крест Робинсона, винт Архимеда – причем чаще всего первые два типа. Принцип их действия основан на создании набегающим потоком воды гидродинамического момента на чувствительном элементе, приводящим к его вращению. Скорость вращения датчика пропорциональна скорости потока, и наблюдается практически линейная зависимость между скоростью потока и числом оборотов датчика (n), т.е. $U = f(n)$.

Опыт практического использования различных типов датчиков скоростей течения с учетом возможных колебаний из-за турбулентных и волновых воздействий показал, что наилучшими свойствами для измерения характеристик течений обладают реверсивные датчики. Этот тип датчиков автоматически исключает

компоненты скорости с периодами меньше, чем время экспозиции (время осреднения характеристик течения прибором). Нереверсивные датчики независимо от скорости и в некоторых случаях от направления потока вращаются только в одну сторону. Наиболее распространенными и наиболее простыми по конструкции реверсивными датчиками скорости являются различные виды пропеллеров. Из всех типов датчиков пропеллер и винт Архимеда обладают наименьшей инерционностью 0,5...10 с, начальная скорость их от 0,005 до 0,01 м/с и им необходимо ориентирование по потоку.

Ротор Савониуса и крест Робинсона обладают диаграммой направленности, близкой к круговой, т.е. им не нужно ориентирование по потоку. Они обладают такой же начальной скоростью, что пропеллеры, но до скорости 0,03 м/с имеют нелинейный начальный участок характеристики числа оборотов в зависимости от скорости потока. Ротор Савониуса, широко используемый в измерительных системах, подвержен биологическим обрастаниям и обладает заметным гистерезисом. На рис. 8.2 представлена реакция ротора на скачкообразные изменения скорости потока от 0 до 0,4 м/с и обратно.

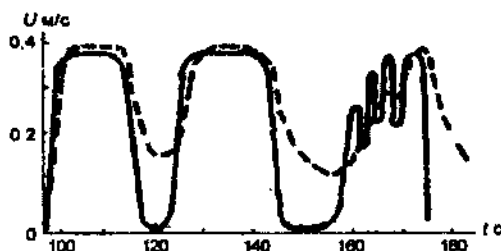


Рис. 8.2. Реакция ротора на скачкообразные изменения скорости потока.

Здесь сплошная линия — скорость потока, пунктирная — показания ротора. При резком снижении скорости потока, скорость вращения ротора уменьшается с большим запаздыванием, а при увеличении скорости показания ротора близки к изменению скорости потока.

Диапазон измерений скоростей течений датчиками вертушечного типа лежит в пределах 0,005 – 3 м/с. Погрешность измерений механическими вертушками определяется в основном качеством исполнения и в лучших образцах не превышает 5 %.

Для анализа уравнения движения лопастного винта, основанного на зависимости $U = f(n)$, можно использовать известный закон механики, сообщающий, что для вращающейся системы произведение момента механической инерции системы относительно оси вращения на угловое ускорение равно сумме моментов сил, действующих на систему. Для вертушки уравнение движения лопастного винта в общем виде представляется как

$$d\omega/dt = \sum_{i=1}^n M_i,$$

где ω – угловая скорость; $\sum_{i=1}^n M_i$ – сумма моментов сил, приложенных к лопастному винту:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_d - M_c = Md - M_r - M_t - M_p,$$

где M_d – движущий момент; M_c – момент сил сопротивления; M_r – момент сил гидродинамического сопротивления; M_t – момент сил трения в опорах; M_p – момент реакции регистрирующей системы.

Отсюда ясно, что точность измерений скорости течений зависит от плотности среды, условий обтекания, структуры и флуктуаций течения, т.е. зависимость нелинейна и количественно может быть оценена только при рассмотрении малых отклонений от установившегося состояния.

Рассмотрим зависимость $U = f(n)$ без учета силы трения в механизме прибора и гидродинамических сопротивлений при его обтекании. Найдем связь между n и U для пропеллеров, как наиболее распространенного типа, с горизонтальной и вертикальной осью вращения (рис. 8.3). За время dt частица жидкости, движущаяся параллельно горизонтальной оси вращения (рис. 8.3, а), переместится на расстояние $dl = Udt$. Эта же частица жидкости за то же время dt , встретив на своем пути лопасть пропеллера, переместится по окружности на расстояние $dl_k = 2\pi r n \cos\alpha$, где r – расстояние от центра лопасти до оси вращения; α – угол наклона лопасти к плоскости, перпендикулярной оси вращения. В первом приближении $dl = dl_k$, поэтому

$$Udt = 2\pi r n \cos \alpha,$$

или

$$U = 2\pi r n \cos \alpha / dt.$$

Примем

$$2\pi r \cos \alpha / dt = K_r$$

и получим

$$U = K_r n,$$

где K_r — геометрический шаг лопастного винта. Геометрический шаг в основном определяет чувствительность преобразования S :

$$S \approx K_r(1 - S_n),$$

здесь S_n — так называемое скольжение, изменяющееся для различных конструкций винтов от 0,2 до 0,6.

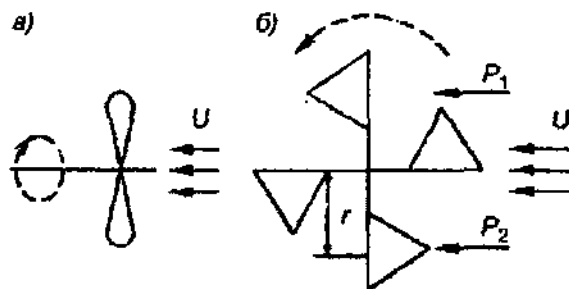


Рис. 8.3. Схема устройства с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения.

Работа чашечного ротора (рис. 8.3, б) обусловлена различием в коэффициентах сопротивления его чашек. Гидродинамическое давление, оказываемое потоком на чашки, обращенные своей внешней поверхностью к потоку, равно

$$P_1 = 0,5K_1\rho S(U + U_c)^2,$$

а на чашки, обращенные внутренней поверхностью к потоку,

$$P_2 = 0,5K_2\rho S(U - U_c)^2,$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты сопротивления чашек, причем $K_1 < K_2 < S$ — площадь проекции чашки; U_c — линейная скорость движения центра чашки.

При установившемся вращении лопастного винта $P_1 = P_2$, следовательно:

$$K_1 (U + U_q)^2 = K_2 (U - U_q)^2.$$

Экспериментальные исследования чашек различных форм и размеров (по данным Л.Г. Качурина) показали, что гидродинамические коэффициенты сопротивления существенно зависят от форм и размеров чашек, но в любом случае их отношение остается примерно постоянным, близким к значению $K_1/K_2 \approx 4$, а коэффициент лопастного винта $\sigma = U/U_q = U/(r\omega)$, где ω – угловая скорость при установившемся движении чашек без трения, примерно равен 3. Это соотношение используется при приближенном расчете параметров ротора как чашечного типа, так и винтового. Экспериментом также доказано, что в турбулентном потоке реальная вертушка в среднем завышает скорость, при этом тем больше, чем сильнее пульсация течения.

Анализ графика зависимости $U = f(n)$ (рис. 8.4) позволяет сделать следующие выводы. Под влиянием гидродинамических и механических сопротивлений функция $U = f(n)$ принимает вид кривой (2). Наиболее заметно отклонение кривой (2) от линии (1), являющейся ее асимптотой при малых скоростях. Полуэмпирическое уравнение в форме гиперболы, охватывающее весь диапазон работы вертушек, имеет вид:

$$U = an + \sqrt{bn^2 + c}, \quad (8.1)$$

где a, b, c – параметры, определяющие работу вертушки и гидродинамические условия.

При $n = 0$ $U = \sqrt{c} = U_0$ – отрезок на оси U , определяющий точку, в которой начинается кривая 2. В случае когда $U_0 \ll U$, выражение (8.1) можно записать как

$$U = (a + \sqrt{b})n,$$

где учитывается не только геометрия лопастного винта, но и сопротивление его движению.

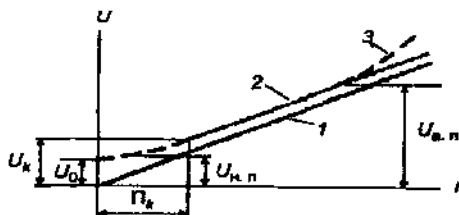


Рис. 8.4. Зависимость между числом оборотов лопастного винта вертушки (n) и скоростью течения жидкости (U): 1 – без учета сопротивления; 2 – с учетом сопротивления; 3 – при высоких скоростях течения жидкости.

Основными рабочими характеристиками вертушек являются:

- начальная скорость U_0 – наименьшая скорость набегающего на вертушку потока, при которой начинает неравномерно вращаться ее лопастной винт;

- нижний предел применимости вертушек – скорость $U_{н.п.}$, выше которой и рекомендуется использование вертушек (рис. 8.4). При скоростях от U_0 до $U_{н.п.}$ показания вертушек неустойчивы, ввиду чего погрешности измерений в этом пределе могут быть значительными ($\geq 10\%$);

- критическая скорость U_k – скорость потока, выше которой влияние механических сопротивлений на число оборотов лопастного винта становится стабильным и незначительным, т.е. при $U \geq U_k$ $dU/dn = \text{const}$. В докритической области на показания вертушек существенно влияют износ подшипников, попадание твердых частиц в механизм прибора и т.п.;

- верхний предел использования вертушек – скорость $U_{в.п.}$, выше которой не всегда можно рекомендовать применение вертушек. При исследовании функции $U = f(n)$ в воздушном потоке оказалось, что при больших скоростях потока нарушается зависимость (8.1);

- инерционность вертушек – способность их лопастного винта изменять свою скорость вращения соответственно изменению скорости потока.

При измерении датчиками вертушечного типа сложной картины течений, возникающей из-за воздействия ветровых и внутренних волн, вихревых течений и турбулентности на стационарный поток, возникает значительная погрешность. Кроме того, методика измерений течений на АБС или с борта судна не позволяет

фиксировать прибор в определенной точке пространства. Перемещения прибора на тросе с несущим бумом и с судном датчик регистрирует как изменение скорости. Это приводит к появлению погрешностей, особенно проявляющихся при нахождении прибора в слое воды, в котором сказывается влияние ветрового волнения.

При измерении характеристик течения реверсивными датчиками (пропеллер, винт Архимеда) требуется их ориентирование по потоку, т.е. их ось вращения должна совпадать с генеральным направлением течения. Для достижения этой цели используется развитое хвостовое оперение, устанавливаемое на самом корпусе прибора, на котором неподвижно закреплен чувствительный элемент. Такая система используется в измерителях течения типа ВММ, БПВ, ДИСК, «Поток» и т.д. В последнее время для решения этой задачи стали использовать двухкомпонентную систему преобразователей скорости течения. В таких приборах используют два пропеллера, оси вращения которых располагаются перпендикулярно друг к другу. В результате один из них измеряет одну U_1 , а другой – вторую, ортогональную составляющую U_2 скорости течения. Отсюда истинная скорость U будет:

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}.$$

Подобные двухкомпонентные системы используются в измерителях АЦИТ, VMCM и др.

В океанологической практике нашли широкое применение микровертушки с индуктивным или резистивным преобразователями выходного сигнала. Они обычно используются для измерения мгновенных скоростей потока в диапазоне 0,04 – 10 м/с с погрешностью 2 – 5 % и постоянной времени 0,01 – 0,2 с. Вертушкой с индуктивным преобразователем, характеризующаяся сравнительно высокой стабильностью и чувствительностью измеряют скорость в диапазоне 0,1 – 2 м/с с погрешностью 3 %. Диаметр лопастного винта у такой вертушки – 10 мм. Специальный цифровой преобразователь воспринимает импульсы, амплитуда которых пропорциональна скорости вращения ротора. Измеритель пульсации скорости потока с микровертушечным датчиком регистрирует среднюю скорость и ее медленные пульсации. Диапазон частот,

охватываемый измерителем, находится в пределах 9 – 12,5 Гц при скорости потока 1 м/с и определяется постоянной времени самого датчика. Подобные измерители пульсаций скорости имеют линейную градуированную характеристику и отличаются конструктивной и структурной простотой, а также надежностью.

Электромагнитный метод основан на том, что в потоке морской воды, пересекающем магнитные силовые линии, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости перемещения частиц воды относительно магнитного поля. Величина наведенной ЭДС (E), согласно закона Фарадея, будет:

$$E = BLU \cos \alpha 10^{-8},$$

где B – магнитная индукция; L – расстояние между электродами (база измерения); U – скорость движения воды; α – угол между направлениями потока и магнитным полем.

В качестве магнитного поля используются как вертикальная составляющая магнитного поля Земли, так и искусственно созданное постоянное или переменное магнитное поле. Учитывая, что скорость распространения электромагнитных волн соизмерима со скоростью света, то электромагнитные измерители скорости течения являются практически безынерционными, и их частотные свойства в верхнем диапазоне частот определяются, в основном, пространственной разрешающей способностью датчиков, т.е. в принципе, с их помощью можно измерять средние и пульсационные значения скорости. При этом значение ЭДС определяется путем измерения разности потенциалов между двумя электродами, расположенными в магнитном поле по линии, перпендикулярной векторам магнитной индукции и скорости потока.

При измерении течений в поверхностном слое воды можно использовать естественное магнитное поле Земли. В этом случае проводником, в котором индуцируется ЭДС, будет являться морская вода и одновременно участок кабеля между двумя неполяризуемыми электродами, буксируемый за судном. А величину этой ЭДС можно представить как

$$E = LUH_z,$$

где H_z – вертикальная составляющая магнитного поля Земли.

Для получения истинных значений скорости и направления течения они определяются по проекциям с судна на двух взаимно перпендикулярных галсах. Но этот метод, несмотря на свою простоту, не получил широкого распространения из-за трудности интерпретации результатов измерений. В подобных измерителях скорость течения и выходной сигнал связаны сложной зависимостью, в которой задействованы глубина, вертикальный профиль скорости, электропроводимость грунта дна (при небольших глубинах), положения буксируемых электродов. На результаты измерений также оказывают влияние и магнитные возмущения. Все эти факторы трудно поддаются учету. Точность таких измерителей обычно не превышает 20 – 30 %.

Многие трудности можно преодолеть, если измерение скорости течения проводить в искусственном магнитном поле, индуцируемым катушками подмагничивания или создаваемого постоянным магнитом. Принципиальная схема подобных измерителей, предложенная еще самим Фарадеем, имеет вид, представленный на рис. 8.5.

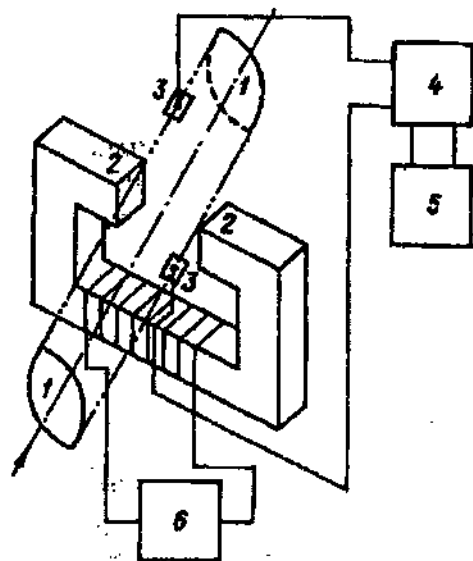


Рис. 8.5. Принципиальная схема электромагнитного измерителя скорости потока:
 1 – поток; 2 – полюса магнита; 3 – электроды для съема ЭДС;
 4 – усилитель постоянного тока; 5 – регистратор; 6 – блок питания.

Использование постоянного магнитного поля осложнено поляризацией электродов, особенно при измерении низкочастотных составляющих потока. Применение переменного магнитного поля позволяет избежать поляризации, а также использовать емкостные электроды, не имеющие непосредственного контакта с водой. Пороговая чувствительность подобных измерителей составляет 10^{-3} – $3 \cdot 10^{-3}$ м/с, а частотный диапазон охватывает несколько килогерц. Их динамический диапазон в основном зависит от гидравлической характеристики датчика, определяемой его формой.

Измерители с искусственным магнитным полем могут быть однокомпонентными и двухкомпонентными. При этом в первом случае измеритель должен быть ориентирован по потоку. Во втором случае измеритель включает в себя обтекаемый корпус (шар, диск, цилиндр) из изоляционного материала, катушку возбуждения магнитного поля и две пары электродов, расположенных с противоположных сторон. В случае когда поток совпадает с линией, проходящей через два противоположных электрода, наводимая на них ЭДС равна нулю, а на противоположных имеет наибольшее значение. Если поток направлен под углом к осям координат, проходящим через электроды, то ЭДС, измеряемая обеими парами электродов, будет пропорциональна проекциям модуля скорости и прибор позволит измерять мгновенные значения скорости.

Аппаратура подобного типа позволяет производить измерения средней скорости течения в диапазоне 10^{-2} м/с – 10 м/с, мгновенной скорости в диапазоне 10^{-3} – $4 \cdot 10^{-1}$ м/с в частотном диапазоне 1 – 40 Гц, при уровне собственных шумов в пределах $8 \cdot 10^{-4}$ м/с. Погрешность измерения составляет 3 % при постоянной времени не более 1 с. Основным препятствием к использованию измерителей скорости течений, использующих переменное магнитное поле, является сравнительно большое потребление энергии.

Термодинамический метод основан на зависимости теплообмена между измерительным зондом и средой от значения скорости течения. В этом случае используется либо теплопередача от зонда к потоку (термоанемометр), либо от зонда к зонду через поток. Термодинамический метод используется в основном для исследования пульсационных характеристик течений. Между зондом, введенным в поток, и водной средой устанавливается теплообмен,

интенсивность которого в основном зависит от скорости течения. Впервые эта зависимость была использована для прибора, измеряющего скорость ветра (термоанемометр Кинга, 1913 г.). Затем принцип теплообмена был использован для измерения скорости водного потока.

Наибольшее распространение в океанологической практике нашли проволочные, пленочные и гидрорезисторные термоанемометры. В качестве чувствительного элемента (ЧЭ) проволочного датчика используется тонкая (диаметром 2 – 10 мк) нить из платины или сплава платины с иридием и вольфрамом. По принципу работы различают термоанемометры постоянного тока и постоянной температуры. В первом случае электрический ток поддерживается постоянным, при этом температура, а следовательно, и электрическое сопротивление изменяются в зависимости от пульсационной скорости. Во втором случае постоянным остаются температура, а значит, и сопротивление, при этом изменяющейся величиной является электрический ток. Здесь ЧЭ можно включить в мостовую схему (рис. 8.6). Второй способ наиболее распространен в океанологии.

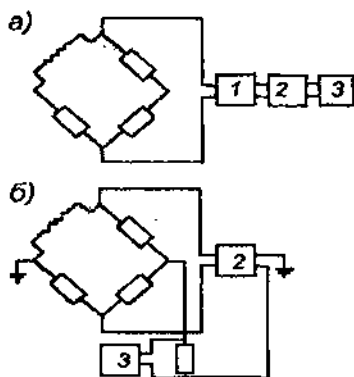


Рис. 8.6. Блок-схемы термоанемометров: а – постоянного тока; б – постоянной температуры: 1 – коммутатор; 2 – усилитель; 3 – регистратор.

В поток помещают ЧЭ в виде нити и пропускают через нее ток, нагревающий ее. В потоке нить охлаждается в зависимости от скорости потока, что изменяет ее электрическое сопротивление. Пусть нить перпендикулярна потоку, жидкость несжимаема, раз-

ность температуры нити бесконечно мала, число Прандтля постоянно, тогда количество тепла, теряемого нитью в единицу времени (Q), оценивается уравнением Кинга

$$Q = L\Delta T \left(k + \sqrt{2\pi k r c_p U d} \right),$$

где L – длина нити; $\Delta T = T_n - T$; T_n – температура нити; T – температура воды в потоке; k – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность воды; c_p – коэффициент теплоемкости; d – диаметр нити.

В безразмерной форме эта зависимость примет вид

$$Nu = A \sqrt{Re} + B,$$

где A и B – const; $Nu = Q/(\pi L k \Delta T)$ – число Нуссельта; $Re = U \rho d / \mu$ – число Рейнольдса.

Тепло, теряемое нитью, компенсируется электроподогревом, который контролируется и служит средством измерения количества этого тепла. В практических расчетах потерю тепла находят из уравнения теплового равновесия:

$$I_E^2 R = S \alpha \Delta T,$$

где I_E – ток через ЧЭ с сопротивлением R ; S – площадь поверхности охлаждаемого тела; α – коэффициент теплопередачи, являющийся функцией скорости потока, показатель теплового воздействия среды на тело. Для проволочных датчиков

$$\alpha = c(k_c/d)d^m (1/\nu^m)U,$$

где c и m – коэффициенты, зависящие от числа Рейнольдса и геометрических размеров датчиков; ν – коэффициент молекулярной вязкости. Для скорости потока до 80 м/с $k_c = 0,015 - 0,03$; $c = 0,82$ и $m = 0,64$.

В современных термоансмометрах вместо проволоки широко используется платиновая пленка, наносимая тонким слоем на подложку из кварцевого стекла в виде конуса или клина. Проходящий через пленку ток, поддерживаемый постоянным, нагревает ее и создает определенную разность температур между датчиком и окружающей средой. В воде эта разность обычно составляет 10 – 20 °С.

Термоанемометры пленочного типа отличаются малым уровнем шумов. Среднеквадратичный уровень шумов, приведенный к единице скорости, в диапазоне частот от 1 до 250 Гц составляет $12 \cdot 10^{-5}$ м/с.

В другом типе термоанемометрического измерителя используется гидрорезисторный датчик, ЧЭ которого является объем воды, заключенный между центральным (точка диаметром 0,5 мм) и кольцевым (диаметр до 9 мм) электродами. Electroды расположены на полусферической поверхности и включены в схему измерительного генератора, обеспечивающего передачу через пространство между электродами мощности, достаточной для нагрева измерительного объема. Этот объем нагревается непрерывно, и изменение температуры некоторого эквивалентного объема воды вблизи точечного электрода вызывает соответствующее изменение электропроводимости. Изменение добротности измерительного генератора при флуктуациях электропроводимости объема воды между электродами модулирует амплитуду напряжения на выходе измерительного генератора. Таким образом, амплитудная модуляция этого напряжения содержит в себе информацию о скорости набегания потока на ЧЭ датчика, включая пульсации набегающего потока. Минимальный размер пульсаций, измеряемых подобной аппаратурой, составляет около $2 \cdot 10^{-3}$ м/с. Подобный датчик обладает широким частотным диапазоном (1...1000 Гц). Подобно термоанемометрическим измерителям с пленочным ЧЭ, гидрорезисторные датчики помимо пульсаций скорости потока одновременно могут измерять пульсации температуры и в меньшей степени пульсации электропроводимости.

С помощью термоанемометров при скоростях набегающего потока до $3 \cdot 10^{-1}$ см/с удастся получить чувствительность $7 \cdot 10^{-4}$ м/с. Приборы подобного типа могут измерять скорости течений в широких пределах от 0,01 до 0,15 м/с с погрешностью 2 – 5 %, а их информативность в принципе не зависит от средней скорости потока. К недостаткам термоанемометров следует отнести: нелинейность градуировочной характеристики; влияние геометрических размеров датчиков на результаты измерений; зависимость результатов измерений от возможностей коррозии, обрастания, поляризационных эффектов и тому подобных причин, что понижает на-

дежность термоанемометров и ограничивает иногда до нескольких часов время их использования.

Акустические методы измерения характеристик течений начали использоваться в океанологии где-то с середины 60-х гг. Акустические методы обладают высокой точностью и чувствительностью, что особенно важно при исследовании процессов турбулентности и малых скоростей течений. Большинство акустических методов основано на принципе измерения скорости прохождения ультразвука в морской воде, ибо скорость его распространения относительно прибора включает в себя и составляющую скорости движения исследуемой среды, вектор которой совпадает с вектором движения звуковой волны. Известно, что в турбулентном потоке, а это обычная картина для Мирового океана, существуют как флуктуации самой среды, так и, например, неоднородности температуры и различных концентраций. А температурные неоднородности, вызывающие колебания скорости звука, могут на порядок изменить измеряемую величину. Поэтому измерение скорости звука в одном направлении в океанологической практике из-за возникающих погрешностей малоэффективно и вызывает необходимость для сведения к минимуму влияния колебаний скорости звука на точность измерения скорости потока использовать приборы, измеряющие разность времени прохождения ультразвука между излучателем и приемником, движущегося в противоположных направлениях. А для исследования мелкомасштабной турбулентности регистрируется сдвиг частоты акустических колебаний за счет различных неоднородностей среды – метод Доплера.

В измерителях подобного типа обычно применяют как минимум двух- или даже трехкомпонентные датчики скорости. Схема устройства двухкомпонентных датчиков приведены на рис. 8.7. На рис. 8.7, а прибор ориентирован таким образом, что направление передачи акустического сигнала осуществляется параллельно направлению измеряемого сигнала (1). Один датчик [излучатель – (2), приемник – (3)] измеряет сумму скоростей звука и потока, а другой – разность между этими двумя скоростями. Но в этом случае возможно несоответствие во времени задержки в измерительных схемах и изменение линейных размеров измерительных баз. Так, например, изменение базы между излучателем и прием-

ником длиной 40 мм на 10^{-3} мм эквивалентно изменению скорости течения на $2 \cdot 10^{-2}$ м/с. Поэтому в измерительных приборах используются акустические системы с одной парой излучатель-приемник. В одном цикле измерения первый преобразователь является излучателем, а второй – приемником, в следующем – наоборот (рис. 8.7, в).

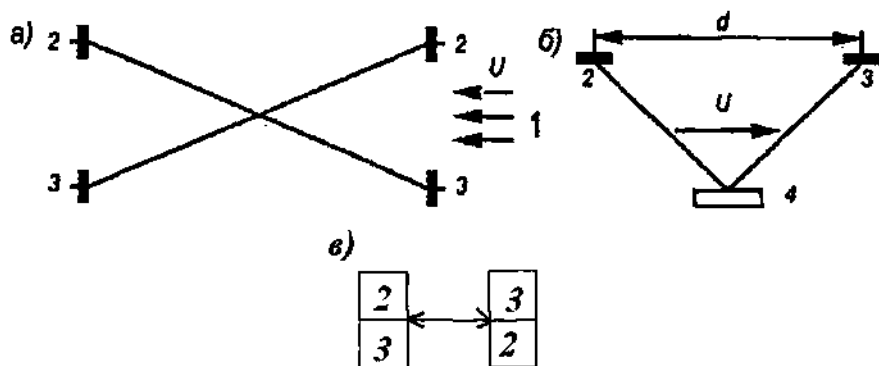


Рис. 8.7. Схемы устройства двухкомпонентных датчиков.

Экспериментальные исследования различных конструкций акустических датчиков скорости потока (по И. С. Ковчину) показали, что их выходные сигналы в основном соответствуют косинусной диаграмме направленности при угле между направлениями акустических сигналов и водного потока не менее 25° . Поэтому направление акустических сигналов принудительно ориентируют под углом 45° к направлению измеряемой составляющей скорости, для чего используют (рис. 8.7, б) акустические отражатели (4), например, из титанового сплава.

Подобная схема используется в конструкции акустического преобразователя измерителя течений АСМ-2. В качестве приемопередатчиков обычно используются пьезоэлектрические пластины. Так, в АСМ-2 они имеют диаметр 9,5 мм и высоту 1 мм. Пьезоэлектрические дисковые преобразователи размещены на концах литых алюминиевых кронштейнов на расстоянии $d = 11$ мм. Собственный резонанс такой конструкции близок к несущей частоте $f_{\text{изл}} = 1,605$ МГц.

Рассмотрим принцип действия подобной аппаратуры. Пусть c – скорость распространения ультразвука в неподвижной среде; U – скорость течения; T_1 и T_2 – время прохождения импульса по и против течения соответственно на расстоянии базы L между излучателем и приемником. Тогда

$$T_1 = L/(c + U), \quad T_2 = L/(c - U), \quad (8.2)$$

а разность времени прохождения сигнала в разных направлениях

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2LU/(c^2 - U^2)$$

является функцией c и U . При $c = \text{const}$ значение ΔT однозначно определяет U . Но в реальных условиях скорость звука непостоянна и зависит от внешних факторов (температура, соленость морской воды и т.д.). Кроме того, для получения достаточной точности определения скорости потока необходимо измерять временные задержки с погрешностью не хуже $\pm 10^{-9}$ с. Для избежания подобных явлений удобнее перейти от уравнения для приращения времени ΔT к уравнению для частоты принимаемых ультразвуковых сигналов. Сообразуясь с (8.2), имеем

$$f_1 = 1/T_1 = (c + U)/L, \quad f_2 = 1/T_2 = (c - U)/L,$$

где f_1 и f_2 – частоты сигналов распространившихся по и против течения соответственно.

Отсюда

$$\Delta f = f_1 - f_2 = 2U/L. \quad (8.3)$$

Выражение (8.3) подчеркивает однозначную зависимость разности частот Δf от скорости потока U и лежит в основе частотного метода измерения скорости распространения ультразвука. Быстродействие прибора определяется необходимой точностью измерений. При отсчете разности частот через 1 с чувствительность измерений скорости составляет $4 \cdot 10^{-2}$ м/с. Уменьшая дискретность опроса или увеличивая выходную частоту, можно повысить чувствительность. Объединив в одном устройстве несколько подобных измерителей, можно одновременно измерить различные составляющие скорости. Чувствительность, достигнутая в этих приборах, составляет $f = 200$ кГц; $df/dU = 300$ Гц/см·с⁻¹.

При использовании фазовых методов измеряется разность фаз (время прихода) двух встречных акустических импульсов. Если φ_1 и φ_2 – разности фаз между опорным сигналом, снимаемым с генератора, и сигналами, прошедшими по течению и против него соответственно, то

$$\varphi_1 = \omega L / (c + U), \quad \varphi_2 = \omega L / (c - U),$$

или

$$\varphi_1 = \omega L / c + \omega UL / c^2, \quad \varphi_2 = \omega L / c - \omega UL / c^2,$$

а для разности фаз получим

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\omega UL / c^2,$$

где $\omega = 2\pi f$, т.е. чувствительность преобразователя, основанного на измерении скорости распространения ультразвука фазовым методом пропорциональна частоте ω .

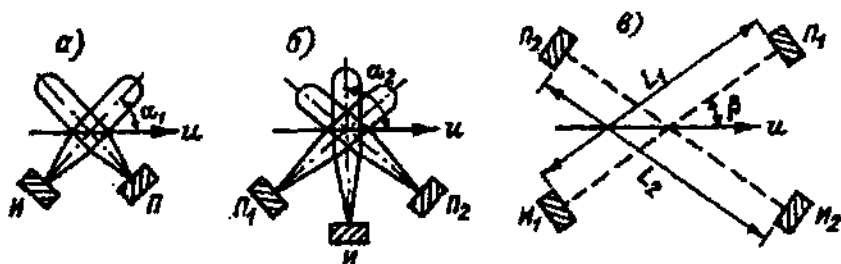


Рис. 8.8. Схемы доплеровских преобразователей.

Широко используются и акустические измерители характеристик течения, основанных на измерении доплеровского сдвига частоты излученных колебаний. Эффект Доплера заключается в том, что отраженный от перемещающегося объема воды, содержащего в себе множество неоднородностей и различных включений, ультразвуковой сигнал имеет частоту, отличную от излучаемой. Доплеровские преобразователи включают в себя акустические излучатели (И) и приемники (П) с узконаправленными характеристиками. Различные варианты расположения излучателей и приемников в доплеровских измерителях представлены на рис. 8.8. На пересечении акустических лучей и находится объем воды, от которого отраженный сигнал поступает на приемник. Считается, что рассеиватели в рабочем объеме воды, включая планктон, взве-

си и газовые пузырьки, соизмеримы или больше по размеру длины волны ($\lambda = 0,15$ мм) и их количество достаточно велико. Они стационарны относительно потока и перемещаются вместе с ним. Поэтому отраженный сигнал несет в себе информацию о скорости потока. Оптимальный диапазон частот в доплеровских измерителях лежит в полосе 2 – 10 МГц.

Затухание сигнала на частоте 10 МГц составляет 20 дБ/м. Использование высоких частот позволяет повысить разрешающую способность измерителя, а также формировать узконаправленные акустические лучи, используя малогабаритные излучатели. Рабочий объем воды располагается на расстоянии 30 – 60 см от излучателя, что исключает внесения искажений в рабочий объем воды корпусом прибора. Сигнал доплеровской частоты проявляется в виде амплитудной модуляции несущей частоты.

Рассматривая расположение датчиков, представленных на рис. 8.8, в, с учетом соотношения векторов скорости течения и распространения акустического сигнала, сообразуясь с выражением (8.3), можно записать

$$f_D = f' - f = [(c + U \cos \beta)/L_1 - (c - U \cos \beta)/L_2],$$

или

$$f_D = U(L_1 + L_2) \cos \beta / (L_1 L_2),$$

где f_D – доплеровский сдвиг частоты; f' – частота принимаемого сигнала; f – частота излучаемого сигнала; β – угол между вектором скорости потока и направлением излучатель-приемник.

Для реально достижимой точности $L_1 = L_2 = L$ и при незначительных изменениях c можно считать

$$c(L_2 - L_1)/(L_1 L_2) = 0,$$

отсюда

$$f_D = (2U/L) \cos \beta,$$

т.е. скорость течения U однозначно определяется f_D .

Основным достоинством акустических преобразователей является их высокая чувствительность и точность, а также практическая безынерционность и надежность. Однако гидродинамический шум часто ограничивает применение акустических преобразовате-

лей, особенно если пространственный масштаб измеряемых неоднородностей поля скорости соизмерим с масштабом турбулентных искажений, возникающих при обтекании измерителя. Акустические преобразователи позволяют измерять скорость течения в диапазоне $10^{-2} - 5$ м/с. Нелинейность во всем диапазоне составляет около 1 %. Так как преобразователи практически безынерционны, они могут быть использованы для измерения как средних, так и пульсационных скоростей течения.

Оптические методы измерения скорости течения подразделяются на доплеровский и фазовый. Для измерения скорости потока и ее изменений во времени используются как искусственное, в виде лазерных или обычных электрических источников света, так и собственное излучение.

Доплеровский метод (см. рис. 8.8, а, б) дает возможность получить частотное разрешение, что позволяет измерять скорости порядка мм/с. Он описывается уравнением

$$f' = f[\sqrt{1 - U^2/c^2}/(1 - U/c)n \cos \alpha],$$

а после преобразования с учетом малости величин получим

$$f' = f(U/c)nc \cos \alpha,$$

где f и f' – частоты излучения и принимаемого сигнала соответственно; U – скорость потока; c – скорость света; n – показатель преломления света; α – угол между вектором скорости и линией наблюдения.

Фазовый оптический метод измерения скорости течений включает в себя известный принцип сдвига интерференционной картины. Разность хода ΔL в длинах волн λ определяется как

$$\Delta L = 2LUx_L n^2 c / [\lambda(c^2 - n^2 U^2)] \approx 2LU(n^2 - 1)/(\lambda c),$$

где L – длина оптической базы; $x_L = 1 - 1/n^2$; n – коэффициент преломления света.

Особенностью оптических измерителей является большая чувствительность к изменениям коэффициента преломления света, а значит, и к плотности морской воды. Оптические измерители, используя свою высокую частоту излучения, в принципе, могут

иметь достаточно высокую разрешающую способность и чувствительность, но относительная погрешность и различные паразитные эффекты аналогичны акустическим измерителям. Кроме того, в них еще возникают большие трудности регистрации и анализа изменяющихся по амплитуде доплеровских сигналов излучения. Следует заметить, что частотный диапазон в спектре течений оптических измерителей оказывается практически неограниченным.

Вихревые методы измерения скорости течений основаны на регистрации последовательности вихрей, возникающих при обтекании различных тел в потоке жидкости, так называемых, дорожек Кармана. Регулярные вихри образуются в области чисел Рейнольдса 60 – 5000, при этом частота образования вихрей f прямо пропорциональна скорости течений:

$$f = (St h/d)U,$$

где d – диаметр обтекаемого тела; St – число Струхала.

Для $Re < 60$ течение позади тела ламинарное, для $Re > 5000$ – турбулентное.

Для измерения вихреобразований используют термодатчики и датчики давления. В последнее время широко используется метод модуляции вихрями акустического и лазерного луча. К недостаткам подобных измерителей относится довольно высокий низкий предел применимости 5 – 10 см/с, а также их критичность к горизонтальному положению, так как частота образования вихрей зависит от вращения измерителя в горизонтальной плоскости, что может занижать результаты измерений на 20 – 25 %.

Метод меток основан на измерении времени переноса потоком определенного, обычно малого, объема – метки с помощью соответствующих приборов. Метки могут быть как искусственными, так и естественно существующими в потоке. Они могут состоять как из микрочастиц (атомов, молекул или ионов), так и макрочастиц, находящихся во взвешенном состоянии в исследуемой среде. Метка может отличаться от окружающей среды температурой, степенью ионизации, зарядом, плотностью, светимостью, коэффициентом преломления, поглощательной способностью, радиоактивностью и т.п.

Погрешность измерения скорости методом меток складывается из погрешности определения времени и пути прохождения меток и погрешности, возникающей в случае отличия скорости движения метки от скорости потока. Если используются искусственные метки, к этим составляющим добавляется погрешность за счет искажения потока самой меткой. Учитывая, что две первые погрешности сравнительно малы, а третью можно надежно оценить, метод меток довольно перспективен для создания образцовых средств измерения характеристик скорости течения.

Электрохимический метод основан на воздействии потока морской воды, смывающего пузырьки газа, возникающие в процессе электролиза. При этом уменьшается и сопротивление электрической цепи. На входные характеристики подобной системы оказывает влияние изменение формы электродов, участвующих в реакции, и диафрагм, окружающих электроды. Эта зависимость делает возможность проводить измерения направления вектора скорости течения при использовании множества электродов. Постоянная времени данных электрохимических ячеек составляет обычно секунды и десятки секунд и в значительной мере зависит от скорости потока. На погрешность измерений оказывают влияние температура, соленость морской воды и гидростатическое давление.

Неконтактные методы дают возможность получать практически синхронную картину распределения течений на больших акваториях за короткий период времени. Использование аэрокосмических методов в сочетании с судовыми наблюдениями и наблюдениями на АБС позволяет получить наиболее полную картину течений и их изменений во времени и пространстве. При изучении характеристик течений аэрокосмическими методами используются разные косвенные методы: от регистрации положения температурных фронтов, уклона уровня, полей цветности до маршрутных аэрофотосъемок положения различных видов поплавков с последующим фотограмметрическим вычислением векторов течений и получения информации с дрейфтеров.

8.6. Измерение направления течений

Для определения ориентации измерителей течения в пространстве в океанологической практике обычно используют маг-

нитный метод, базирующийся на измерении угла между направлением магнитного меридиана и направлением горизонтальной составляющей вектора скорости течения. Угол поворота компасной картушки относительно азимутального кольца фиксируется с помощью механических, электромеханических, потенциометрических, феррозондовых, фотоэлектрических и других преобразователей, способных модулировать значение угла поворота в аналоговый или цифровой код.

В этом случае, особенно при использовании однокомпонентных датчиков скорости потока, возникает необходимость ориентирования корпуса прибора с находящимся в нем датчиком направления по потоку. Для достижения подобного эффекта в конструкции подобных приборов предусматривается установка рулей и направляющих плоскостей, площади которых зависят от необходимых постоянной времени и чувствительности измерителя к изменению направления потока. Но при таком определении направления течения возникают значительные методические погрешности, которые могут возникнуть из-за неточности установки корпуса прибора по потоку. Гидродинамическую силу F_p (по И. С. Ковчину), воздействие которой на рули разворачивает прибор, можно определить как

$$F = 0,5 U^2 \rho S_p C_p \sin \varphi,$$

где ρ – плотность воды; S_p – площадь рулей; C_p – коэффициент лобового сопротивления рулей; φ – угол между направлением течения и диаметральной плоскостью корпуса прибора.

Эта зависимость показывает, что при уменьшении угла φ гидродинамическая сила уменьшается по синусоидальному закону (не линейно), что в результате может привести к возникновению зоны нечувствительности к направлению течения. Возникающая при этом погрешность определения направления достигает довольно значительных значений. Но несмотря на это, благодаря своей простоте, данный способ до сих пор широко используется во многих измерителях.

В некоторых измерителях скорости потока, особенно в тех, которые не требуют ориентирования по потоку (ротатор Савониуса, крест Робинсона), для определения направления, как правило, ис-

пользуется не связанный жестко с корпусом флюгерный датчик. По положению такой флюгарки судят об угле расположения вектора течения (φ) относительно приборной системы координат, положение которой в пространстве определяется магнитным компасом. Учитывая, что масса флюгарки гораздо меньше, чем собственно масса прибора, то погрешность флюгарного датчика будет не более $\pm(1 - 2)^\circ$. Обычно информационный канал между флюгаркой и самим прибором осуществляется с помощью магнитной муфты. Следует отметить, что в этом случае могут возникнуть дополнительные погрешности, вызванные несогласованностью характеристик флюгарки с датчиком скорости, с рулевым оперением корпуса и т.п.

В последнее время все более широкое применение находят измерители с двухкомпонентными датчиками скорости течения из-за своих преимуществ в отношении точности измерения направления течения. В этом случае угол ориентации (φ) вектора скорости потока (U) относительно приборной системы координат однозначно определяется через отношение измеренных ортогональных компонентов U_1 и U_2 этого вектора как

$$\varphi = \arctg(U_2/U_1),$$

если угол φ отсчитывается относительно направления, совпадающего с направлением компонента U_1 . Но и здесь положение приборной системы относительно магнитного меридиана измеряется с помощью магнитных компасов.

В океанологической практике наибольшее распространение нашли механические и феррозондовые магнитные компасы – датчики азимутального угла расположения корпуса прибора. В качестве механических компасов, как правило, используются потенциометрические компасы и компасы с кодовыми масками. Первые из них преобразуют значение азимутального угла в аналоговый электрический сигнал, а вторые – в цифровой код.

Потенциометрический компас представляет собой проволочный реохорд, скользящий электрод которого укреплен на картушке и в момент измерения с помощью соленоида прижимается к реохорду. При использовании потенциометрического преобразователя компасную картушку можно также поместить в раствор элек-

тролита. Такой компас состоит из котелка, заполненного электролитом (спиртовой раствор с добавкой солей хлористого натрия и формалина) и плавающей внутри котелка компасной картушки. Жидкостной преобразователь угла поворота картушки в электрический сигнал является линейным потенциометром, т.е. угловое положение картушки будет пропорционально выходному сигналу датчика. Недостатком первого типа является недостаточная надежность механического контакта скользящего электрода с проводочным реохордом, деформация иглы картушки и значительное энергопотребление. Во втором типе – трудность герметизации котелка и наличие дополнительной температурной погрешности.

В другом типе механических компасов используются различные кодирующие маски с оптическим съемом информации. Ось магнитной картушки вращается в подшипниках, установленных на раме в кардановом подвесе, изготовленной из немагнитного материала. На раме также закреплены осветитель и светочувствительные элементы. Вся система помещена в герметичный кожух из немагнитного материала, заполненный чистой и прозрачной жидкостью. Кодирующая маска обычно изготавливается в виде тонкостенного барабана или диска. На нее наносятся разрядные дорожки в виде чередующихся прозрачных и непрозрачных сегментных участков, количество светочувствительных элементов в которых соответствует числу разрядных дорожек. Кодирование осуществляется с помощью одного из помехозащищенных кодов (чаще всего 8-разрядного кода Грея) как по линейному закону, так и в любой функции. В последнем случае на раме устанавливается вторая линейка светочувствительных элементов перпендикулярно к первой. Свет от осветителя, проходя через прозрачные сегменты разрядных дорожек, воздействует на соответствующие светочувствительные элементы. Получаемый при измерении закодированный сигнал однозначно соответствует положению картушки относительно корпуса прибора. Разрешающая способность подобных систем принципиально определяется числом разрядных дорожек. Существенным недостатком компасов с оптическим съемом информации является высокое энергопотребление.

В последнее время отмечено использование для измерения направления вектора скорости феррозондовых датчиков магнитно-

го меридиана, учитывающих изменение индуктивности нескольких взаимно перпендикулярных обмоток, расположенных на сердечнике из магнитного материала с высокой магнитной проницаемостью (обычно пермаллоя) под действием магнитного поля Земли. Действие магнитного поля Земли способствует возникновению пропорциональной ему второй гармоники, которую можно измерить и преобразовать в кодовый сигнал. Одна из этих обмоток вырабатывает сигнал, пропорциональный синусу, а другая – косинусу угла поворота датчика относительно магнитного меридиана. Точность измерения при горизонтальном положении подобного прибора около 2° при разрешающей способности $0,1^\circ$.

Разрешающая способность по углу потенциометрических компасов составляет $0,5 - 2^\circ$, а погрешность – $\pm 3 - 10^\circ$. Дисковые компасы с 8-разрядным кодом Грея позволяют обеспечить разрешающую способность в $\pm 1^\circ$ при точности измерений до $\pm 3^\circ$.

8.7. Приборы для измерения характеристик течения

Способы и приборы для наблюдений за течениями родились из практики судоходства. Первыми «приборами» при этом являлись свободно плавающие предметы и даже сами суда. Так, первым обстоятельным (по мнению Ю. М. Шокальского) наблюдением над течениями было выполнено Х. Колумбом во время его первого плавания 13.09.1492 г. В штиль, по отклонению лота, опущенного достаточно глубоко в воду, он заметил, что судно несет течением на юго-запад. Лот служил здесь только «неподвижной точкой», относительно которой наблюдалось «движение свободного поплавка». Одним из первых приборов для измерения течений было устройство, предложенное М. В. Ломоносовым (рис. 8.9), позволяющее на борту судна, лежащего в дрейфе, по степени отклонения стрелки, фиксируемого на двух взаимно перпендикулярных полукруглых шкалах. К нижнему концу стрелки с помощью веревки крепится шар, погружаемый достаточно глубоко в воду, так как считалось, что с глубиной течение в значительной степени уменьшается. При наличии поверхностного течения судно дрейфует, веревка натягивается, стрелка отклоняется от нормали и по степени ее отклонения можно судить о скорости и направлении

течения. Тогда же М. В. Ломоносов указал на необходимость тарировки прибора, вероятно, впервые высказанное по отношению к океанографическим приборам.

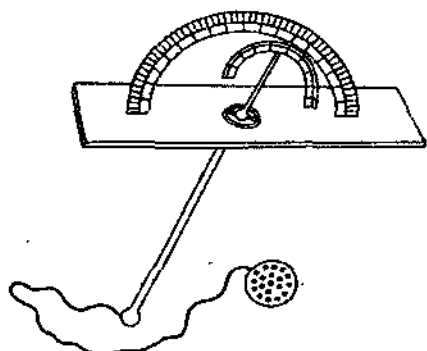


Рис. 8.9. Прибор Ломоносова.

В 1905 г. Экманом была сконструирована вертушка, позволяющая производить измерения течений не только на поверхности, но и на глубинах. Усовершенствованная позднее Мерцем и получившая название «вертушка Экмана—Мерца», претерпев небольшие модернизации, использовалась до последнего времени.

Широкое распространение в океанологической практике, особенно при исследовании течений в поверхностном слое моря, нашел поплавочный метод. Следует отметить, что на используемую здесь аппаратуру большое влияние, кроме течения, оказывают ветер и волнение, вносящие значительные погрешности в измерения. Поэтому поправки должны удовлетворять основному требованию: площадь вертикального сечения, возвышающегося над водной поверхностью, и площадь сечения подводной части поплавка должны находиться в отношении 1:100 и меньше. Для массового разбрасывания в качестве поплавков можно использовать полиэтиленовые конверты, плавающие на поверхности. Сведения о пущенных конвертах регистрируют в журналах. Первичная обработка результатов наблюдений с помощью конвертов производится на схематической карте, на которую наносят траектории движения конвертов. Точки, в которых отмечены конверты, соединяются с прямыми линиями. Снятое с карты расстояние, пройденное конвертами, делят на время и получают значение средней скорости.

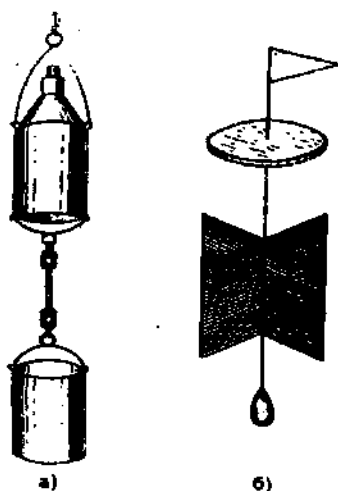


Рис. 8.10. Двойные привязные поплавки (а) и свободный поплавок (б).

Для этой же цели используются *двойные привязные поплавки* (рис. 8.10), прообразом которых были двойные поплавки, которыми пользовался еще Леонардо да Винчи. Их применяют при скорости ветра до 6 м/с, волнении до 2 – 3 баллов и при скорости течения более 0,1 м/с с судна, стоящего на якорю. Двойные привязные поплавки имеют форму цилиндрических сосудов диаметром 20 – 30 см и высотой 40 – 50 см.

Верхний сосуд в своей верхней части имеет конусообразную форму с узким горлом, закрываемым пробкой, и снабжен двумя проволочными дужками, одна из которых прикреплена к верхнему краю цилиндра, а другая – к нижнему. К последней тросом подвязана дужка нижнего цилиндра так, чтобы расстояние от верха цилиндрической части верхнего сосуда до середины нижнего сосуда было равным 1 м. К верхней дужке первого цилиндра крепится линия длиной до 200 м с подвязанными к нему через каждые 10 м плавучестями. Рабочая часть линия маркируется через каждый метр. Для придания всей системе надлежащей плавучести нижний сосуд загружается балластом с таким расчетом, чтобы верхний сосуд погружался в воду до основания конуса. Скорость течения определяется по времени, которое требуется на вытравливание линия определенной длины, а направление – компасом по углу между направлением на поплавок и диаметральной плоскостью судна.

Поверхностные течения можно также измерять с помощью поплавков, пущенных в свободный дрейф. Наблюдения за перемещением поплавков производится визуально, с помощью судовых навигационных средств, судовых и береговых радиолокаторов, а также спутниковых систем. В этом случае применяют дрейфующие вежи (дрифтеры), состоящие из буя, подводного паруса, радиопередающей аппаратуры и мачты, с укрепленными на ней антенной и уголковым отражателем.

В ЦКБ ГМП (г. Обнинск) была разработана *гидрометеорологическая буйковая дрейфующая станция* (дрифтер) с передачей получаемой информации по космическим каналам связи (КУРС, АРГОС, ГОНЕЦ). Пункты приема информации расположены в Москве, Архангельске, Находке. Количество сеансов не менее восьми раз в сутки. Дрифтер предназначен для получения оперативной гидрометинформации в любом районе Мирового океана.

Технические характеристики дрифтера:

Канал температуры воздуха:

диапазон, °C -20 ... 40

точность, °C ±0,1

Канал температуры воды:

диапазон, °C -2 ... 32

точность, °C ±0,1

Канал атмосферного давления:

диапазон, ГПа 840 – 1070

точность, ГПа ±1

Канал скорости ветра:

диапазон, м/с 1 – 50

точность, м/с ±2

Канал направления ветра:

диапазон, град 0 – 360

точность, град ±10

Характеристики течения определяются по координатам нахождения дрифтера. Точность определения координат местоположения буя не хуже 3,5 км. Корпус несущего буя дрифтера высотой 3,7 м и наибольшим диаметром 0,8 м изготовлен из коррозионно-стойкого алюминия, снабжен дополнительной плавучестью из

сферопластика и мачтой композиционного материала. Масса дрефтера — 135 кг. Набор литиевых батарей обеспечивает автономность работы дрефтера не менее 18 месяцев.

Подобные системы широко используются для нужд Всемирной службы погоды. Так, например, только в Южной Атлантике в 1995 г. было запущено 45 буев, а в 1996 г. уже 70.

Поплавки нейтральной плавучести используются для измерения характеристик течения на глубине. Сваллоу первым в мире использовал поплавок подобного типа, изготовленный из двух труб алюминиевого сплава длиной по 3 м. В одной трубе размещались передатчик и блок питания, а вторая труба обеспечивала плавучесть поплавок, способного работать на глубинах до 5000 м. Передатчик устройства работал на частоте 10 кГц. Методика работы с поплавком Сваллоу заключается в следующем. Перед началом работ на предполагаемом горизонте наблюдений определяется плотность воды путем измерений там температуры и солёности. Регулировка плавучести поплавок нейтральной плавучести осуществляется в соответствии с данной плотностью, после чего поплавок опускается в воду.

Регистрация ультразвукового сигнала производится парой гидрофонов, опускаемых с носа и кормы судна, что позволяет определить скорость и направление перемещения поплавок в потоке на основе разности времени прихода сигнала, т.е. по расстоянию от поплавок до гидрофонов. Сигналы, принимаемые гидрофонами, регистрировались двухлучевым осциллографом, что позволяло определять запаздывание во времени этих сигналов. Результаты этой регистрации позволяли построить полярную диаграмму запаздывания в зависимости от ориентации судна, которая имеет острый минимум в случае, когда линия, соединяющая гидрофоны, нормальна к направлению на поплавок. Подобные измерения повторяются при каждом изменении координат судна. Местоположение судна определяется с помощью реперного буя, координаты которого известны.

В ИО РАН разработан *поплавок нейтральной плавучести*, предназначенный для измерения характеристик течений с малотоннажных судов на глубинах до 1000 м. Корпус поплавок представляет собой две полусферы с внешним диаметром 207 мм, тол-

щиной стенок 9 мм и с герметичным фланцевым соединением диаметром 250 и толщиной каждый по 11 мм. Внутри сферы расположены электронная схема акустического маяка и блок питания. В днище нижней полусферы вклеен изнутри двухслойный пьезокристаллический элемент, который служит излучателем акустических сигналов. Автономность работы поплавок – 1 неделя.

Для выведения поплавок на нужную изопикну к нему подвешивают на кольце из магниевого сплава балласт. При погружении в морскую воду магний начинает растворяться, поэтому толщина кольца выбирается в зависимости от заданной автономности, после чего балласт сбрасывается и поплавок всплывает. Слежение за поплавком осуществляется с помощью портативной направленной акустической антенны АО-71М и приемного устройства ПГРК «Латвия». Антенна опускается на штанге с борта судна на глубину, достаточную для кругового обзора под днищем судна. Верхняя часть штанги снабжена поворотным устройством и компасом для определения направления антенны. Дальность акустической связи до 3 миль. Определение азимута на поплавок производится путем слухового контроля с точностью $\pm 5^\circ$. Местоположение поплавок относительно судна определяется путем взятия крюйс-пеленга.

Своеобразным измерителем профиля течения по глубине является система *одноразового использования Гидробалл (поплавок-интегратор)*, состоящая из зондирующего устройства сферической формы, сбрасываемого с судна, и бортового устройства гидроакустического слежения за движением зонда. Горизонтальное смещение зонда при его свободном падении зависит от профиля скорости потока воды. Бортовое устройство системы определяет расстояние от судна до зонда, глубину погружения зонда и направление смещения зонда относительно судна. Система работает до глубины 500 м при возможном расстоянии между судном и зондом до 1500 м. При скоростях течения более 0,3 м/с погрешность измерения скорости составляет $4 \cdot 10^{-2}$ м/с, направления $\pm 10\%$. Скорость падения зонда составляет примерно 0,36 м/с, общее время измерения до глубины 500 м – 33 мин, частота замеров – 1 с. Зонд также обеспечивает измерение и передачу данных о температуре воды в диапазоне от -3 до 37°C с погрешностью $\pm 0,25^\circ\text{C}$.

В океанологической практике для исследования придонных течений используют донные поплавки Р. И. Грейга и П. М. Вудхеда, обладающие небольшой отрицательной плавучестью. Поплавок Грейга представляет собой квадратную пластмассовую пластинку с отверстием в центре, через которое пропущен эластичный шнур с медным грузом на конце. Касаясь грузом дна, поплавок, имеющий небольшую отрицательную плавучесть, перемещается по течению. Поплавок Вудхеда изготовлен из полиэтилена грибовидной формы и также снабжен шнуром с грузом. Донные поплавки запускаются с расчетом на то, что при ловле рыбы они могут попасть в орудие лова (при измерениях в открытом море) или при прибрежных наблюдениях могут выброситься на берег. Анализ путей и времени перемещения поплавков позволяет судить о характеристиках течения. К недостаткам данного метода следует отнести наличие парусности поплавков, что может изменить направление его движения, и весьма небольшой процент возвращения поплавков.

Наибольшее распространение в океанологической практике нашли непосредственные измерители характеристик течений, чаще всего использующие вертушечный метод. И конечно же, естественней будет начать с наиболее широко используемых у нас в стране до последнего времени вертушки морской модернизированной (ВММ) и первого отечественного серийного образца автономных измерителей течений БПВ-2 – самописца Ю. К. Алексеева (буквопечатающая вертушка).

Измерители течений типа ВММ – приборы разового действия, т.е. после получения одного измерения на горизонте наблюдений вертушка поднимается на борт судна для снятия отсчетов и перезарядки.

Вертушка морская модернизированная (рис. 8.11) состоит из литой рамы с вертикальной осью подвеса, обеспечивающей возможность вращения вокруг этой оси. На верхнем конце оси неподвижно укреплен направляющий стержень, имеющий в верхней части прорезь для троса лебедки, в огон которого пропускается винт с барашком. На нижнем конце оси имеется ушко для подвеса поддона, уменьшающего снос прибора течением. На двух консолях рамы закреплен защитный кожух лопастного винта в виде

кольца, предохраняющий винт от механических повреждений при работе с вертушкой. Лопастной винт – из трубчатой оси со ступицей, к которой прикреплены четыре спицы с лопастями, расположенными под углом 45° к оси. Ось лопастного винта имеет червяк, с которым при помощи переключающего механизма сцепляется червячная шестерня счетчика оборотов. Переключающий механизм, приводимый в действие посыльными грузами, вводит червячную шестерню счетчика оборотов в зацепление с червяком лопастного винта в том случае, когда ВММ находится на заданном горизонте, а первый посыльный грузовик, опущенный с судна, ударяет по муфте вертикальной оси, при этом срабатывает спусковой механизм, включающий счетчик оборотов.

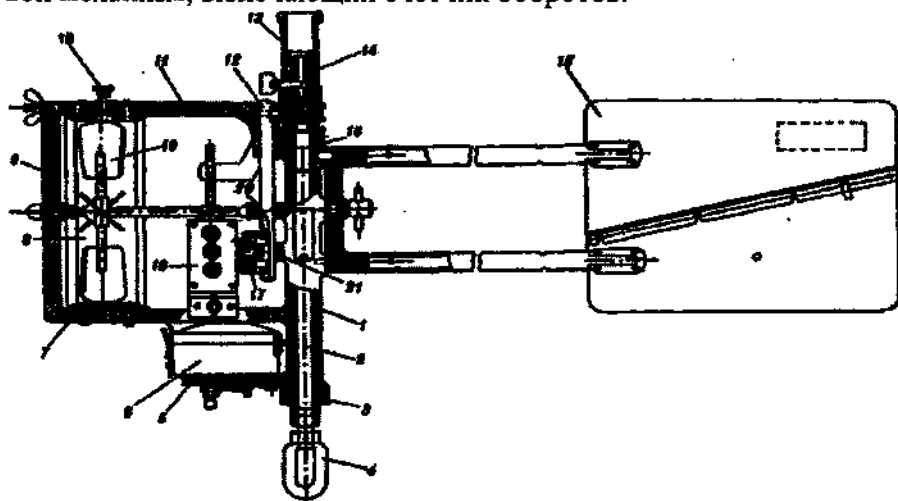


Рис. 8.11. Измеритель течений типа ВММ: 1 – рама; 2 – вертикальная ось; 3, 16 – шарикоподшипники; 4 – нижний рым; 5 – кронштейны; 6 – компасная коробка; 7, 11 – консоли; 8 – защитное кольцо; 9 – откидная штанга; 10 – арретир; 12 – спусковой стержень; 13 – втулка; 14 – прорезь для троса; 15 – руль; 17 – барабан; 18 – счетчик оборотов; 19 – лопастной винт; 20, 21 – приливы рамы.

Через определенный промежуток времени, зависящий от скорости течения, по тросу посыляется второй посыльный грузовик, выключающий счетчик оборотов, который заключен в прямоугольную коробку, состоит из трех шестеренок со стрелками-указателями (по верхнему циферблату отсчитываются единицы и десятки оборотов, по среднему – сотни, а по нижнему – тысячи

оборотов). Над счетчиком оборотов расположена трубка-магазин с запасом латунных шариков диаметром 3 мм (20 – 23 шт.). Нижний шарик помещается в одну из трех выемок, находящихся друг от друга под углом 120° на диске, укрепленном на оси верхней шестеренки счетчика оборотов. По счетчику оборотов получают данные о скорости течения в оборотах в секунду, а затем по градуировочной кривой переходят к скорости в сантиметрах в секунду.

Под счетчиком оборотов на кронштейне укреплена компасная коробка. Каждый раз, когда при вращении верхней шестеренки счетчика оборотов и диска под концом трубки-магазина оказывается выемка, в которую попадает один шарик и переносится к отверстию нижней трубки, а из нее в компасную коробку, имеющую в верхней, открывающейся, крышке отверстие для прохода шариков. В центре компасной коробки на игле расположена магнитная стрелка, северный конец которой имеет желоб, а в верхней, центральной, части стрелки находится чашечка со сливом в желоб, расположенная под отверстием. Через каждые 33,3 оборота пропеллера в компасную коробку попадает один шарик и по желобу скатывается в один из секторов компасной коробки, разделенной перегородками на 36 секторов по 10° , пронумерованных от 0 до 35. Таким образом, по окончании наблюдений на палубе можно видеть, какие секторы компасной коробки в процессе измерений находились под северным концом магнитной стрелки, т.е. куда было направлено течение. К задней части латунной рамы крепится руль, имеющий съемные наклонные пластины. Лопастной винт в виде пропеллера является наиболее рациональной конструкцией ввиду уменьшения площади лопастей вблизи ступицы. Эта же конструкция является наиболее простой с технологической точки зрения.

Самопиसेц течений БПВ-2 – прибор механического типа, предназначенный для автоматического измерения и регистрации скорости и направления на глубинах до 1200 м, может использоваться как с борта судна, так и на автономных буйковых станциях (рис. 8.12). Регистрация получаемой информации (скорость в см/с, направление в десятках градусов) осуществляется на бумажной ленте, запаса которой хватает на 1440 отпечатков скорости и направления течения. Датчик скорости – 4-лопастной винт с вертикальной осью вращения и экраном помещен в нижней части изме-

рителя. Вращение лопастного винта внутрь корпуса прибора передается с помощью магнитной муфты. Направление течения (ориентация прибора по потоку) измеряется магнитным компасом. Для установки по потоку самописец снабжен двумя развитыми рулевыми пластинами. Дискретность измерений задается заранее с помощью специальных минутных дисков и может быть 5, 10, 15, 20, 30 и 60 мин. Автономность работы прибора при использовании 60-минутного диска – 60 суток.

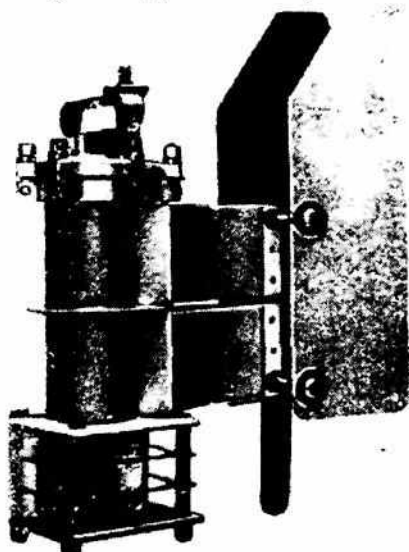


Рис. 8.12. Самописец течений БПВ-2.

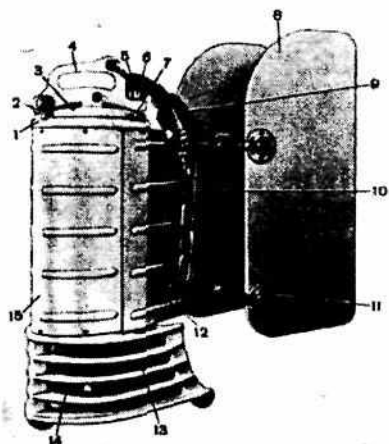


Рис. 8.13. Буквопечатающая вертушка БПВ-2-р: 1 – корпус; 2 – тяга с талрепом; 3 – крышка; 4 – ручка прибора; 5 – откидной болт; 6 – гайка; 7 – шпилька; 8 – рулевая пластина; 9 – вертлюг; 10 – цепь подвеса; 11 – держатель; 12 – тыльный обтекатель; 13 – ограждение крылатки; 14 – крылатка; 15 – лобовой обтекатель.

Имеющиеся модификации измерителей типа БПВ обладают некоторыми различиями в конструкции корпуса прибора и, кроме того, БПВ-2р (рис. 8.13) рассчитан на глубины до 250 м и снабжен чашечным анемометрическим датчиком скорости также с вертикальной осью. ЭСТ (рис. 8.14) (электрофицированный самописец течений) аналогичен БПВ-2, но снабжен емкими катушками для бумажной ленты электродвигателем, электрочасами и батареей питания вместо стальной пружины патефонного типа и обычных

часов БПВ, что позволяет увеличить автономность работы прибора до одного года; ЭСТ-А – подобен ЭСТ, но имеет датчик скорости пропеллерного типа с горизонтальной осью вращения.

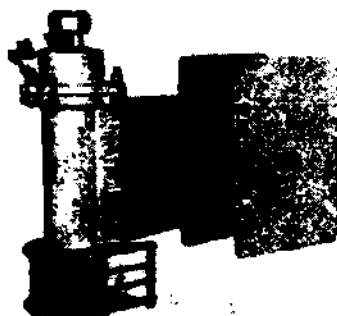


Рис. 8.14. Электрифицированный самописец течений ЭСТ.

Регистрация информации о скорости и направлении течения осуществляется следующим образом. Через заранее заданные промежутки времени часовой механизм включает прибор в работу. При этом вращение лопастного винта через магнитную муфту и систему шестеренок начинает передаваться диску скорости, угол поворота которого пропорционален числу оборотов лопастного винта.

Одновременно при этом высвобождается магнитная катушка компаса и устанавливается по магнитному меридиану. Через определенный промежуток времени (время экспозиции – 190 ± 10 с) – индивидуальный для каждого прибора стопорится катушка компаса и на бумажной ленте отпечатываются значения направления и скорости течения, а диск скорости возвращается в начальное положение. Следовательно, приборы типа БПВ измеряют мгновенное значение направления и осредненный за время экспозиции модуль вектора скорости течения. Диапазон измерения скорости 0,02 – 1,48 м/с. Масса БПВ-2 – 49 кг, БПВ-2р – 29 кг.

Результаты сравнительного эксперимента с лучшей стороны охарактеризовали пропеллер (ЭСТ-А), обеспечивающий наименьшие погрешности за счет волнового компонента скорости и вертикальных колебаний. Экранированные датчики занижают измеренную скорость из-за рыскания прибора. Неревверсивный датчик (БПВ-2р) существенно завышает измеренную скорость за счет вертикальных колебаний и волнового компонента скорости.

Продувка воздушным потоком различных типов датчиков в двух противоположных направлениях (под углом 0 и 180 ° к диаметральной плоскости самописцев) показала следующее:

- реверсивным (с наименьшими погрешностями) является только датчик самописца ЭСТ-А;

- БПВ-2р по сумме фронтального и противоположно направленного потоков показал удвоенную скорость, что характеризует нереверсивные датчики;

- БПВ-2 не может считаться реверсивным датчиком, так как исключает примерно 40 % фронтального потока;

- датчик прибора ЭСТ также не является реверсивным, так как регистрирует только фронтальную половину знакопеременного потока и не регистрирует поток противоположного направления.



Рис. 8.15. Измеритель МГИ 1301 «Диск».

Долговременный измеритель течения и температуры МГИ 1301-ДИСК (СКТБ МГИ Украины) – цифровая многоканальная система с записью получаемой информации на магнитную ленту (рис. 8.15). На верхней крышке корпуса прибора цилиндрической формы, массой 55,9 кг расположены датчики скорости течения и температуры (медный ПТС). Выпускаются три модификации прибора: в титановом корпусе на глубины до 6000 м, в керамическом – до 3000 м и в стеклянном – до 1500 м.

Датчик скорости течения – 4-лопастной пропеллер с лопастями, расположенными под углом 45° к продольной оси и закрепленными в обтекатель. Для преобразования числа оборотов лопастного винта в электрический сигнал в обод пропеллера впрессованы 12 маленьких магнитов, а в двух-трех сантиметрах от них в крышке корпуса прибора размещены магнитодиоды, включенные в мостовую схему с усилителем.

Направление течения определяется магнитным компасом в кардановом подвесе по положению корпуса прибора, который ориентируется в потоке с помощью одной или двух рулевых пластин. В приборе используется потенциометрический тип компаса, картушка которого в момент измерений с помощью соленоида прижимается к обмотке кругового потенциометра.

Сигналы с датчиков скорости, направления и температуры подсчитываются счетно-импульсной схемой за время экспозиции, равное 4 или 8 с, а полученные результаты записываются по каждому значению 8-разрядным кодом с дискретностью 0,1; 0,2; 1,0; 5 и 10 мин при общем числе циклов измерений до 1250. Дискретность измерений задается заранее.

Скорость течения измеряется в двух диапазонах: 0,025 – 1,75 м/с (чувствительность – 0,007 м/с, время экспозиции – 4 с) и 0,025 – 0,87 м/с (чувствительность – 0,0035 м/с, время экспозиции – 8 с). Погрешность измерения направления составляет $\pm 5^\circ$, чувствительность – $1,8^\circ$, время осреднения направления – 2 – 2,5 с. Температура воды измеряется в диапазоне $-2 \dots 32^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,15^\circ\text{C}$. В качестве источника питания используются 8 аккумуляторов типа КНТК-10. Автономность работы измерителя при дискретности 10 мин не менее 80 суток.

Автономный измеритель течений и температуры «Поток» (ИО РАН) имеет цилиндрический корпус с рулевыми пластинами. Датчиком скорости является пропеллер с горизонтальной осью вращения, установленный на нижнем основании корпуса прибора в обтекателе. Вращение пропеллера через открытую коническую муфту с коэффициентом 2:1 передается к вертикальному штоку, а затем через магнитную муфту внутрь корпуса прибора. В измерителе используется векторное осреднение показаний. Метки пути формируются пропеллером, а синус и косинус направления – циф-

ровым магнитным компасом. Интегрирование скорости течения осуществляется в течение всего времени между циклами измерения. Дискретность измерений задается заранее и составляет 7,5; 15; 30 и 60 мин. Датчиком температуры является кварцевый резонатор с частотным выходом. Результаты измерений откладываются в твердотельной (полупроводниковый) памяти, рассчитанной на 4096 циклов измерений.

Диапазон измерения скорости 0,03 – 2,5 м/с с погрешностью $\pm(3 + 2U)10^{-2}$ м/с. Система подвески измерителя обеспечивает его ориентацию в потоке с помощью хвостового стабилизатора с точностью до 5° при скорости течения свыше 0,05 м/с. Температура воды измеряется в диапазоне –2 ... 38 °С с погрешностью $\pm 0,1$ °С. Запас батарей питания обеспечивает автономность работы до 120 суток. Выпускаются две модификации прибора. Одна рассчитана на глубины до 6000 м с массой на воздухе 55,9 кг, а другая на глубины до 2000 м с массой 48 кг. Допустимый угол наклона прибора – 15°.

Измеритель течений "Вектор-2" (Холдинговая компания "ЛЕНИНЕЦ") предназначен для измерений средних значений составляющих вектора скорости течения по двум ортогональным осям и угла их ориентации относительно магнитного меридиана, измерения гидростатического давления, хранения получаемой информации во внутренней оперативной памяти с последующей передачей ее на внешний компьютер для дальнейшей обработки с целью определения скорости и направления течения в географической системе координат на глубинах до 2000 м.

Прибор традиционного механического принципа действия имеет чувствительный элемент в виде ротора Савониуса с вертикальной осью вращения и флюгер для измерения направления течения. Ориентация корпуса прибора, имеющего жесткую подвеску, относительно магнитного меридиана измеряется магнитным компасом. Для привязки прибора к горизонту измерения используется вибротронный датчик гидростатического давления. Измерение температуры воды для введения поправок к датчику давления используется ППТС. Результаты измерений всех датчиков периодически откладываются в энергонезависимую память с заданной дискретностью.

Считывание данных из памяти осуществляется через наружный герметизированный разъем непосредственно в компьютер без использования буферных устройств. Электронная схема прибора построена на базе микропроцессора с очень малым энергопотреблением.

Используемый флюгер имеет малый показатель инерции – порядка 1 с и согласован с инерцией ротора Савониуса. Равенство показателей инерционности двух чувствительных элементов и их относительно малая величина позволяют производить корректное осреднение течения при существовании волновой составляющей потока и турбулентности с масштабом вихрей порядка десятков сантиметров. Все это позволяет эффективно использовать прибор в волновой зоне на глубинах 5 – 10 м, обеспечивая корректное векторное осреднение скорости течения. Кроме того, подвеска ротора и флюгера в приборе осуществляется на острие опорной иглы в агатовом подпятнике, расположенном вблизи центра тяжести аналогично традиционной подвеске катушки магнитного компаса. Подобная подвеска помимо малого трения обеспечивает самобалансировку ротора при небольших углах наклона корпуса прибора от вертикали, что встречается при малых скоростях течений.

Датчик скорости течения включает в себя ротор Савониуса с индуктивным преобразователем и электронную схему сопряжения с процессорным блоком. В тело ротора по периметру запрессовано 4 ферритовых сердечника, которые при вращении взаимодействуют с неподвижной катушкой, расположенной в одной из опорных стоек. За один оборот ротора вторичный преобразователь выдает 4 импульса, что повышает разрешающую способность при ограниченном интервале времени интегрирования. На каждый импульс ротора осуществляется отсчет направления флюгера и магнитного компаса. В приборе угол положения компаса и флюгера, а также угловая скорость вращения датчика скорости течения (ротор Савониуса) преобразуется в количество импульсов, пропорциональное ортогональным составляющим скорости течения, суммарное значение которых за один цикл измерений преобразуется в цифровой код. Значения цифрового кода заносятся в память микропроцессора прибора. По полученным данным проекций вектора скорости вычисляются значения скорости и направления течений.

Способ подвески ротора позволяет получить начальную чувствительность порядка 0,2 см/с. При скоростях течения до 5 см/с ее значения оцениваются не по числу импульсов, полученных от ротора при прохождении ферритов мимо неподвижной катушки индуктивности, а по длительности одиночного импульса путем анализа скорости изменения частоты индуктивного преобразователя. Это вызвано очень медленным вращением ротора, например, при скорости течения 1 см/с – один оборот в минуту.

Направление течения измеряется малогабаритным флюгером, расположенном в общем защитном ограждении над ротором и соосно с ним. Он изготовлен из пластмассы с нулевой плавучестью. Вся конструкция флюгера обеспечивает высокую начальную чувствительность. При скорости 0,2 см/с флюгер устанавливается в потоке с погрешностью 10°. Вторичный преобразователь индуктивного типа состоит из подвижного феррита, запрессованного в тело флюгера, и 6 неподвижных катушек, расположенных в корпусе по окружности с шагом 60°. Феррит флюгера имеет балансирующий противовес из немагнитного материала.

Преобразование угла поворота флюгера в пропорциональный код осуществляется в два этапа. Вначале процессор поочередно опрашивает значение индуктивности 6 катушек и по минимуму частоты находит положение флюгера между парой катушек, что позволяет определить угол с дискретностью 60°. Затем вычисляется соотношение частоты генератора от двух смежных катушек и методом интерполяции, учитывающей нелинейную зависимость, определяется точное значение угла внутри интервала 60° с погрешностью 3°. Опрос углового положения флюгера происходит вместе с опросом компаса при поступлении очередного импульса от датчика скорости течения.

Считывание данных из памяти осуществляется после подъема прибора на поверхность через внешний герметизированный разъем непосредственно в компьютер.

Прибор сконструирован в герметичном цилиндрическом корпусе из нержавеющей стали (рис. 8.16). Внутри корпуса размещены электронная схема на базе двух микропроцессоров (PIC 14 000 и PIC 16F84), обеспечивающих предварительную внутреннюю обработку данных, введение поправок на влияющие факторы окружа-

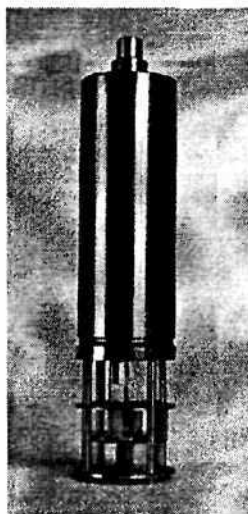


Рис. 8.16. Автономный измеритель течений
«Вектор-2».

ющей среды, формирование стандартного обмена данными с компьютером через последовательный порт по интерфейсу RS-232, магнитный компас, датчик угла отклонения от вертикали на базе акселерометра, выполненного на базе интегральной микросхемы, и блок питания на литиевых батареях.

Основные технические характеристики:

Диапазон канала измерений скорости течения, см/с	2 – 150
Абсолютная погрешность измерений канала скорости течения, см/с	0,2 – 3 % V
Диапазон канала измерений направления течений, °	0 – 360
Абсолютная погрешность измерения направления, °	±3
Диапазон канала измерений гидростатического давления, кг/см	0 – 200
Погрешность измерения гидростатического давления, %	±0,5
Диапазон измерений температуры воды, °C	–2 ... 25
Диапазон угла отклонения корпуса от вертикали, °	0 – 30
Дискретность измерений, мин	0,5; 5; 10; 30; 60
Автономность работы, год	1
Габариты корпуса прибора, мм	
диаметр	90
высота	370
Масса прибора, кг	3,5

На нижней крышке корпуса прибора размещены: флюгер, ротор Савониуса, датчики температуры и гидростатического давления, а также индуктивный преобразователь флюгера угол-код. На

верхней крышке корпуса установлен герметизированный 4-контактный разъем для подключения шланга компьютера и рым-заглушки, служащий для подвески прибора на кронштейне, а также являющийся крепежным элементом, удерживающим внутренний каркас прибора внутри защитного корпуса.

Измеритель течений и температуры Geodyne-850 (США) имеет цилиндрический корпус, в нижней части которого помещен датчик скорости – ротор Савониуса диаметром 160 мм и небольшая флюгарка. По периметру ротора размещены 16 небольших магнитов, каждый из которых вызывает электрический импульс при прохождении магнитодиода. Скорость течения измеряется подсчетом числа оборотов ротора за время осреднения – 5 с. Направление вектора скорости определяется по сумме показаний магнитного компаса и флюгарки относительно горизонтальной оси корпуса прибора. Регистрация показаний компаса и положения флюгарки осуществляется при помощи маски с 7-разрядным кодом Грея с разрешением по углу – $2,81^\circ$. Время осреднения в канале направления – 0,6 с.

Работа прибора задается программным устройством на основе часов с кварцевым генератором, в котором формируются сигналы опроса датчиков и интервал времени, соответствующий дискретности. Максимальная автономность работы прибора – 1 год. Диапазон измерения скорости 0,025 – 3,5 м/с с погрешностью $\pm 10\%$ до значения скорости 0,15 м/с и $\pm 3\%$ до 1,5 м/с. Диапазон измерения температуры воды $-2 \dots 35^\circ\text{C}$. Допустимый угол наклона – 15° . Масса прибора 54 кг. Измеритель используется в составе АБС и устанавливается в разрыве троса на глубинах до 5000 м.

Измерители течений и температуры модели 135 и 135-М (фирма «Интероушен» – США) предназначены для измерения течения, температуры и гидростатического давления. Приборы 135-М дополнительно измеряют электропроводимость. Датчик скорости – ротор Савониуса, направление течения определяется с помощью магнитного компаса потенциометрического типа по положению корпуса прибора, ориентированного с помощью стабилизатора в потоке воды. Датчик температуры – линеаризованный термистор. Датчик электропроводимости в модели 135-М – индуктивного типа.

Программное устройство прибора формирует импульсы опроса измерительных каналов с дискретностью от 2 до 30 мин и сигналы отметки времени с дискретностью от 1 до 15 ч. Результаты измерений в 8-разрядном двоичном коде записываются на магнитную ленту.

Для работы измеритель устанавливается в разрыв троса. Его корпус изготовлен из твердого анодированного алюминия и рассчитан на глубины до 1000 м, а в специальном исполнении до 6000 м. Масса прибора на воздухе 16 кг. Диапазон измерения скорости 0,025 – 3 м/с с погрешностью $\pm 3\%$; чувствительность измерения направления $\pm 1,4^\circ$, погрешность $\pm 3^\circ$; диапазон измерения температуры 0 – 30 $^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$; электропроводимость в модели 135-М измеряется в диапазоне 0 – 6,5 См/м с погрешностью $\pm 0,001$ См/м. Объем регистраций – 4500 отсчетов, что обеспечивает максимальную автономность работы прибора до 1 года. Допустимый угол наклона – 30°.

Измеритель течений модели VMCM предназначен для регистрации характеристик течения на глубинах до 5000 м. Датчик скорости – два ортогональных пропеллера с косинусной диаграммой направленности для измерения двух составляющих вектора скорости в системе отсчета прибора. Для обеспечения минимальных отклонений диаграммы направленности измерителя от косинусоидальной характеристики пропеллеры выполнены двойными. Среднее квадратичное отклонение от косинусоиды в горизонтальной плоскости не превышает 1,5 %, в вертикальной – 3 %. Направление течения определяется по ориентации корпуса прибора относительно магнитного меридиана магнитным компасом. Единичная метка пути соответствует 1/4 оборота пропеллера ($\sim 0,1$ м). Имеется возможность подключения каналов температуры и гидростатического давления. Получаемая информация откладывается в магнитной памяти. Автономность работы определяется типом используемой батареи питания. Информационная емкость магнитного накопителя ($2,2 \cdot 10^6$ бит) достаточна для записи результатов измерений с дискретностью 1 мин в течение 40 суток. Диапазон измерения скорости 0,02 – 4 м/с с погрешностью $\pm 3\%$. Погрешность измерения направлений $\pm 5^\circ$. Дискретность измерений задается заранее и может быть 1; 2; 4; 7,5 и 15 мин. Масса прибора – 34,5 кг.

Характеристики поверхностного течения можно измерять с помощью буксируемой системы для измерения течений модели 150А (фирма O.R.E. - США). Модель 150А – геомагнитный электрокинетограф (отечественный аналог – электромагнитный измеритель течений – ЭМИТ, марки ГМ-15) предназначен для измерения поперечной составляющей поверхностного течения. Это достигается регистрацией градиента потенциала напряжения, создаваемого движением морской воды в магнитном поле Земли. Получаемая информация регистрируется на бумажной ленте электронного потенциометра, шкала которого откалибрована в узлах и в сантиметрах в секунду. Кроме того, в бортовом блоке имеется специальный переключатель магнитной напряженности на 7 позиций от 0,1 до 0,7 эрстед, предназначенный для регулировки чувствительности в зависимости от местной интенсивности вертикальной составляющей магнитного поля Земли.

Для уменьшения паразитных сигналов, вызванных поверхностным волнением, и ошибки, возникающей из-за провисания кабеля, измерительные электроды отнесены от плавучего кабеля. Общая длина кабеля 230 м. Электроды подсоединяются к кабелю через соединительные неметаллические коробки, прикрепленные к кабелю на расстоянии 100 м друг от друга. Кабель с электродами буксируется за депрессором, погруженным на глубину 12 м. Одним из наиболее важных узлов аппаратуры являются электроды, служащие для контакта датчика с морской водой и подключения к цепи измерительного контура. Используются серебряные-хлор-серебряные неполяризующиеся электроды, помещенные в корпуса из оргстекла. Выбор материала электродов обусловлен стабильностью во времени их собственных потенциалов. Электроды подбираются парами с минимальными значениями собственных ЭДС и достаточной для метода стабильностью.

В буксируемом за судном проводнике электродвижущая сила индуцируется только за счет поперечного перемещения, и каждое измерение дает только компонент течения, перпендикулярный к направлению движения судна. Поэтому для определения полного вектора течения следует выполнить два измерения на двух разных курсах судна. Расстояние, проходимое на каждом курсе, должно быть не менее 0,2 мили. Полученные результаты геометрически

суммируются. Каждое изменение курса судна обеспечивает получение пары контролируемых друг друга векторов скорости течения, а прямой и обратный ход судна дает контроль положения нуля электродов.

Электромагнитный измеритель течений и температуры СТ-3 (фирма Sea-Link System – США). СТ-3 – одноосевой прибор с горизонтальной компоновкой, использующий электромагнитный принцип для регистрации скорости течения. Корпус измерителя имеет торпедообразную форму с хвостовым оперением и оригинальную жестко-осевую подвеску для установки его в разрыве троса АБС, обеспечивающую устойчивую горизонтальную ориентацию при наклонах несущего троса до $\pm 35^\circ$ (рис. 8.17). К недостаткам устройства можно отнести его относительную чувствительность к вертикальной компоненте течения, движениям несущего троса и случайным возмущениям потока. Инерция корпуса и большой вертикальный киль позволяют прибору механически суммировать высокочастотные изменения течения.



Рис. 8.17. Электромагнитный измеритель течений и температуры СТ-3.

По обе стороны корпуса расположены электроды измерителя скорости. Внутри корпуса помещен постоянный магнит, устанавливающий в воде снаружи корпуса точно сориентированное магнитное поле. Движение воды в потоке вдоль оси измерителя создает разность потенциалов, пропорциональную скорости течения. Использование подобного метода позволяет проводить измерения в поверхностном слое, прибрежной зоне, а также знакопеременных течений, что невозможно выполнять даже наиболее используемыми приборами вертушечного типа.

Направление течения определяется с помощью феррозондового струйного компаса, когда струя потока проходит внутри корпуса по специальному каналу, что обеспечивает последовательно точную регистрацию направления прибора. Он улавливает ориентацию СТ-3 по отношению к магнитному полю Земли, преобразует это магнитное направление в электрический сигнал, доступный для записи.

Датчик температуры – термистор контролирует внешнюю температуру воды и создает соответствующий электрический сигнал для записи параллельно другим данным. Точная временная привязка обеспечивается твердо-корпусными часами на кристаллах, которые срабатывают в начале измерительного цикла. Время измерения составляет 1 с.

Диапазон измерения скорости 0,03 – 3,0 м/с, чувствительность – 0,01 м/с, относительная погрешность $\pm 3\%$. Погрешность измерения направления $\pm 5^\circ$, чувствительность $\pm 2,8^\circ$. Температура измеряется в пределах $-2 \dots 36^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,15^\circ\text{C}$. Дискретность измерений устанавливается в пределах 1 – 225 мин, с приростом в одну минуту. Магнитная память, рассчитанная на 15 – 300 отсчетов, и емкость щелочных батарей обеспечивает автономность работы прибора от одной недели до 6 – 8 месяцев. Масса измерителя 22,7 кг, предельная глубина установки – 5000 м.

Акустический измеритель течений «Вега-1» (МГИ, АН Украины) снабжен 2-компонентным акустическим измерителем скорости с фазоимпульсной схемой измерения и Л-образной траекторией распространения сигнала. Направление ориентации прибора измеряется феррозондовым синусо-косинусовым компасом, помещенным в двойной карданный подвес. В приборе используется векторное осреднение измеряемой скорости. Одновременно производится измерение температуры воды, гидростатического давления и скорости звука. Титановый корпус прибора рассчитан для работы до 6000 м. Диапазон измерения скорости 0 – 2,5 м/с с погрешностью $\pm(0,01 + 0,05U)$ и чувствительностью 0,005 м/с; направление измеряется с погрешностью $\pm 5^\circ$ при чувствительности 0,5. Температура воды измеряется в диапазоне $-2 \dots 36^\circ\text{C}$, скорость звука 1400 – 1600 м/с, крен и дифферент $\pm 45^\circ$, гидростатическое давление 0 – 600 бит. Дискретность измерений – 1; 5; 20 и 60 мин.

Измерители течений АСМ-1 и АСМ-2 фирмы NBIS (Нейл Браун инструмент системз) – США используют акустический метод незатухающей импульсной волны для измерения двух компонентов скорости течения, для чего применяется 2-компонентный измеритель скорости с Λ -образной траекторией распространения акустических сигналов. Ориентация приборной системы координат относительно магнитного меридиана измеряется по феррозондовому компасу. Результаты измерений в 12-разрядном двоичном коде заносятся в полупроводниковую статическую память емкостью 10000 циклов измерений. В АСМ-2 предусмотрена цепь коррекции температурной зависимости скорости звука в воде в диапазоне $-2 \dots 30^\circ\text{C}$ с погрешностью измерения $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и постоянной времени 1 мин.

Прибор работает следующим образом. На вход излучающего электроакустического преобразователя (А) подается сигнал с генератора, вырабатывающего электрические колебания с несущей частотой 1,6 МГц. Электроакустический преобразователь излучает в морскую воду узкий, с угловой шириной 1° , пучок акустической энергии, подающейся на акустическое зеркало (С). Отразившись от зеркала, пучок попадает на приемник (В). Затем от электроакустического преобразователя (В) пучок таким же образом попадет на приемник (А). Пучок акустической энергии при движении в ту или иную сторону, встречаясь с течением, будет изменяться по фазе, а потоки, перпендикулярные плоскости расположения электроакустических преобразователей и зеркала, не учитываются. Разница сигналов, приходящих от (А) и (В), будет являться функцией частоты, расстояния между излучателями-приемниками, скорости звука в воде и скорости течения. Отсюда неизвестным фактором является лишь скорость течения.

Диапазон измерения скорости в АСМ-1 $0 - 3,0$ м/с с чувствительностью $- 0,003$ м/с; в АСМ-2 диапазон измерения $0 - 2,5$ м/с с чувствительностью $0,005$ м/с. Погрешность измерения у них $\pm(0,01 + 0,05U)$ м/с, время осреднения в канале скорости у АСМ-2 $- 0,2$ с. Погрешность измерения направления в приборах $\pm 2^\circ$ при чувствительности $0,5^\circ$. Дискретность измерений задается в пределах $10 - 150$ мин. Допустимый угол наклона $- 30^\circ$, предельная глубина установки в зависимости от типа корпуса 3000 или 6000

м. Температура измеряется в пределах $-2,4 \dots 35,8^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,5^\circ$. Масса прибора – 43 кг, диаметр 77 и длина 525 мм.

Следует отметить, что в настоящее время измерители этой фирмы (NBIS) имеют наилучшие характеристики, достигнутые в мировой практике океанографического приборостроения, и наиболее успешно могут использоваться для исследования мелкомасштабной изменчивости.

Исследование динамической погрешности отечественных измерителей скорости БВП-2, ДИСК, АЦИТ, ПОТОК (по данным В.М. Кушнир и В.Б. Титова) были проведены в тарировочном бассейне ГГИ. Исследовалась зависимость динамической погрешности $\Delta_\alpha(M = U_t - U)$ [где $M(U_t)$ – среднее значение измеренной скорости, U – скорость протяжки] испытуемых приборов от величины отношения скорости к амплитуде пульсаций скорости (U/U'). При значениях отношения $U/U' \approx 1$ происходит резкое увеличение относительной погрешности $\alpha\Delta/U$, причем для АЦИТ и ПОТОК в сторону отрицательных значений погрешности, а для БВП-2 и ДИСК – положительных.

Исследования зависимости $\Delta_\alpha/U = f(U/U')$ для некоторых зарубежных измерителей (RSM-4, S-4, ACM-1, VMCM) показали, что при $U/U' = 5 - 6$ относительная динамическая погрешность резко возрастает, при $U/U' = 1$ она составляет 0,3 – 0,5. Минимальную погрешность имеет пропеллер VMCM.

В целом для всех известных измерителей скорости течений пульсации скорости или колебания точки подвеса прибора на частотах $\sim 10^{-1}$ Гц создают относительно большую динамическую погрешность измерения скорости, если амплитуда пульсационной составляющей скорости потока примерно равна или больше средней скорости течения.

Глава 9

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЛЬДОМ

9.1. Общие положения

При эксплуатации прибрежной зоны морей, даже с умеренным ледовым режимом, лед приобретает качество важнейшего гидрометеорологического элемента. Непрерывный сбор сведений о состоянии льда в море выполняется для получения представления о ледовой обстановке и для исследования гидрологического и ледового режимов. Знание ледовой обстановки и ледового режима позволяет обеспечивать заинтересованные организации ледовой информацией, прогнозами и пособиями. Особое значение ледовые наблюдения имеют в приполярных районах, где успех проведения морских операций во многом зависит от надежности и своевременности этой информации.

Для комплексного управления прибрежной зоной морей, даже с умеренным ледовым режимом, лед приобретает качество важнейшего гидрометеорологического элемента. При расчете различных сооружений в море на прочность важнейшим становится обеспечение их ледостойкости. При проектировании, строительстве и эксплуатации различных прибрежных объектов основной необходимой информацией являются сроки, характер образования и разрушения льда, ширина припая, толщина, торосистость и сплоченность льда, скорость и направление дрейфа льда, а также знание экстремальных величин характеристик ледовых условий. Так, например, для обеспечения надежности трубопроводов необходимы достоверные сведения о взаимодействии торосистых ледовых образований с морским дном и о распространении стамух в плане. Ледовые условия бывают различными не только у отдельных морей но и у бассейнов, расположенных на одинаковой широте и даже у отдельных районов конкретного бассейна.

В настоящее время наблюдения за морским льдом производятся с берега, со льда, с судна, самолета, вертолета и космических аппаратов. Все эти виды наблюдений за ледяным покровом в море

выполняются по возможности синхронно по широкой программе и определенной методике. В результате этих наблюдений можно получить наиболее полную картину распределения ледяного покрова в соответствующем районе Мирового океана, т.е. разрешить многочисленные вопросы, связанные с изучением ледового режима исследуемого района.

Под ледовыми исследованиями понимается вся совокупность работ по определению ледовых характеристик на акватории, охватываемой КУПЗ, начиная со сбора и анализа имеющихся материалов, проведения систематических наблюдений и вплоть до расчета основных параметров ледового режима, включая величины, возможные один раз в 50 – 100 лет.

9.2. Основные понятия и определения

Под ледовой обстановкой понимают состояние и характеристики ледового покрова, что практически полностью определяет условия мореплавания, рыболовства и добычи полезных ископаемых на акваториях с имеющимся ледовым покровом. А под ледовым явлением понимают совокупность ледовых фаз и процессов, сменяющихся в течение года на замерзающих акваториях. К ледовым явлениям относят: появление льда, установление льда на всей видимой водной поверхности, разрушение неподвижного льда на этой акватории, его окончательное исчезновение, очищение акваторий ото льдов всех форм и возрастных характеристик. Ледовые явления подразделяют на устойчивые и неустойчивые. Устойчивые явления сохраняются не менее 30 дней.

Исходя из характера перехода из одного состояния в другое, различают следующие фазы: начало льдообразования, полное замерзание, установление припая или ледостава, начало таяния, взлом припая, полное очищение ото льда. По степени подвижности различают неподвижный и дрейфующий лед. Неподвижный лед – сплошной смерзшийся ледяной покров, связанный с берегом, с грунтом и т.п., который может испытывать вертикальные колебания под воздействием приливо-отливных или сгонно-нагонных колебаний уровня. К дрейфующему льду относится любой вид морского льда, который не связан с берегом или дном и находится в движении под воздействием ветра и течений.

9.3. Обоснование необходимости наблюдений

Комплексное управление прибрежной зоной моря требует всестороннего учета ледовых условий районов исследований непосредственно со дня замерзания акваторий шельфовой зоны морей. При этом на протяжении всего ледового периода должны проводиться постоянные наблюдения за ледовыми явлениями на береговых ледовых постах и экспедиционные исследования в открытом море.

Опыт проводимых исследований показывает, что ледовая информация, сосредоточенная в различных ведомствах, конечно же, представляет значительный интерес. Но в том случае, когда она не привязана непосредственно к району исследований, она является явно недостаточной. Необходимо также подчеркнуть, что для большинства работ, ведущихся на шельфе, крайне необходимо освещение текущей ледовой обстановки, которое можно получить только при прямых наблюдениях. Вдобавок к этому, получаемая ледовая информация широко используется для обеспечения службы прогнозов оперативной и режимной информацией.

Для изучения климатических, физико-механических, морфологических, геометрических и прочих свойств неподвижного и дрейфующего льда наблюдения должны вестись в течение ряда лет, что позволит оценить повторяемость и устойчивость элементов ледового режима и иметь возможность сопоставить результаты эпизодических экспедиционных работ с результатами надежных систематических наблюдений. Экспедиционные наблюдения проводятся по особой программе и выполняются в сжатые сроки, обычно в период максимального развития ледяного покрова.

9.4. Наблюдения за льдами с берега

Режимные наблюдения и исследования являются основным видом работ по изучению особенностей ледовых условий в рамках КУПЗ. Наблюдения производятся на специально оборудованных ледовых постах ежедневно с момента появления льда в районе наблюдений и заканчиваются после окончательного очищения всей акватории. Постоянный наблюдательный ледовый пункт оборудуется на возвышенном месте с хорошим обзором прилегающей ак-

ватории на расстоянии не более 200 м от береговой черты. Для этой цели используют специально построенную вышку, верхнюю площадку маяка и т.п. Здесь же по нормали к береговой черте выбирается постоянный створ с условием, что ширина припая на нем будет характерной для всего района. Высоту ледового пункта (практически высоту оптической оси углодальномерного прибора) определяют с помощью нивелирования его высоты над средним уровнем моря. Характеристикой ледового пункта является также дальность видимого горизонта, под которой принимается то расстояние, на котором при самых благоприятных условиях погоды и освещения линия горизонта видна наблюдателю на ледовом пункте.

Для определения направления и расстояния до наблюдаемого объекта используются установленные на прочном основании волномер-перспектрометр ГМ-12 или теодолит. Кроме того, для определения направлений на различные объекты, находящиеся на водной поверхности, на ледовом пункте можно использовать ориентирный столб, верхний срез которого должен находиться на уровне глаз наблюдателя. На верхнем срезе под углом 45° друг от друга закрепляют ориентированные относительно истинного меридиана деревянные или металлические бруски. Конец бруска, обращенный на север, отмечается стрелкой.

Наблюдения на ледовом пункте подразделяются на основные и специальные. К основным наблюдениям, выполняемым всеми станциями, относятся определения: дальности видимости поверхности моря; положения кромки и ширины припая; положения кромки плавучих льдов; количества неподвижного льда; количества чистой воды; количества плавучего льда; сплоченности (густоты) плавучего льда; возрастных характеристик припая; возрастных характеристик и форм плавучего льда; торосистости припая и плавучего льда; разрушенности припая и плавучего льда; заснеженности припая; загрязненности припая и плавучести льда; сжатия плавучего льда; скорости и направления дрейфа льда; добавочных характеристик ледовой обстановки; зарисовка ледовой обстановки; измерение толщины льда, высоты и плотности снега на льду в постоянной точке.

К специальным наблюдениям, выполняемым по особой программе относятся: профильные ледовые наблюдения и маршрут-

ные съемки; наблюдения за стайванием снега и льда; наблюдения за температурой снега и льда; 4) полигонные съемки; определение физико-химических свойств льда; 6) изучение кристаллографической структуры льда, определение преобладающих размеров плавающих льдин и высоты торосов.

Дальность видимости поверхности моря (расстояние в направлении, перпендикулярном общему распространению береговой черты) оценивают при плохой видимости в сотнях метров, а при хорошей – в километрах. Под дальностью видимости поверхности моря понимают то предельное расстояние, на котором наблюдателю при данных атмосферных условиях и освещении видна свободная ото льда или покрытая льдами поверхность моря. При отсутствии приборов (ГМ-12 или теодолит) определение видимости производят визуально.

Положение кромки и ширины припая обычно определяют по направлению, перпендикулярному береговой черте, с помощью ГМ-12 или теодолита, а в случае значительной ширины припая, когда ее с помощью приборов определить невозможно, расстояние определяют визуально. Если на станции выполняются профильные ледовые наблюдения, то при этом измеряют ширину припая. Ширину припая определяют с точностью до 10 % ее максимального значения. На карту-бланк книжки ледовых наблюдений наносят положение и ширину припая. Кроме того, указывают имеющиеся в припае трещины, полыньи, каналы, их площадь, ширину, направление распространения.

Определение положения кромки плавающих льдов производят так же как положение кромки и ширины припая. При нечетких очертаниях кромки льдов ее положение в море намечают на карте-бланке, по возможности таким образом, чтобы за ее пределами была чистая вода или, в крайнем случае, вода с отдельными льдинами. Контуры больших пространств чистой воды (не менее 1 км) среди плавающих льдов также определяют и наносят на карту-бланк.

Определение количества неподвижного льда производят по 11-балльной шкале и оценивают как отношение площади, занятой неподвижным льдом, ко всей видимой в момент наблюдений площади моря, выраженное в процентах. Количество неподвижного льда, равное 0,5 балла или менее, приравнивается к 0, и в книжку

наблюдений записывается 0, а превышающее 9,5 балла, т.е. если среди неподвижного льда наблюдаются небольшие пространства чистой воды, оценивается 10 баллами, и в книжку наблюдений записывается **10**.

Определение количества чистой воды производят аналогично тому, как оценивают количество неподвижного льда, т.е. в баллах по 11-балльной шкале.

Определение количества плавучего льда производят визуально по 11-балльной шкале аналогично оценке количества неподвижного льда. Одновременно с определением количества плавающего льда отмечают и отдельно записывают на карте-бланке возрастные характеристики льда.

Определение сплоченности (густоты) плавучего льда выполняют визуально по 11-балльной шкале как отношение площади льдин плавучего льда к площади, на которой они распределены, выраженное в десятках процентов. Причем сплоченность первичных возрастных характеристик льда (ледяных игл, сала, снежуры, шуги) не определяют.

Определение возрастных характеристик припая производят на всей видимой с ледового пункта акватории моря в соответствии с «Номенклатурой морских льдов...», введенной у нас в стране с марта 1974 г. По возрастным характеристикам припай делится на следующие виды:

темный нилас – лед очень темного цвета толщиной 3 – 5 см;

светлый нилас – матовый непрозрачный лед толщиной 5 – 10 см, образовавшийся вследствие нарастания темного ниласа, а также благодаря смерзанию шуги или снежуры;

серый лед – молодой лед толщиной 10 – 15 см, образовавшийся при нарастании ниласа, склянки или смерзании блинчатого льда;

серо-белый лед – молодой лед толщиной 15 – 30 см, в отличие от серого льда уже торосющийся при сжатиях и в меньшей степени насаивающийся, в свежих разломах имеет серо-белый цвет;

тонкий однолетний белый лед толщиной 30 – 70 см, развивающийся из молодого льда и существует не более одной зимы, имеет устойчивый снежный покров, в неарктических морях является предельной возрастной стадией;

однолетний лед средней толщины толщиной 70 – 120 см, имеющий более развитый и уплотненный снежный покров с застругами и наддувами и значительную торосистость;

толстый однолетний лед достигает к весне толщины 150 ~ 200 см, а в высоких широтах при незначительном снежном покрове даже до 240 см. Толщина снега в наддувах и сугробах у гряд торосов может достигать 100 – 150 см;

остаточный однолетний лед – не растаявший за лето и находящийся в новом цикле намерзания;

двухлетний лед – просуществовавший более одного года и достигший к концу второй зимы 2 м и более;

многолетний лед с оттенками голубого цвета толщиной до 3 м и более, просуществовавший более двух лет.

Последние пять видов льда встречаются лишь в арктических районах. В книжку ледовых наблюдений записывают и имеющиеся в данном районе моря формы неподвижного льда:

припай – основная форма неподвижного льда, которая образуется вдоль побережья, представляющая сплошной ледяной покров, прикрепленный к берегу, ледяной стене, ледяному барьеру, находится между отмелями или севшими на мель айсбергами. Во время изменения уровня моря можно наблюдать его вертикальные колебания;

ледяной заберег – первоначальная стадия формирования припая, образуется у берегов, состоит обычно из ниласа или склянки и достигает ширины 100 – 200 м;

подошва припая – часть припая, примерзшая непосредственно к берегу и отделенная от более мористой части припая трещиной, так как не подвержена вертикальным колебаниям при изменении уровня моря;

донный лед – любой лед, находящийся под водой у дна;

лед, скрепленный с грунтом – плавучий лед, севший на мель;

стамуха – торосистое, сидящее на мели ледяное образование, встречаются отдельные стамухи и барьеры (или цепочки) стамух;

лед на берегу – нагромождение льда на пологом берегу.

Определение **возрастных характеристик и форм плавучего льда** производят визуально на видимой акватории моря. По возрастным характеристикам плавучий лед подразделяется следующим образом.

Начальные виды льдов (общий термин для недавно образовавшегося льда) классифицируются следующим образом:

ледяные иглы – кристаллы льда в виде игл или пластинок, образующихся на поверхности воды или в ее толще;

ледяное сало – скопление на поверхности воды смерзшихся ледяных игл в виде пятен или тонкого сплошного слоя серовато-свинцового цвета;

снежура – выпавший на поверхность моря, свободную ото льда, снег, пропитанный водой и представляющий собой вязкую массу;

шуга – скопление пористых кусков льда белого цвета, достигающих нескольких сантиметров в поперечнике, образовавшегося из ледяного сала или снежуры, а иногда из донного льда;

склянка – тонкий прозрачный лед в виде блестящей хрупкой корки толщиной до 5 см, образовавшийся из ледяных игл или ледяного сала при спокойном состоянии моря.

К основным возрастным характеристикам плавучего льда относятся также все возрастные характеристики припая.

Основные формы плавучего льда:

ледяное поле – любой относительно плоский кусок морского льда более 500 м в поперечнике. Ледяные поля по горизонтальным размерам подразделяются следующим образом: *гигантские ледяные поля* – более 10 км в поперечнике; *обширные ледяные поля* – от 2 до 10 км в поперечнике; *большие ледяные поля* – от 0,5 до 2 км в поперечнике;

обломки ледяных полей – льдины от 0,1 до 0,5 км в поперечнике;

крупнобитый лед – льдины от 20 до 100 м в поперечнике;

мелкобитый лед – любой относительно плоский кусок морского льда от 2 до 20 м в поперечнике;

блинчатый лед – лед обычно круглой формы от 0,3 до 3 м диаметром, толщиной до 10-15 см, с приподнятыми краями, образовавшийся на легкой волне из ледяного сала, шуги или снежуры, а также в результате разлома склянки, ниласа и серого льда в условиях большой зыби;

тертый лед – битый лед от 0,5 до 2 м в поперечнике;

ледяная каша – измельченный и стертый лед, являющийся конечной стадией дробления льда;

несяк – большой торос или группа смерзшихся торосов, представляющих собой отдельную льдину с большой осадкой, находящуюся на плаву. Может выступать над уровнем моря на высоту до 5 м.

Определение **торосистости припая и плавучего льда** производят в баллах (по 6-балльной шкале). Степень торосистости льда независимо от высоты торосов выражается отношением площади, занимаемой торосами, к площади всего льда. Различают следующие виды торосов: *отдельные торосы*; *гряда торосов*; *барьер торосов*, состоящий из гряды торосов, сидящий на грунте; *нояс торосения* – несколько параллельных гряд торосов на плавучем льду или припае, представляющих нагромождение битого льда; *подсовы* – образуются при наплзании плоских льдин друг на друга. Баллы торосистости и характер торосистости записывают в книжку наблюдений, а также отмечают на карте-бланке.

Определение **разрушенности припая и плавучего льда** производят визуально в баллах (по 6-балльной шкале) на основании признаков таяния или механического разрушения. Кроме оценки разрушенности льда в книжке наблюдений делают зарисовки различных форм разрушения: *льдин с козырьком*, *льдин с торосами*, *грибовидных льдин*. Признаки таяния и разрушенности льда появляются в определенной последовательности, а качественное изменение ледяного покрова связано с повышением температуры воды и воздуха и солнечной радиацией. Наблюдения за разрушенностью льда начинают с весеннего таяния.

Определение **заснеженности припая** производят в зимний период с момента устойчивого образования припая до начала таяния в соответствии со специальной 4-балльной шкалой. Практическое значение степени заснеженности заключается в том, что, являясь теплоизолятором, снежный покров влияет на нарастание и таяние льда.

Определение **загрязненности припая и плавучего льда** выполняют по его внешним признакам по 4-балльной шкале в течение всего ледового периода. Наблюдения за загрязненностью, а также за цветом льда дают дополнительные характеристики ледяного покрова, иногда позволяющие уточнить динамику льда. При выполнении наблюдений отмечают степень загрязненности, цвет примесей (грязи) на льду и их происхождение (минеральное, органическое).

Определение сжатия плавучего льда осуществляют только для льдов сплоченностью не менее 9 – 10 баллов и не моложе серых молодых льдов по 4-балльной шкале. Степень их сжатия характеризует проходимость льдов судами.

Определение скорости и направления дрейфа льда выполняют при ежедневных ледовых наблюдениях визуально или с помощью различных приборов и приспособлений. При визуальных наблюдениях направление дрейфа льда определяют с помощью ориентирного столба или компаса. При этом в книжке наблюдений отмечают направление движения льда (куда) по восьми основным румбам.

Определение добавочных характеристик ледовой обстановки производят путем осмотра всей видимой акватории моря в сроки основных ледовых наблюдений и между сроками. В книжку наблюдений записывают все особенности распределения льдов и состояния ледяного покрова, которые могут прямо или косвенно дополнительно характеризовать мощность, прочность и проходимость льдов, а также все крупные изменения льдов в состоянии ледяного покрова, происходящие между сроками наблюдений.

Зарисовка ледовой обстановки включает в себя нанеску ледовой обстановки в поле на планшете с последующим заполнением отчетной карты-бланка, которую составляют в одном из следующих масштабов: 1:50 000, 1:15 000, 1:200 000. Масштаб выбирается в зависимости от размеров видимой акватории моря, но размер карты-бланка не должен превышать 18 × 24 см. На карту-бланк условными обозначениями наносят все элементы ледовой обстановки.

Измерение толщины льда, высоты и плотности снега на льду в постоянной точке выполняют в различные периоды ледового сезона через равные промежутки времени. Плотность снега измеряют через пять дней. При высоте снежного покрова менее 5 см плотность не измеряют. Систематическое измерение толщины льда и снега, а также подледной шуги проводится для изучения нарастания и таяния ледяного покрова. Измерения проводят на двух постоянных участках льда в пределах припая: основном и дополнительном, которые в течение зимы остаются в спокойном состоянии. Здесь не должно быть сильных течений, стока берего-

вых вод и влияния других факторов, искажающих ход естественного нарастания и таяния льда.

Основной участок выбирают в некотором удалении от берега на глубине более 2 м. Наблюдения на этом участке проводят систематически, но при полной безопасности выхода на лед. *Дополнительный участок* выбирают вблизи берега у мористого конца пирса (дамбы, волнолома и т.п.) на глубине, большей максимально возможной толщины льда. На этом участке наблюдения проводятся с момента образования припая до начала систематических наблюдений на основном участке и продолжают их весной, когда становится опасным выполнение наблюдений на основном участке.

Для получения лунок во льду, их подготовки, а также измерения толщины льда и снега служат пешня, ледовые буры, ледемерные рейки и снегомеры.

Пешня – простейшее приспособление для пробивки лунок во льду, представляющее собой металлический стержень клинообразной формы.

Бур ледовый ГР-7 состоит из спирального сверла диаметром 69 мм, позволяющего сверлить лед толщиной до 1200 мм, и коловорота с патроном для закрепления сверла. Входящая в комплект ледемерная рейка представляет собой стальную полосу сечением 1×120 мм с сантиметровыми делениями, оцифрованными через 10 см.

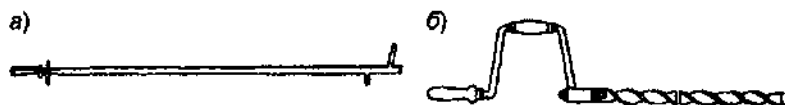


Рис. 9.1. Бур ледовый ГР-102: а – ледемерная рейка; б – внешний вид бура.

Бур ледовый ГР-102 (рис. 9.1, б) состоит из спирального сверла диаметром 42 – 45 мм и длиной до 1000 мм, а также коловорота с патроном. Каждый бур снабжен ледемерной рейкой (рис. 9.1, а), с помощью которой через высверленные во льду отверстия производится измерение толщины льда.

Бур ледовый кольцевой ПИ-8 (рис. 9.2) предназначен для сверления отверстий во льду с одновременным получением центрального образца – керна. Бур состоит из режущей части, выполненной в виде кольца, несущего на себе резец, штангу и коловорот. Кольцо в поперечном сечении имеет клинообразный профиль

с острой нижней кромкой, представляющий кольцевой нож. В кольце сделан сплошной вырез шириной 25-30 мм, на торцевой стороне одного из концов которого укреплен зубчатый резец с шестью остро заточенными зубьями. Используются кольца диаметром 120, 180, 220 и 310 мм.



Рис. 9.2. Бур ледовый кольцевой ПИ-8.

Бур ледовый механизированный ГР-58 предназначен для бурения ледяного покрова с целью измерения толщины льда, глубины и температуры воды. Бур представляет собой установленный на легких санках агрегат, состоящий из бурового комплекта, электродрели и генераторного агрегата. Буровой комплект состоит из спиральных буров диаметров 70 и 100 мм. Бур диаметром 100 мм снабжен удлинителем, позволяющим сверлить лед толщиной до 2 м (а без удлинителя – до 1,2 м). Вращение бура осуществляется электродрелью, источником энергии для которой служит генераторный агрегат. В качестве генератора используется электродвигатель постоянного тока, работающий в генераторном режиме. Для вращения генератора служит двигатель бензомоторный пилы «Дружба-60».

При исследовании мощных ледовых образований в последнее время стали широко использоваться установки для термического бурения.

Малогабаритная термобуровая установка (МТБУ) предназначена для получения лунок малого диаметра с отбором керна методом бурения-плавления снежно-фирновых и ледниковых отложений. В комплект МТБУ входит: буровой снаряд МТБС-100, пульт управления, соединительные кабели, сани, мачта, лебедка, грузонесущий кабель. МТБС-100 состоит из колонки нагревателя, колонковой трубы, переходника, кабельного замка и шламособорника. Бурение осуществляется путем плавления льда по кольцевому забою за счет контактной передачи тепла от колонки-нагревателя. Наплавленная вода забоя удаляется с помощью желонки после каждого рейса бурения.

Технические характеристики МТБУ:

Глубина бурения, м	50
Диаметр бурения, мм	102
Диаметр керна, мм	65
Проходка за рейс, м 1,5	
Мощность нагревателя, кВт	0,7 – 1,5
Напряжение питания, В	180 – 220
Длина снаряда, м	2,4
Масса снаряда, кг	12,8

Наиболее активным способом является бурение с помощью горячей воды. Вода, нагретая до 80 – 90 °С, из парогенератора подается с помощью ручного насоса к месту получения лунки через дюралюминиевую штангу диаметром 40 мм с внутренней теплоизоляцией, снабженную на конце медным теплообменником. По мере увеличения глубины лунки наращиваются штанги термобурового снаряда длиной 1,3 – 1,5 м. В течение всего периода бурения лунки регистрируется скорость проходки, соответствующая относительной прочностью льда, отмечаются горизонты и мощности пустот и т.п. В настоящее время существует большое количество различных термобуровых установок, некоторые из которых позволяют производить бурение ледовых массивов даже до глубины нескольких сотен метров.

В месте предполагаемой лунки определяется толщина и плотность льда. Затем очищается от снега поверхность льда площадью 0,3 – 0,5 м², после чего пробивается лунка. Толщина льда измеряется ледомерной рейкой, опускаемой в лунку строго вертикально, причем подкос рейки подводится под нижнюю поверхность льда. Первый отсчет производится по делению рейки, противостоящей верхней поверхности льда, а второй на уровне воды в лунке, что позволяет определить глубину погружения льда. При наличии двухслойного льда общей толщиной льда является толщина обоих слоев льда. Толщина прослойки воды между двумя слоями льда указывается в примечаниях. По окончании всех этих наблюдений определяется глубина моря.

Высоту снежного покрова определяют с помощью переносной деревянной или металлической снегомерной рейки, которая строго вертикально ставится на льду с ненарушенным снежным покровом

в трех, четырех местах в 3 – 5 метрах с разных сторон от будущей лунки. По отсчетам со снегомерной рейки выводится средняя высота снежного покрова. Отсутствие снега в каком-либо направлении не меняет способа осреднения.

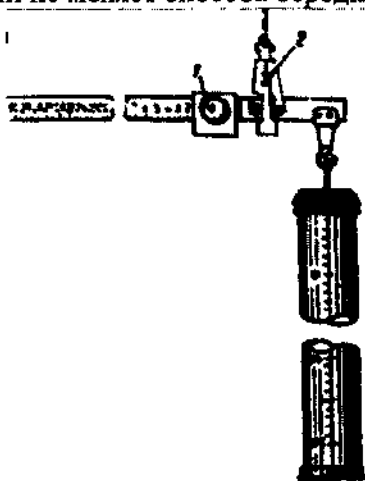


Рис. 9.3. Весовой снегомер ВС-43.

Для определения плотности снега на льду используется *весовой снегомер ВС-43* (рис. 9.3), состоящий из металлического цилиндра и весов. На одном конце цилиндра имеется кольцо с режущими зубьями, а другой его конец может закрываться крышкой. Для измерения высоты вырезанного столба снега по образующей цилиндра с наружной стороны нанесена сантиметровая шкала, нуль которой совпадает с нижним срезом цилиндра. Весы снегомера состоят

из металлической линейки, которая опорной призмой (2) делится на два неровных плеча. Длинное плечо линейки, по которой скользит передвижной груз (1) с вырезом, разбито на деления ценой 5 г. К концу короткого конца линейки подвешивается металлический цилиндр длиной 700 мм и с площадью поперечного сечения 50 см^2 .

При измерениях прибор острыми краями погружается отвесно в снег до поверхности льда, после чего делается отсчет высоты снега по наружной шкале цилиндра. Перед выниманием цилиндра со снегом во избежание высыпания содержимого под нижний край цилиндра подводится лопатка. Вынутый цилиндр переворачивается отточенным краем вверх, очищается от снега, прилипшего к наружной стороне, и взвешивается. При высоте снега более 60 см, т.е. высоте цилиндра, определение плотности снега производится по частям, затем полученные результаты суммируются.

Масса пробы снега в граммах соответствует отсчету по шкале линейки весов, умноженному на 5 (цена деления линейки). Объем пробы равен отсчету по наружной шкале цилиндра, умноженному на 50 (площадь поперечного сечения цилиндра, см^2). Таким обра-

зом, плотность снега выражается отношением массы P отобранной пробы снега к ее объему V : $\sigma = P/V$. При измерении плотности снега необходимо выяснить также, нет ли в толще снега ледяной корки, толщина которого измеряется и результат записывается в книжку наблюдений.

С берега производятся также и специальные наблюдения.

Профильные ледовые наблюдения и маршрутные съемки, необходимые для систематического изучения состояния припая в зависимости от гидрометеорологических условий. Эти наблюдения заключаются в определении толщины припая, высоты и плотности снега на определенных профилях (разрезах), описании характера поверхности ледяного покрова (общий характер поверхности, высота торосов, наличие снежниц, проталин и др.). Кроме того, по специальному указанию выполняются дополнительные наблюдения: описание видимой структуры льда; метеорологические и гидрологические наблюдения и т.п.

По своему характеру профильные ледовые наблюдения могут быть маршрутными, большей частью стандартными разрезами и съемками ледяного покрова, охватывающими иногда значительные районы моря. Эти районы обычно ограничиваются зонами припая, подходами к портам и акваториями портов, ледовыми трассами и аэродромами.

В арктических морях, кроме профильных ледовых наблюдений, выполняются маршрутные съемки ледяного покрова для получения сведений о состоянии припая, необходимых для выбора пути при проводке судов. Направление и протяженность маршрутов определяются шириной и торосистостью припая и, кроме того, наличием транспортных средств, в качестве которых используются вездеходы, автомобили, собачьи упряжки. Маршрутные съемки обычно выполняют перед началом и по окончании полярной ночи, а также за 10 – 15 дней до взлома припая. По результатам съемки составляются схемы, характеризующие состояние льда по маршрутам. Эти схемы выполняются в условных обозначениях в удобном масштабе.

Наблюдения над стаиванием снега и льда начинаются весной еще при отрицательной температуре воздуха и льда. Вначале их выполняют один раз в 3 – 5 дней, а затем, после появления по-

ложительных значений температуры, ежедневно. Наблюдения производятся с помощью 5 Г-образных реек, замороженных в лед в районе измерения толщины льда, расположенных в 10-20 м одна от другой, в местах с разной высотой снега. Г-образная деревянная рейка длиной 2 – 3 м и шириной 25 – 35 см вмораживается в лунку глубиной несколько менее толщины льда. Для предохранения рейки от быстрого вытаивания лунка заполняется талой водой. Разность в отсчетах расстояний от поверхности снега и льда до нижней поверхности горизонтального откоса рейки между сроками наблюдений составляет соответственно величины стаивания снега и льда.

Наблюдения над температурой снега и льда, как правило, выполняются 5, 10, 15, 20, 25-го числа и в последний день каждого месяца в одно и то же время вблизи (не далее 6 – 10 м) одной из постоянных точек измерения толщины льда. Температура льда и снега изменяется с помощью электротермометрической установки М-54-2, состоящей из комплекта датчиков температуры (десять медных ПТС с бескаркасной обмоткой, заключенных в тонкостенную латунную гильзу) и измерительного пульта, соединенных между собой 12-жильным кабелем длиной 120 м. ПТС, предназначенные для измерения температуры снега, крепятся на деревянной рейке, замороженной в лед и располагаются над поверхностью льда на горизонталях 10, 20, 30, 40 см и выше в зависимости от толщины снега, причем один из ПТС обязательно помещается на поверхности снежистого покрова. Для измерения температуры льда ПТС помещаются на горизонтах 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250 см от поверхности льда.

Полигонные съемки проводятся для изучения пространственной неоднородности физико-механических свойств мористого льда. В зависимости от поставленных задач полигон разбивается регулярной сеткой с шагом 10 – 20 м. В каждой из точек выбуриваются керны льда для определения основных показателей физико-механических свойств мористого льда и выделения на их основе зон с различными параметрами. В дальнейшем отбираются керны льда для исследования зависимостей механических свойств льда от его физического состояния. В отдельных случаях выполняются визуальные наблюдения над видимым строением льда, которые проводятся на монолитах («кабанах»), выкалываемых с по-

мощью пилы, бензопилы, или на кернях (колонках льда), отбрасываемых кольцевым буром. Строение льда наблюдают на фоне темного предмета при боковом освещении, используя лупу, линейку и циркуль-измеритель.

Визуальные наблюдения позволяют определить следующие параметры: прозрачность льда, выделяя при этом прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные слои; наличие во льду воздушных и солевых включений, их форму и размер (по форме включения разделяются на сферические, цилиндрические и волокнистые); характер распределения включений, т.е. равномерное или неравномерное расположение по толщине льда, причем особо фиксируются места скопления воздушных и солевых включений; наличие в толще льда других включений, таких как минеральные (песок, глина, ил) и органические (микроорганизмы, водоросли и т.п.), причем отмечаются особенности их распределения (прослойки, гнезда или отдельные разрозненные включения). Каждое описание сопровождается схематической зарисовкой строения льда в масштабе 1:5, а при толщине льда более 1 м – в масштабе 1:10.

Определение физико-механических свойств льда заключается в следующем: изучение строения, температуры и солености льда; проведение механических (статических и динамических) испытаний образцов льда в лабораторных условиях; использование методов неразрушающего контроля для измерения параметров состояния льда.

Данные механических испытаний по определению прочности на сжатие и изгиб, а также по измерению характеристики деформированности (модуль деформации и коэффициенты вязкости льда) являются необходимым аргументом при расчете ледовых нагрузок. Прочность мористого льда является основным расчетным параметром при определении горизонтального давления льда на вертикальные преграды.

Определение прочности на изгиб проводится на основе испытаний образцов (балок и плит) и ледяных балок на плаву, выпиленных на всю толщину льда в натуральных условиях по схеме, приведенной на рис. 9.4. Прочность на изгиб определяется по предельному значению изгибающего момента на основе технической теории изотропных балок и плит.

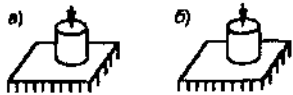
Вид испытания	Схема испытания	Мощность, МПа
Сжатие		1,0–8,0
Изгиб		1,0–2,0
		0,2–0,6

Рис. 9.4. Схема испытаний образцов льда на сжатие и изгиб.

Условия проведения исследований прочностных свойств льда заключаются в следующем:

- отбор образцов льда (кернов) для испытания на одноосное сжатие производится на двух взаимно перпендикулярных профилях длиной 100 м, в точках через каждые 20 м кольцевым буром (иногда вырубается «кабан»);

- работы на профиле в районе припая выполняются ежедекадно после достижения льдом толщины 0,3 м до начала разрушения ледового покрова. На дрейфующем льду работы выполняются в период проведения экспедиционных исследований;

- с целью сохранения ненарушенной структуры льда и предотвращения процесса сублимации образцы следует хранить при температуре не ниже -15°C в пластиковых мешках;

- при температуре ниже -15°C испытания образцов должны производиться не позднее двух часов после отбора кернов, при этом образцы льда должны храниться в термостате;

- нагрузочные устройства должны обеспечивать постоянные во времени скорости деформирования образца в пределах $\dot{\epsilon} = 10^{-5} - 10^{-1} \text{ с}^{-1}$;

- для снижения эффекта влияния прокладок пресса на результаты опыта рекомендуется использовать прокладки из низкомолекулярного упругого материала (типа твердой синтетической резины), заключенного в металлическую обойму, диаметром, несущественно превышающем диаметр испытуемого образца;

- рекомендуется использовать для испытаний образцы призматической или цилиндрической формы диаметром (шириной)

0,07 – 0,1 м и высотой в 2 – 2,5 раза больше поперечных размеров. Допускается использование образцов с отношением размеров 1:1;

- для обеспечения параллельности торцовых сечений образцов их подвергают механической обработке, оплавление торцовых поверхностей не допускается;

- средний поперечный размер образца должен быть в 15 – 20 раз больше поперечного размера кристалла льда. При отсутствии данных о размерах кристаллов рекомендуется использовать образцы размеров 0,15 × 0,15 м;

- используемая при измерениях аппаратура должна иметь отрицательную температуру и тарироваться перед испытаниями;

- необходимо предварительно устанавливать собственную деформацию установки с учетом применяемой нагрузки;

- прочность на изгиб и статический модуль деформации определяются путем испытания на плаву консольных балок и плит с трех- и четырехточечным приложением нагрузок при времени разрушения порядка 1 с;

- длина и ширина балок должны быть равны соответственно: $7 - 10 h$ и $1 - 2 h$ (h – толщина льда);

- при испытании балок на плаву следует определять профили температуры и солености льда по их толщине.

Исследование кристаллографической структуры льда обычно требует приготовления тонких срезов (шлифов), получаемых различными способами. Один из них заключается в замораживании образца льда в стеклянной кювете и последовательном снятии слоев льда толщиной около 0,5 мм. Этот метод пригоден для определения ориентации зерен и для общей структурной классификации (зернистая, столбчатая и т.д.). При полевых испытаниях для получения шлифа можно использовать острый ручной строгальный резец, например, скобель или применять метод теплой пластины (метод оплавления), за которыми обязательно должно следовать исследование структуры льда. Это исследование обычно состоит из измерений ориентации кристаллов и размеров зерен, а также наблюдений различных включений (например, воздушные пузырьки и т.д.). Ориентацию кристаллов льда, т.е. направление С-оси относительно горизонтальной плоскости, и размеры зерен можно определить с помощью поляризационного микроскопа (например, МП-2).

Любое кристаллографическое исследование должно заканчиваться фотографированием тонких срезов в поляризованном свете.

Определение преобладающих размеров плавучих льдин и высоту торосов в основном выполняют с помощью волномера-перспектометра ГМ-12 с установкой его горизонтальной оси над уровнем моря с точностью до 0,1 м и на расстоянии от места наблюдений не более 1,5 км. При определениях в различном удалении от берега измеряются 10 льдин, преобладающих по величине в этом районе, и вычисляют среднее значение. Кроме того, измеряют размеры трех небольших льдин. Причем при определении размера каждой льдины необходимо указывать возрастную характеристику льда, из которого она состоит.

В последнее время для определения ледовой обстановки широко используются радиолокационные наблюдения. Использование для подобной цели радиолокационных станций (РЛС) позволяет производить наблюдения в любое время суток, практически независимо от гидрометеорологической обстановки и с достаточно высокой точностью.

Используемые в прибрежных ледовых наблюдениях РЛС, как правило, имеют индикаторы кругового обзора (ИКО). Отраженный сигнал от поверхности моря, покрытого льдом, воспроизводит на ИКО картину ледовой обстановки в заданном масштабе. Если полученное на ИКО изображение с помощью береговой черты, островов и т.п. привязать к местности, то таким образом можно получить карту ледовой обстановки в районе действия РЛС. При необходимости детализации ледовых условий в районе наблюдений можно произвести фотографирование ИКО с последующим дешифрированием снимка.

Радиолокационные наблюдения обычно организуются там, где ледовые условия динамичны, а высота антенны позволяет получать информацию в секторе радиусом не менее 10 км. Результаты этих наблюдений используют для дополнения и уточнения картины ледовой обстановки, полученной при стандартных наблюдениях с ледового пункта, особенно при плохой видимости или во время полярной ночи. Данные радиолокационных ледовых наблюдений могут использоваться при оперативном обеспечении судоходства.

9.5. Наблюдения за льдами с судна

Состав ледовых наблюдений здесь несколько различается в зависимости от того, находится ли судно на ходу (во льдах или вблизи их), в дрейфе или стоит на якоре. На ходу судна ведутся следующие основные наблюдения:

- 1) определение возрастных характеристик и форм льда;
- 2) определение количества плавучего и неподвижного льда, а также густоты плавучего льда;
- 3) определение толщины льда и снега на нем (с борта судна);
- 4) определение торосистости и высоты торосов;
- 5) наблюдения за сжатиями и растяжениями льда;
- 6) оценка степени разрушенности льда;
- 7) характеристика проходимости льдов судами;
- 8) наблюдения за дрейфом льда;
- 9) картирование льдов.

При плавании вблизи кромки льда определяют ее пеленг, расстояние до нее от судна и ее ориентацию (например, с ЮВ на СЗ). Все вышеперечисленные наблюдения выполняются с судна, лежащего в дрейфе или стоящего на якоре, кроме определения толщины льда и снега на нем, в случае если выход на лед опасен. Сроки наблюдений: 00, 06, 12 и 18 ч по среднегринвичскому времени. Все наблюдения за льдами с судна сопровождаются гидрометеорологическими наблюдениями. Основные виды наблюдений с судна выполняются по той же методике, что и при наблюдениях с берега. Остановимся лишь на отличительных методиках наблюдений.

Определение толщины льда и снега на нем на ходу судна можно проводить различными способами, простейший из которых основан на глазомерной оценке толщины льдин становящихся зачастую на ребро у борта судна. При этом уплотненный и пропитанный водой снег не скатывается со льдин. Оценку толщины льда и снега на нем обычно производят по определению толщины не менее 10 льдин в достаточно сплоченном льду.

Измерения толщины иногда выполняют с помощью артиллерийского бинокля, на стекле которого нанесена сетка с ценой делений 0,01 расстояния от глаза наблюдателя до измеряемого пред-

Производя ледовые наблюдения, часто осуществляют фотографирование ледовых объектов, а для дешифрирования фотографий необходимо точно знать высоту объектива над ледовой поверхностью и фокусное расстояние фотоаппарата. Результаты судовых ледовых наблюдений наносят на бланковые карты с помощью условных обозначений. Картированию подлежат льды материкового происхождения, встречающиеся в море. Они делятся на неподвижные и дрейфующие.

К неподвижным льдам материкового происхождения относятся:

язык ледника – часть ледника, сильно выдвинутая в море, находящаяся на плаву и иногда простирающаяся от берега на многие десятки миль, имеет большую ширину;

шельфовый лед – ледовые образования, формирующиеся в результате накопления фирно-снеговых масс длительный ряд лет на многолетнем припайном льде, возвышающиеся над уровнем моря более чем на 2 м и обычно имеющие волнообразную поверхность;

ледяной барьер – край ледникового языка или шельфового льда, возвышающийся над уровнем моря от 2 м до нескольких десятков метров.

К дрейфующему льду материкового происхождения относятся:

айсберг – отделившаяся часть ледника-глетчера или шельфового льда, дрейфующая в море и имеющая высоту свыше 5 м над уровнем моря;

ледяные дрейфующие острова – огромные обломки шельфового льда с волнистой поверхностью длиной 15 миль и более, дрейфующие в Северном Ледовитом океане.

Айсберги бывают: столообразные – плосковершинные айсберги, имеющие большие горизонтальные размеры, особенно в южной части Северного Ледовитого океана; пирамидальные айсберги, имеющие остроконечную неправильной формы вершину и сравнительно малые горизонтальные размеры; язык айсбергов – ряд айсбергов, расположенных у берега в виде цепочки и удерживающихся на месте с креплением с грунтом или соединенными между собой неподвижными перемычками; обломки айсберга – значительные глыбы льда, отломившиеся от айсберга или от ледника и возвышающиеся не более чем на 5 м над уровнем моря; куски айсберга – малые по величине обломки айсберга.

Наблюдения над айсбергами проводятся по 10-балльной (от 0 до 9 баллов) шкале сплоченности айсбергов. Глубина погружения айсбергов определяется удельным весом льда и зависит в основном от наличия во льду пузырьков воздуха. В среднем это соотношение составляет 1:5, т.е. пять частей высоты айсберга находится под водой.

9.6. Наблюдения за льдами с летательных аппаратов

Рассмотренные методы ледовых наблюдений производятся, как правило, в отдельных точках и выполняются к тому же не всегда регулярно (особенно при проведении экспедиционных исследований). Все это не позволяет получить целостную картину распределения и динамики льдов и в отдельных морях и в более обширных районах океанов. Такая возможность появилась после изучения ледового покрова с воздуха.

Поначалу наблюдения производились экипажами самолетов, но затем, с повышением требований к качеству ледовой информации, в состав экипажей самолетов ледовой разведки были введены бортнаблюдатели-океанологи. Использование авиации в ледовых исследованиях обеспечило регулярной информацией о распределении льдов, позволило выявить важнейшие закономерности формирования, стросния и разрушения ледового покрова, что особенно важно для улучшения краткосрочных и долгосрочных ледовых прогнозов.

При аэровизуальных наблюдениях с малых высот (50 – 500 м) наблюдатель по характеру поверхности, состоянию снежного покрова, типу наслоений, торосистых образований и другим косвенным признакам определяет все основные характеристики ледяного покрова. Но аэровизуальным наблюдениям присуща недостаточная точность определения характеристик и географической привязки, субъективность оценок и ограниченная полоса обзора. Все это вызвало необходимость использования различной аппаратуры при проведении авиационных ледовых наблюдений.

Для проведения научных и режимных исследований ледового покрова единственным инструментом, хорошо зарекомендовав-

шим себя, долгое время были аэрофотоаппараты различных конструкций. Результаты анализа и обобщения материалов этих съемок позволили значительно изменить представление о роли торошения в формировании ледяного покрова, а также выявить блочный характер распределения многолетних льдов и раскрыть многие закономерности динамики и деформации льдов. Но как средства непосредственной проводки судов, особенно в арктических районах, этот метод не оправдал возлагавшихся на него надежд.

С середины 50-х гг. самолеты ледовой разведки стали снабжаться навигационными панорамными радиолокационными станциями. Но им присущи существенные недостатки: низкая разрешающая способность; неравномерная контрастность изображения, что выявило возможность использования лишь для картирования положения кромки льда за пределами визуальной видимости. В начале 60-х гг. стали использоваться радиолокационные станции бокового обзора, имеющие по сравнению с панорамными РЛС на порядок более высокую разрешающую способность. У нас в стране, в НПО «Ленинец» (Санкт-Петербург) были разработаны два типа РЛС БО «Торос» в 1968 г. и «Нить» в 1972 г. В 1972 г. в Рижском институте инженеров Гражданской авиации был разработан способ измерения толщины морского льда при помощи последовательности видеоимпульсов и создан бортовой макет радиолокационного импульсного измерителя толщины морского льда.

К 1960 г. можно отнести начало спутниковых ледовых наблюдений, когда с запущенного в США ИСЗ «Тайрос-1» была проведена телевизионная съемка, правда, в основном облачности. Затем для этой цели использовались спутниковые системы ЭССА, «Нимбус», NOAA. В 1966 г. был запущен отечественный ИСЗ «Космос-122» — пионер спутниковых ледовых наблюдений в СССР. И уже к 70-м гг. спутниковая информация широко используется как дополнение к ледовым авиаразведкам. К настоящему времени уже ряд отечественных и зарубежных спутников («Алмаз», ERS-1) оборудованы радиолокационными станциями бокового обзора с синтезированной апертурой (РСА), по своим тактико-техническим данным аналогичными с самолетным РСА и РЛС БО (разрешение 25 – 30 м, полоса обзора 80 – 100 км). В начале 80-х гг. были разработаны и внедрены в практику ледовых наблюдений спутники с комплексами бортовой аппаратуры, вклю-

чающими сканирующие радиометры видимого, инфракрасного диапазонов, РСА и РЛС БО; самолеты, оснащенные трассовыми и сканирующими ИК- и СВЧ-радиометрами, радиолокационными измерителями толщины морского льда и современным навигационным оборудованием. И можно сказать, что в 90-е гг. аэрокосмические дистанционные методы стали основными в ледовых исследованиях.

При использовании дистанционных методов для ледовых исследований необходимо помнить, что они являются косвенными, позволяющими получать информацию о ледовых характеристиках с помощью альбедо, коэффициента отраженного рассеяния, радиационной температуры и других радиофизических параметров ледовых образований. Поэтому для разработки методов дешифрирования и интерпретации результатов дистанционных измерений их необходимо проводить совместно с контактными методами исследования ледового покрова. Все это позволяет изучить информационные свойства и технические характеристики средств дистанционного зондирования и выявить прямые и косвенные дешифровочные признаки морских льдов в различные сезоны.

Кроме того, летательные аппараты используются для получения более высокой точности определения некоторых параметров ледяного покрова, что достигается при помощи самолетных и вертолетных десантов в любых районах. С их помощью исследуются: пространственная изменчивость возрастных характеристик и форм дрейфующего льда; высота торосов и снежного покрова, а также обеспечение доставки кернов на береговые базы для изучения физико-механических свойств льда.

Проведение непосредственно контактных исследований льда, выполняющихся в точках, на ограниченных площадках, профилях, совместно с аэрофотографическими, радиолокационными и другими дистанционными измерениями, позволило не только выполнять калибровку дистанционных средств, но и статистически оценить распределение излучаемых ледовых образований на прилегающих акваториях и перейти к описанию всего ледового покрова. Кроме того, наблюдения на специальных калибровочных полигонах всегда позволяли получать информацию о режимных и статистических характеристиках ледового покрова. Все это дало возможность сравнительно хорошо изучить процессы образования, нарастания, деформации, таяния, снегонакопления, морфометрии

верхней поверхности морских льдов, прочностные, теплофизические и электрические характеристики различных льдов.

9.7. Исследование нижней поверхности льда

Долгое время совершенно не изученными оставались процессы, происходящие на нижней поверхности льда; ее рельеф, строение подводной части ледовых образований. В 1956 г. В.С. Лошилов (ААНИИ) впервые провел подледные съемки с помощью двух малогабаритных фототеодолитов, помещенных в водонепроницаемый бокс. С 1969 г. группа под руководством В.Д. Грищенко начала в самых различных полярных районах подводные наблюдения и исследования с использованием водолазной техники и с широким использованием фото-, кино- и видеосъемки.

Проведение подобных работ, носивших в основном ледово-океанологическую направленность, позволило получить новые данные о макро- и микрорельефе подводной части морских льдов различных видов и межгодовой изменчивости, а также о связи между параметрами подводного и надводного рельефов. Также выявлены закономерности таяния и нарастания морских льдов под водой при совокупном воздействии различных термодинамических факторов, исследованы особенности морфологии торосов на морских льдах в условиях открытого океана и на мелководье. Проведены исследования тонкой термохалинной и динамической структур приледного слоя моря.

Глава 10

НАБЛЮДЕНИЯ НАД ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ВОДЫ

10.1. Общие положения

Химические элементы и соединения, находящиеся в морской воде в виде растворов, взвесей, осадков и пленок, определяют химический состав воды и называются гидрохимическими характеристиками. Гидрохимия изучает состав, происхождение и изменение количества химических элементов и соединений, находящихся в воде. Характерной особенностью морской воды является наличие в ней значительного количества растворенных веществ, что определяет важнейшие свойства воды и особенно необходимо для целей Комплексного управления прибрежной зоной. Это тем более важно, учитывая, что водные массы в море находятся в непрерывном движении. Количество и состав растворенных в них веществ под влиянием окружающей среды изменяются непрерывно в течение года, по сезонам и даже в течение суток. Также изменчивость состава воды наблюдается и по горизонтали, и по вертикали. При этом изменения количественно различны у разных компонентов состава. Природные воды различаются между собой не только по содержащимся в них химическим элементам, их концентрации и соотношению между ними, но и по форме соединений элементов.

Закономерности изменения состава воды могут быть поняты только при одновременном учете всех причин, вызывающих эти изменения. Это различные процессы (физические, химические, биологические, биохимические и антропогенные), протекающие как непосредственно в воде, так и в граничащих с ней средах, например, при взаимодействии воды с атмосферой, льдом, твердыми взвешьями, живыми организмами, донными отложениями, берегом, т.е. по всей водной толще.

К физическим факторам, меняющим химический состав воды, относятся ветровое и конвективное перемешивание вод с различ-

ной соленостью и солевым составом, перенос инородных вод с течениями, распреснение морских вод при выпадении осадков, осолонение при льдообразовании и т.п. К ним относятся также увеличение концентрации растворенных веществ вследствие испарения воды или перехода ее в лед, уменьшение концентрации в результате выпадения атмосферных осадков, концентрации паров воды и ледотаяния.

К химическим факторам относятся реакции (химические) между растворенными веществами, например, осаждение или растворение карбонатов кальция и магния под влиянием химических условий среды. Химические и физико-химические процессы включают также растворение солей, выделение солей из раствора, поглощение газа водой, выделение газа из воды, обмен ионов между твердым веществом и ионным составом воды, адсорбцию, установление равновесия в химических системах, окислительно-восстановительные процессы.

К биологическим факторам относится изменение химического состава в результате жизнедеятельности морских организмов, например, ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза, разложение и минерализация органических остатков, хемосинтез, минерализация органических веществ и связанные с ним биохимические процессы, регенерация биогенных элементов, десульфуризация и т.д. Для гидробиологии знание гидрохимического режима является основой для понимания условий жизни морских организмов, их питания и развития. Организмы в воде и состав воды тесно связаны между собой рядом обусловленных процессов. Без растворенных веществ не было бы жизни в море, так же как и совершенно иной был бы гидрохимический режим океана без живых организмов. С химией морских вод связаны биологические вопросы возникновения жизни на Земле и проблемы использования органической продукции в морях в будущем.

Влияние антропогенных факторов, обусловленных деятельностью человека, заключается в загрязнении вод промышленными и бытовыми сточными водами, в изменении режима морей и их отдельных районов в результате хозяйственной деятельности людей, включая и водохозяйственные мероприятия в бассейнах морей, и т.п.

Количество растворенных минеральных веществ (солей), выраженное в граммах на килограмм морской воды, называется ее соленостью. Химический состав природных вод с некоторой условностью можно разделить на пять групп: главные ионы, то есть ионы, содержащиеся в наибольшем количестве (хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные, карбонатные, натрия, калия, магния и кальция); растворенные газы (кислород, азот, двуокись углерода, сероводород и др.); биогенные элементы (соединения азота, фосфора, кремния); микроэлементы, к которым относятся все остальные химические элементы; органические вещества.

10.2. Состав и объем работ

Состав и объем наблюдений за химическими компонентами морской воды, как правило, определяется техническим заданием на исследования и программой работ. Отбор проб воды на гидрохимический анализ производится одновременно с гидрофизическими исследованиями с берега, на многосуточных станциях и при выполнении океанографической съемки на стандартных горизонтах с учетом сезонных колебаний изучаемых характеристик.

К числу химических соединений, содержание которых необходимо определять, относятся: соленость, карбонатная щелочность, концентрация ионов водорода, содержание ионов магния, ионы натрия и калия, сульфатные, гидрокарбонатные и карбонатные ионы. Определяются также газы, содержащиеся в морской воде: хлор, углекислый газ, кислород, сероводород. Для исследования загрязненности морской воды определяется и содержание в ней загрязняющих веществ: нефтяных углеводородов (растворенных и эмульгированных в воде, нефтяной пленки, нефтяных агрегатов), хлорированных углеводородов (в том числе пестицидов), кремния, тяжелых металлов (свинец, кадмий, медь, ртуть), синтетических поверхностно-активных веществ, фенола. В каждом конкретном случае качество и количество определений химических соединений, газов и загрязняющих веществ задается программой исследований.

В рамках КУПЗ очень важно получать следующие основные гидрохимические характеристики:

– средние и экстремальные значения солености воды по месяцам;

– повторяемость и обеспеченность среднемесячных и среднегодовых значений солености по месяцам;

– среднемесячный солевой состав в устьевых и распресненных водах по месяцам (ионный состав, сумма ионов, двуокись углерода, рН);

– среднегодовой и среднемноголетний солевой состав воды (ионный состав, сумма ионов, жесткость);

– средние и крайние сезонные значения газового состава, биогенных веществ и веществ-загрязнителей, используемых в качестве дополнительных характеристик. Иногда вещества-загрязнители занимают первостепенное значение, например, при исследованиях для рыбозаведения и курортного строительства.

Перед началом натурных гидрохимических исследований необходимо проанализировать ранее выполненные результаты наблюдений. Необходимость проведения и объем натурных гидрохимических исследований крайне важно определять на основе анализа материалов наблюдений и методов расчета.

Кроме того, контроль качества воды морей и устьевого взморья рек, включая их замыкающие створы, по физическим, химическим и гидробиологическим показателям, осуществляется Общегосударственной службой наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК). Существуют пункты контроля ОГСНК 1, 2 и 3 категорий, которые определяются с учетом расположения и мощности источника загрязнения, состава, концентрации, и форм загрязняющих веществ, физико-географических, и региональных особенностей. Пунктом контроля качества морских вод называется место на акватории моря, где выполняют комплекс работ для получения данных о качестве воды, предназначенных для последующего обобщения во времени и пространстве и выдаче обобщенной систематической информации заинтересованным организациям. Границы пунктов контроля определяются для каждого моря и устьевого взморья индивидуально с учетом гидрометеорологического режима, распространения загрязняющих веществ и физико-географических характеристик.

Пункты контроля 1-й категории предназначены для проверки качества морских вод в прибрежных районах, имеющих важное хозяйственное значение. Их располагают в районах: водопользо-

вания населения; в местах нереста, нагула и скопления рыб и других морских организмов; в портах и припортовых акваториях; местах сброса городских сточных вод и сточных вод промышленных и сельскохозяйственных комплексов; разведки, добычи, разработки, транспортировки полезных ископаемых; на устьевом взморье больших рек.

Пункты контроля 2-й категории организуют для контроля качества морских вод в прибрежных районах и в районах открытого моря, для исследования сезонной и годовой изменчивости загрязненности морских вод. Их располагают в районах, где поступление загрязняющих веществ происходит за счет миграционных процессов.

Пункты контроля 3-ей категории предназначены для контроля качества морских вод в районах открытого моря, для исследования годовой изменчивости загрязненности морских вод и для расчета баланса химических веществ. Пункты располагают в районах с наиболее низкими концентрациями загрязняющих веществ.

10.3. Обоснование необходимости работ

В рамках Комплексного управления прибрежной зоной моря сведения о химическом режиме морских вод в основном необходимы для выяснения загрязненности морских вод и борьбы с ней, а также для оценки процессов коррозии металлов и других строительных материалов, используемых при прибрежном гидротехническом строительстве, разведке и добыче полезных ископаемых на континентальном шельфе, прокладке и эксплуатации различного типа подводных трубопроводов. В зависимости от назначения сооружений и целей эксплуатации водоемов определяется комплекс гидрохимических исследований и их объем.

Для рыбохозяйственных и мелиоративных мероприятий необходимо знать режим солености, питательных солей, pH, газовый режим и режим веществ-загрязнителей, что также крайне важно и при развитии химической добывающей промышленности, и при выборе и эксплуатации районов культурного водопользования и при сооружении опреснительных установок.

Информация о загрязнении используется для разработки мер, направленных на предотвращение ущерба, который может быть нанесен биологическим ресурсам в исследуемых районах при ос-

воении месторождений различных полезных ископаемых и в результате антропогенного воздействия.

Как правило, на коррозию материалов, находящихся в морской воде, оказывают влияние различные факторы: химические (кислород, двуокись углерода, соленость, водородный показатель pH и растворимость карбонатов), физические (температура воды, пузырьки воздуха, взвешенный ил и гидростатическое давление), биологические (обрастание).

Обычно основной вклад в ускорение коррозии вносит концентрация растворенного кислорода. Повышение pH вызывает возрастание тенденции к образованию защитного осадка карбонатного типа. Увеличение скорости течения, которое сопровождается образованием пузырьков воздуха и наличием взвешенных частиц ила, также приводит к коррозии. Биологическое обрастание, как правило, уменьшает ее интенсивность, но иногда приводит к образованию локальных очагов коррозии. При увеличении солености морской воды повышается ее электропроводность, что также приводит к ускорению коррозии материалов. Эксперименты показали, что наибольшее увеличение коррозии возникает при концентрации солей свыше 10 %. Скорость коррозии металлов в морской воде колеблется от 75 до 125 мкм/год. В том случае, когда на поверхности стали имеются участки с заводской окалиной, то в течение полугода коррозия может достичь 1,5 мм.

Всегда необходимо иметь в виду, что определение гидрохимических компонентов морской воды основано на постоянстве соотношений между основными составляющими солевого состава. Исходя из этого, целый ряд характеристик гидрохимического режима вычисляется по результатам стандартных гидрохимических определений и гидрометеорологических наблюдений.

10.4. Отбор проб воды на гидрохимический анализ

10.4.1. Методы отбора проб воды

При отборе проб воды для выполнения гидрофизических и гидрохимических исследований главным требованием является: взятие пробы точно с заданного горизонта и предохранение ее от

перемешивания с водой других слоев, от испарения и от химического воздействия используемого для отбора пробы устройства и посуды, предназначенной для ее хранения. Неправильный отбор проб приводит к ошибочным результатам анализа, причем эти ошибки в дальнейшем нельзя исправить.

Существует методологическое различие отбора проб воды из тонкого поверхностного слоя (толщина от нескольких микрометров до 1 – 2 см), берущихся специальными приборами, и с различных горизонтов, включая поверхностный слой толщиной не более 1 м, где пробы могут браться ведром, шлангом или батометром.

Способы отбора проб морской воды на химический анализ определяются задачами исследований, концентрациями и особенностями распределения химических веществ. Взятие проб морской воды производится обычно двумя основными способами: шланговым и батометрическим. Шланговый способ используется сравнительно редко. Он предназначен для получения проб большого объема и на небольших глубинах. Сущность его заключается в использовании насоса, с помощью которого по длинному шлангу, опущенному на заранее заданный горизонт, вода подается на борт судна. В последнее время при использовании буксируемых измерительных систем стал применяться отбор проб воды с помощью электропомпы и передача ее на борт судна по тефлоновому шлангу с внутренним диаметром 8-10 мм, помещенным внутри кабельтроса. Подобная методика отбора проб воды, по-видимому, найдет широкое применение, особенно при буксировке носителя по синусоидальной (пилообразной) кривой.

Необходимые объемы проб воды определяются видами исследований, предусмотренными программой работ экспедиции. Так, для определения солености воды и концентрации растворенного кислорода объем проб воды с одного горизонта должен быть не менее $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. При выполнении стандартного комплекса гидрохимических определений (соленость, кислород, pH, щелочность, биогенные элементы) объем пробы должен быть не менее $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. При исследовании химических загрязнений объем пробы не должен быть менее 7 – 10 л, а при определении радиоактивности воды объем пробы составляет уже 50 – 200 л.

Пробы воды из поверхностного слоя моря обычно берутся чистыми оцинкованными, эмалированными или полиэтиленовыми ведрами. Пробы воды с глубинных горизонтов обычно отбираются батометрами, которые представляют собой цилиндрические сосуды, с закрывающимися под водой на заданном горизонте крановыми затворами или крышками.

В океанологической практике встречаются опрокидывающиеся и неопрокидывающиеся батометры различного объема. Опрокидывающиеся батометры кроме отбора проб позволяют измерять температуру воды с помощью глубоководных опрокидывающихся термометров, установленных в специальных оправках на батометрах. Неопрокидывающиеся батометры в основном предназначены для отбора проб воды, правда, в некоторых их конструкциях предусмотрены опрокидывающиеся оправы для термометров. Батометры опускают открытыми на заданные горизонты с борта судна с помощью лебедок на тросе. Поэтому при их опускании вода верхних слоев в них не задерживается. Необходимо следить за герметичностью закрытия батометров и за окисляемостью внутренней поверхности батометров.

Наиболее широко используемыми у нас являются серийно выпускаемые батометры БМ-48 (прообразом которых являлся батометр Ф. Нансена). Широко также используются механические автоматические батометры-батитермографы, например, типа ГМ-7-111, предназначенные для автоматической регистрации температуры воды по глубине и взятия проб воды на стандартных горизонтах с борта судна. В последнее время в океанологическую практику все больше входят кассеты батометров различных объемов механического и электронного типов.

10.4.2. Приборы и устройства для отбора проб воды

Батометр морской БМ-48 (рис. 10.1) предназначен для взятия проб воды с различных глубин с одновременным измерением температуры воды исследуемого горизонта с помощью глубоководных опрокидывающихся термометров. Он представляет собой латунный цилиндр емкостью 1 л, длиной 650 мм с крановыми затворами и щелевыми отверстиями длиной 60 и шириной 12 мм на обоих концах, кронштейнов для крепления 2-пенальной рамы

с термометрами, зажимного устройства батометра и спускового механизма. Зажимное устройство состоит из основания, планки, прижимаемой к основанию барашковым винтом, и механизма крепления посыльного грузика, представляющего собой рычаг с крючком, конец которого входит в запил основания. Гидрологический трос пропускается между планкой и основанием и зажимается барашковым винтом. Посыльный грузик крепится к устройству на проволоочном поводке с петлей, которая насаживается на верхний конец крючка в запил основания. Крючок поддерживается в верхнем положении рычагом, имеющим плоскую пружину.

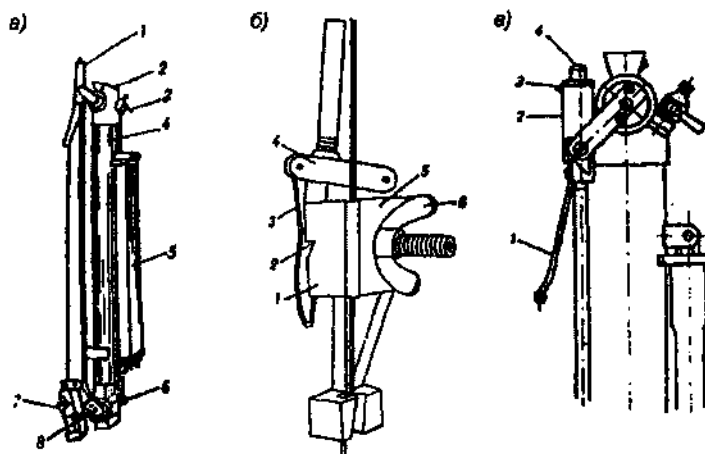


Рис. 10.1. Батометр морской БМ-48: *а* – общий вид: 1 – спусковой механизм; 2 – щелевидные отверстия; 3 – кран; 4 – латунный цилиндр; 5 – двухпенальная рама для термометров; 6 – пробка; 7 – зажимное устройство; 8 – крановые затворы; *б* – зажимное устройство: 1 – основание; 2 – запил основания; 3 – крючок; 4 – рычаг; 5 – планка; 6 – барашковый винт; *в* – спусковой механизм: 1 – пластинчатая пружина; 2 – втулка; 3 – крючок; 4 – плунжер.

Спусковой механизм представляет собой так называемое байонетное устройство, состоящее из втулки с продольным пазом, который перекрывается в верхней части крючком, скрепленным с плунжером, удерживаемом в верхнем положении спиральной пружиной, заключенной во втулке. Байонетное устройство служит для удержания батометра у троса, что достигается заведением троса под крючок плунжера, и для освобождения верхнего конца батометра от зацепления с тросом при ударе посыльного грузика о плунжер.

К нижней части спускового механизма прикрепляется пружина пластинчатого типа для повышения устойчивости положения прибора. Все части батометра, за исключением пружин и прокладок, изготавливаются из латуни.

Перед подвешиванием к тросу батометр нужно привести в рабочее положение: вставить в оправу глубоководные термометры, закрыть сливной кран и завинтить до отказа воздушный клапан, отвернуть барашек на зажиме троса и открыть крановые отверстия. Затем батометры для работы закрепляются на тросе. Если батометры опускаются в воду сериями, то, начиная со второго батометра (так как первым подвешивается концевой батометр) на крючок зажимного устройства подвешивают посыльный грузик, который в свою очередь надевают на трос.

Батометр ГМ-42 разработан НИИ ГМП, выполнен целиком из нержавеющей стали (рис. 10.2) и позволяет отбирать пробы воды объемом до 54 л с разных глубин. Он представляет собой полый цилиндр (9) диаметром 250 и длиной 1100 мм, с массой без воды 25 кг. На обоих концах цилиндра расположены откидные крышки (10) с резиновыми прокладками в виде дисков для обеспечения герметичности. Болтами по бокам крышек прикрепляются концы тросов (4), которые затем пропускаются через скобки (11) и с помощью огонов с коушами через общее кольцо присоединяются к крюку размыкающего устройства. Захлопывающий крышки и поддерживающий их в закрытом положении трос (3) пропущен через ролики (1) и прикреплен болтами сверху крышек. Огон с коушем на конце троса (6) с помощью такелажной скобы неразъемно присоединен к размыкающему устройству (7), представляющему собой планктонный вертлюжный размыкатель ПВР-60, разработанный в ИО РАН.

Батометр опускают в воду с открытыми крышками, которые тросами (4) прижимают их к ножкам батометра, при этом трос (3) находится в ненапрянутом состоянии.

Посыльный груз массой 800 г опускается по тросу (6) и ударяет по штоку размыкающего устройства, что освобождает систему тросов (4), а сам батометр под действием собственного веса опускается несколько вниз и натягивает трос (3), при этом закрываются крышки батометра. Слив воды производится через клапан (13) при

помощи специального сливного устройства, а доступ воздуха в батометр достигается вращением крышки (8) воздушного отверстия.

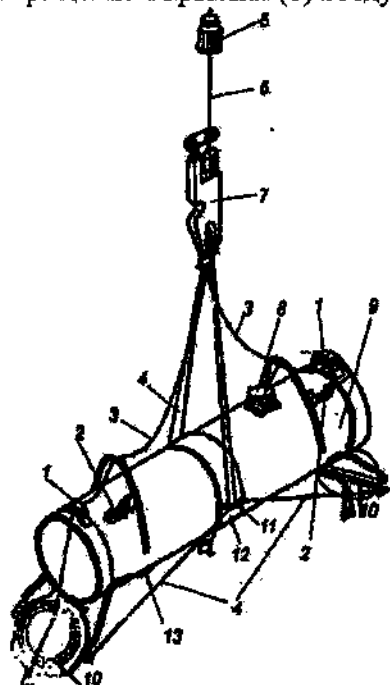


Рис. 10.2. Батометр ГМ-42: 1 – ролики; 2 – накидные болты; 3 – тросы управления крышками; 4 – концы тросов; 5 – посыльный груз; 6 – трос подвески батометра; 7 – размыкатель; 8 – крышка воздушного отверстия; 9 – полый цилиндр; 10 – откидные крышки; 11 – скобки; 12 – хомут; 13 – клапан слива воды.

Батометр для взятия проб воды на загрязнение (рис. 10.3) представляет собой пластмассовый цилиндр (5) емкостью 7 л, диаметром 120 мм, длиной 595 мм и с системой закрытия, которая крепится к корпусу батометра хомутиками (3). Система закрытия состоит из крышек (2) с резиновыми прокладками (1) и штуцерами (15) (для впуска воздуха в батометр) и (6) (для слива пробы). Крышки батометра приводятся в действие тягами (8) с помощью резиновых тяжей (11).

Рабочее положение батометра (с открытыми крышкам и натянутыми на ролики (12) резиновыми тяжами) фиксируется зацеплением зуба (10) с пазом на кулисе (9). Батометр крепится к тросу с помощью зажимного устройства, как у батометра БМ-48, при

этом его поддерживают за ручку (13). Посыльный грузик ударяет по штоку (14), который, двигаясь вниз, выводит из зацепления зуб (10), и тяги (8) под действием резиновых тяжей закрывают крышки батометра. После этого шток (14) возвращается в исходное положение с помощью упругой резиновой пластины (4). Для срабатывания последующего батометра предусмотрено приспособление (7) для подвески посыльного грузика.

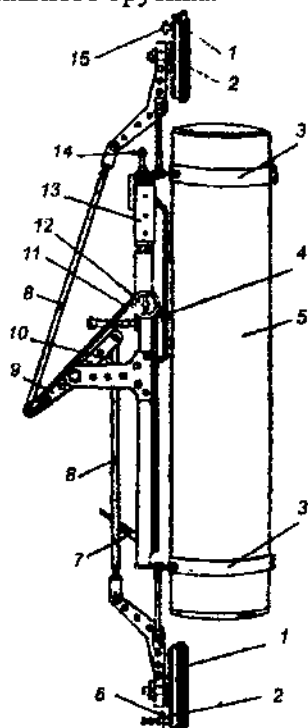


Рис. 10.3. Батометр на взятие проб на загрязнение.

В последнее время нашли широкое применение морские батометры Нискина, или по классификации фирмы GO, типа 1010 (рис. 10.4). Батометры цилиндрической формы изготовлены из PVC-пластика, что в значительной степени уменьшает их вес, экономит цветной металл. Кроме того, пластмассовые батометры не подвергаются коррозии и в меньшей степени подвержены обрас-танию. Они выпускаются емкостью от 1,2 до 30 л. Батометры снабжены откидными крышками с прокладками с обеих сторон

цилиндра. Тяги крышек в виде резиновых жгутов помещены внутри батометров. Крепежные узлы батометров, также выполненные из пластика, крепятся снаружи батометров. Первые батометры Нискина были предназначены для выполнения гидрологических серий при производстве океанографических станций. Для этой цели батометры могут быть снабжены двух-, трех- или четырехпенальными рамами для размещения глубоководных опрокидывающихся термометров и термометров-глубомеров, зажимным устройством для подвешивания батометра на трос и спусковым устройством. При ударе посыльного грузика о спусковое устройство освобождаются тяги, удерживающие откинутые подпружиненные крышки батометра, которые при этом захлопываются, и затвор подпружиненной трехпенальной оправы, переворачивающейся после этого вместе с термометрами.

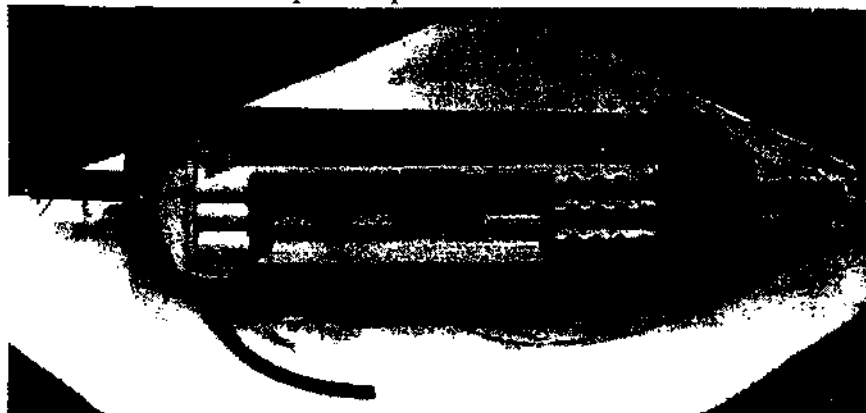


Рис. 10.4. Батометр Нискина.

Батометр-батитермограф ГМ-7-111 (рис.10.5) предназначен для автоматической регистрации температуры воды, глубины погружения прибора и взятия проб воды на стандартных горизонтах с борта судна. Прибор состоит из термоблока, батиблока, восьми батометров для отбора проб и корпуса с механизмом закрывания батометров на заданных горизонтах.

Основные технические характеристики:

Диапазон измерения температуры воды, °С	-2 ... 30
Погрешность измерения температуры воды, °С	±0,1
Измерение глубины погружения прибора, м	2 – 200

Погрешность измерения глубины погружения прибора:

до 30 м, % от глубины ± 1

свыше 30 м, % от глубины ± 3

Горизонты отбора проб воды, м 10, 15, 25, 50, 75, 100, 150, 200

Погрешность глубины отбора проб воды, м $1,5 \pm 0,03$ глубины

Емкость батометров, м³ $1 \cdot 10^{-3}$

Масса, кг 15

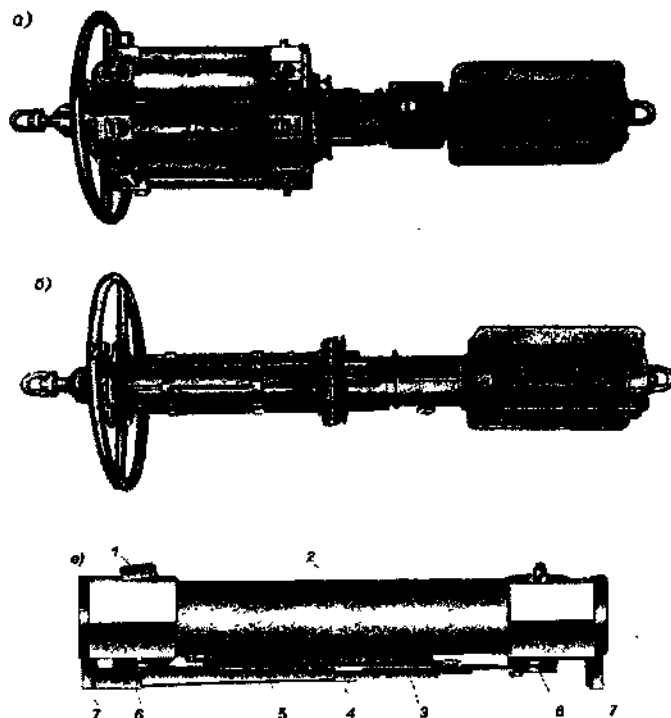


Рис. 10.5. Батометр батитермограф ГМ-7-III:

а – общий вид; б – прибор со снятыми батометрами; в – батометр.

Устройство термо- и батиблока аналогично ГМ-9-111. Механизм закрывания батометров (рис. 10.5) состоит из двух фасонных колец, восьми подпружиненных штоков различной длины, на которых укреплены специальные втулки с зубьями, и упорного кольца батиблока. Каждый батометр (рис. 10.5, в) представляет собой цилиндр (2) с двумя коническими затворными клапанами (6), связанными тягой (3), на которой расположен фиксатор (4).

Тяга приводится в движение пружиной (5), прикрепленной одним концом к корпусу. Один из затворенных клапанов снабжен ручкой (1). На обоих концах цилиндра имеются фланцы (7) для закрепления сосуда на фасонных кольцах.

Перед спусканием прибора затворные клапаны каждого батометра взводятся ручкой, при этом фиксатор входит в зацепление с зубом втулки. Поэтому при опускании через каждый батометр свободно проходит вода. При достижении первого заданного горизонта упорное кольцо, передвигаясь вместе со свободным концом батиблока, надавливает на самый длинный шток, продвигая его и освобождая фиксатор, что позволяет тяге батометра под действием пружины поворачивать затворные клапаны. Также срабатывают и все остальные батометры. Работа с прибором ГМ-7-111 может производиться как на стоянке, так и на ходу судна.

В настоящее время для отбора проб морской воды широкое распространение в океанографической практике нашли автоматические кассеты батометров механического и электронного типов.

В качестве примера кассеты батометров механического типа можно привести *устройство для отбора проб воды (пробоотборник)*, разработанное в ЦКБ ГМП (Обнинск). Пробоотборник с гидростатическим управлением предназначен для отбора проб воды с борта судна или неподвижного основания. Пластмассовые батометры закрываются автоматически на предварительно заданной глубине в слое 10 – 200 м. Каркас с батометрами крепится на тросе диаметром 3 – 6 мм. Возможно индивидуальное (без каркаса) использование любого батометра. В основной комплект пробоотборника входит: 4 батометра с гидростатами – устройствами для фиксации глубины срабатывания батометров (захлопывание крышек батометров); каркас, обеспечивающий установку 4-х батометров емкостью 1 л; устройство для создания давления при калибровке гидростатов с возможностью подключения деформационного манометра при установке порога срабатывания гидростата. Точность срабатывания гидростата $\pm 3\%$ от установленной глубины.

Как правило, автоматические кассеты батометров используются совместно с различного типа СТД-системами. Так, например, для СТД-системы «Гидрозонд» в ЦКБ ГМП группой под руководством Н. М. Скурихина была разработана *кассета батометров*

для отбора проб воды. Устройство для взятия проб воды на заданных горизонтах состоит из цилиндрического полого основания, расположенных вокруг него батометров с пружинами для их закрытия, механизма управления и ограждения. Основание представляет собой тонкостенную трубу, внутри которой в верхней части размещается механизм управления, а в нижней – корпус зондирующего устройства при агрегатировании с ним. На наружной поверхности основания приварены в два ряда кронштейны для установки батометров, которые одеваются на штыри нижних кронштейнов и фиксируются на верхних кронштейнах пружинными защелками. При такой конструкции время на установку или снятие каждого батометра не превышает 5 с.

Механизм управления срабатыванием батометров содержит электромагнитный (соленоидный) шаговый двигатель, состоящий из электромагнита, храпового механизма и системы рычагов, размещенных в герметичном корпусе. Вал механизма управления через сальниковое уплотнение выведен наружу корпуса. На валу укреплен диск с радиальной прорезью, а на периферии верхнего основания корпуса установлены на осях двуплечные рычаги. При воздействии на наружные плечи этих рычагов (через серьги и рычаги барабанов) усилий от закрывающих пружин батометров внутренние плечи прижимаются к диску. Крышки батометров при этом открыты.

С поступлением электрических импульсов на электромагнит осуществляется пошаговое вращение диска. При этом радиальная прорезь на диске устанавливается поочередно над каждым из двуплечных рычагов. Рычаг поворачивается, серьга рычага батометра соскакивает с него, и крышки соответствующего батометра закрываются. Электрические импульсы на электромагнит механизма управления поступают по кабелю через герморазъем из блока питания зондирующего устройства. Они формируются там либо автоматически по достижению СТД-системой заранее заданных горизонтов, либо по команде оператора, управляющего работой СТД-системы с борта судна.

В качестве материала для батометров был выбран стеклонеполненный поликарбонат «Дифлон-НКС», обладающий высокой механической прочностью, стабильностью всех характеристик, стойкостью к воздействию водных растворов минеральных солей

и кислот окислителей, малым удельным весом. Поликарбонат пригоден для использования и в тропических условиях. Его можно обрабатывать на всех современных машинах для литья под давлением и подвергать механической обработке. Использование же батометров типа БМ-48 (кассета батометров для СТД-системы «Зонд-батометр») ненадежно из-за конструктивных и технологических недостатков. Батометры изготовлены из латуни с внутренним антикоррозийным покрытием, которое нарушается в процессе эксплуатации. Масса его – 4,5 кг ведет к увеличению массы всей кассеты и расходу цветного металла. «Хронической болезнью» БМ-48 является ненадежная герметичность крановых затворов. В процессе эксплуатации приходится регулярно заниматься их притиркой. Но притирка совместно с отложением солей ведет к увеличению момента вращения кранов. Применение смазки кранов для уменьшения этого момента искажает химический состав пробы. Батометр представляет собой цилиндр с системой рычагов и пружин, обеспечивающих герметичное закрытие крышек. На нижней крышке установлен кран для слива отобранной пробы воды, а на верхней – воздушный кран для уравнивания давления внутри и снаружи батометра при отборе проб на борту судна.

Основные характеристики кассеты батометров:

Максимальная глубина погружения, м	6000
Число батометров в кассете, шт.	24
Емкость батометров, м ³	не менее $1 \cdot 10^{-3}$
Миним. время между закрытием 2-х соседних батометров, с	8
Габариты устройства (диаметр и высота), м	$0,74 \times 0,8$
Масса устройства, кг	56,4

Широкое распространение с различными видами СТД-систем нашли кассеты батометров типа ROSETTE, обычно выпускаемые General Oceanics (США), различных моделей. Батометры этих кассет изготавливаются из поликарбоната с внутренним покрытием, отличаются простотой конструкции, надежностью и небольшой массой. Кассеты этого типа могут использоваться и в автономном режиме.

Кассеты системы ROSETTE в вариантах на 12 или 24 батометра Нискина или типа GO-FLO выпускаются емкостью 1,2; 1,7; 2,5; 5; 8; 10; 12; 20; 30 и 40 л. Батометры GO-FLO (рис. 10.6) представляют собой жесткий цилиндр с шаровыми клапанами, изго-

товленный из PVC-пластика. Они также могут быть снабжены рамами для глубоководных термометров. Этот тип батометра позволяет отбирать более "чистые" пробы, что особенно важно при работе на акваториях с загрязненной водной поверхностью. Батометры опускаются в воду с закрытыми клапанами для предохранения их внутренней поверхности от загрязнения при прохождении поверхностного слоя, автоматически открываются на глубине около 10 м, а затем герметично закрываются на определенной глубине.

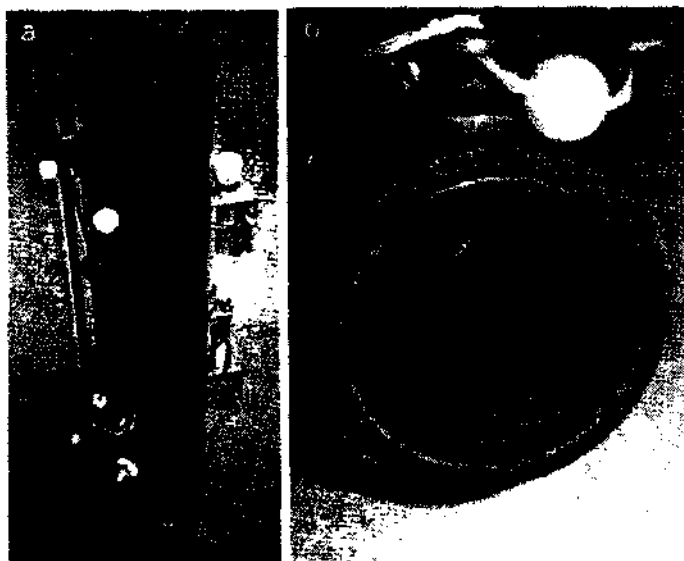


Рис. 10.6. Батометры GO-FLO: а – внешний вид; б – шаровой клапан.

Предохранение морских металлических батометров от продуктов коррозии очень сложно. Эту задачу можно решить, изготавливая батометры целиком из материалов, не подвергающихся коррозии, или защищая антикоррозионными покрытиями их внутреннюю (рабочую) поверхность. Изготовление корпуса и крышки батометра из пластмасс или коррозионно-устойчивых сплавов стало возможным только в последнее время, когда цена этих материалов стала доступной для массового производства батометров. В последние годы применяется покрытие тефлоном (фторопласт-4), полиэтиленом, полиметилметакрилатом, а также различными смолами или лаками.

10.4.3. Отбор проб воды из тонкого поверхностного слоя

Отбор проб воды из тонкого поверхностного слоя (ТПС) становится в последнее время насущной задачей, так как этот слой занимает особое положение в экологической системе моря. Структура и химический состав ТПС зависит от внешних физических параметров (волнение, ветер, температура); от биологической продуктивности и условий загрязненности, т.е. широко меняются по всей акватории Мирового океана. В процессе испарения воды ТПС обогащается солями, что приводит к повышению солености и развитию микроконвекции до глубины нескольких сантиметров. Однако вертикальная структура этого микрослоя сохраняется, поскольку органическое вещество, широко представленное в поверхностном слое, постоянно проявляет тенденцию к всплытию на поверхность. Существование поверхностных органических пленок оказывает определенное воздействие на газо-, соле-, и теплообмен моря с атмосферой, а также обуславливает своеобразный гидрохимический режим ТПС. Задачи исследования химического состава ТПС требуют использования методов, позволяющих отбирать пробы воды из возможно более тонкого поверхностного слоя, толщина которого не превышает 1 – 2 см. В противном случае происходит сильное разбавление пробы ТПС подповерхностной водой, что не дает возможности выявить характеристики тонкого поверхностного слоя.

Известно устройство для отбора проб жидкости из ТПС в виде укрепленного на поплавках тефлонового валика, который, медленно вращаясь соприкасается с водной поверхностью. Адсорбированный на поверхности валика слой удаляется скребком и попадает в приемник.

Иногда используется также устройство в виде шланга – батометра или бактерионейстонособирателя типа ампулы с открытыми концами. Недостатком подобных пробоотборников является невозможность установить толщину слоя воды, из которого отбирается проба.

В Российском государственном гидрометеорологическом университете разработано специальное устройство для отбора проб воды из тонкого поверхностного слоя (рис. 10.7). Устройство имеет цилиндрический поплавок (3), способный выдержать груз,

превышающий не менее чем удвоенный вес заполненного водой приемника и арматуры устройства. Кроме того, имеется дополнительный поплавок (4), свободно перемещающийся относительно основного поплавка.

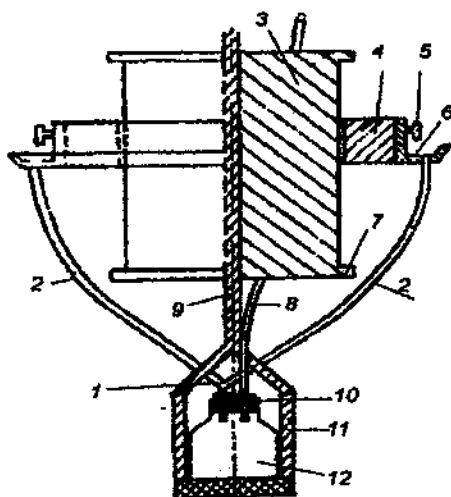


Рис. 10.7. Устройство для отбора проб воды из тонкого поверхностного слоя.

Само заборное устройство (6), выполненное в виде *L*-образной формы, крепится с помощью фиксирующего устройства (5) к поплавку (4) с возможностью занимать определенное, заранее заданное в зависимости от плотности воды положение относительно поверхности воды. В поддоне заборного устройства предусмотрены отверстия со штуцерами для стока отобранной пробы через гибкие шланги (2) в приемник пробы воды (12). Приемник пробы снабжен стеклянным тройником (1), проходящим через пробку приемника (10), трубкой (8) для выхода воздуха из приемника по мере заполнения его отобранной пробой и устройством для крепления приемника (11) с уравнивающим грузом. Металлический стержень (9), проходящий вдоль внутренней оси цилиндрического поплавка, служит для подвески всего устройства. Приспособления (7) ограничивают движение дополнительного поплавка (4) как при подъеме или опускании всего устройства, так и при заглублении цилиндрического поплавка по мере заполнения приемника пробы воды.

Перед началом работы все устройство для отбора проб на борту судна или на берегу опускается в бак с водой той же плотности, что и вода исследуемой акватории, при этом определяется необходимое заглубление наружного края *L*-образной полки заборного устройства по отношению к поверхности воды (не более 1 см), которое закрепляется фиксирующим элементом. Затем со шлюпки или непосредственно с борта судна устройство выносится на водную поверхность, где необходимо отобрать пробу воды из тонкого поверхностного слоя или пробы воды на поверхностное загрязнение. После заполнения приемника пробы все устройство поднимается на борт судна, а вода поступает на химический анализ.

Наличие возможности вертикального перемещения дополнительного поплавка относительно основного цилиндрического поплавка, а также форма заборного устройства в виде *L*-образной планки и возможность его вертикального перемещения вдоль дополнительного поплавка с фиксацией определенного положения наружного края заборного устройства относительно водной поверхности позволяют отобрать пробы воды из тонкого поверхностного слоя заранее заданной толщины от 1 см и менее. Подобное распределение степеней свободы заборного устройства позволяет ему оставаться в неизменном положении относительно поверхности воды несмотря на заглубление цилиндрического поплавка за счет увеличения силы тяжести по мере заполнения пробоприемника.

10.5. Методика проведения гидрохимических исследований

Важным принципом проведения гидрохимических исследований является их комплексность. Исследования проводятся по заранее составленному плану и с последующим анализом полученных результатов. При этом отбор проб на химический анализ должен обязательно сопровождаться гидрометеорологическими наблюдениями, результаты которых позволяют правильно оценить гидрохимическое состояние объекта. Гидрометеорологические наблюдения, как правило, производятся по стандартной программе.

Для определения пространственно-временной изменчивости гидрохимических характеристик размеры исследуемой области

определяют в зависимости от поставленной задачи. Океанографические станции при этом выбирают с таким расчетом, чтобы охватить наблюдениями зону максимальной и минимальной концентрации; источник примеси; области, где нарушается монотонное изменение свойства, т.е. выявить пространственную изменчивость явления. Для исследования временной изменчивости производятся повторные наблюдения. Их количество, частота и сроки проведения определяются поставленной задачей. В случае исследования периодических процессов наблюдения производятся, как минимум, в течение трех циклов. Исследование долгопериодных процессов заключаются в проведении наблюдений во время характерных стадий процесса. В качестве примера можно привести проблему определения роли речных вод в формировании гидрохимического режима устьевое взморья. Для этой цели рекомендуется проводить наблюдения в период паводков, межени и в промежутках между ними, а исследование, например, газового режима и режима биогенных элементов, как правило, привязывают к биологическим циклам жизни планктонных и других организмов. Наблюдения за непериодическими процессами производятся в начале их возникновения, в момент наивысшего развития и на стадии затухания.

Исследование загрязняющих явлений носит обычно локальный характер и выполняется, как правило, в районе источника загрязнения, заканчиваясь в чистой воде, где концентрация загрязняющих веществ меньше предельно допустимых концентраций, установленных ГОСТом.

Отбор проб воды на гидрохимический анализ производится на стандартных горизонтах с берега, на рейдовых станциях, на океанографических станциях при выполнении океанографических разрезов и океанографических съемок. Дополнительно отбирают пробы в придонном слое, на верхней и нижней границах слоя скачка температуры, солености, плотности, кислорода и т.п., а также в слое, где наблюдаются экстремальные свойства. При глубинах менее 10 м пробы отбирают, как минимум, на трех горизонтах: на поверхности, у дна и на промежуточной глубине. При глубинах менее 2 – 3 м пробы отбирают на поверхности и у дна. При исследовании пространственно-временной изменчивости гидрохимических элементов практикуют повторное выполнение океанографи-

ческих съемок, а также наблюдения на суточных и многосуточных станциях. Многосуточные станции обычно располагают в местах ожидаемой наибольшей изменчивости гидрохимических элементов. Совмещение повторных океанографических съемок с многосуточными океанографическими станциями оказывается наиболее эффективным способом исследования гидрохимических условий и их изменчивости.

В рамках КУПЗ представляется интересным исследование гидрохимических условий устьевого взморья. Приустьевые участки характеризуются сочетанием речных, смешанных и морских вод. Распределение этих водных масс зависит от характеристик взморья, которые могут быть отмелыми и приглубыми. На отмелем взморье каждая водная масса заполняет море до дна с почти вертикальными границами между ними. На приглубом взморье границы между этими водными массами практически горизонтальны. Здесь наблюдается отрыв речных вод от дна, а проникновение морских вод часто наблюдается и в самом речном русле, что характеризуется клином соленых вод. Кроме того, устья по своим главным гидрологическим особенностям подразделяются на приливные и бесприливные. В приливных морях на устьевых взморьях граница раздела водных масс перемещается в соответствии с фазой прилива.

При исследовании устьевого взморья наблюдениями необходимо охватывать все три водные массы. В случае исследования речных дельт океанографические разрезы располагают напротив каждого крупного рукава. Если расстояние между рукавами велико, то выполняются промежуточные разрезы. В результате образуется океанографическая съемка с всеообразным или параллельным расположением разрезов.

Наблюдения в приливных устьях рек должны производиться в одной фазе прилива с возможно максимальным временем сокращения съемки. Так, например, в морях с полусуточным приливом съемка должна быть выполнена не более чем за 2 ч, а с суточным приливом – не более чем за 4 ч. Наиболее полную информацию в приливном устье можно получить при выполнении суточных станций, дающих характеристику временной изменчивости гидрохимических элементов за приливной цикл.

10.6. Соленость морской воды и способы ее определения

10.6.1. Поле солёности

Солёность морской воды обобщенно определяет морскую воду как химическую среду, является в океанографии основой для характеристики водных масс, вычисления элементов морских течений, важным фактором при распределении живых организмов. Основное определение солёности, принятое еще в 90-х гг. XIX в., сформировано следующим образом (Океанология. Термины и определения. ГОСТ 18456-76. Москва, 1973): «Солёность морской воды есть суммарное содержание в граммах всех твердых минеральных растворенных веществ, содержащихся в 1 кг морской воды, при условии, что бром и йод замещены эквивалентным количеством хлора, все углекислые соли переведены в окиси, а все органические вещества сожжены при температуре 480°C». Солёность выражается в единицах – промилле (‰), что соответствует количеству солей в граммах, растворенных в одном килограмме воды. Данная солёность является абсолютной и обозначается символом *S*.

Солёность в океане меняется в широких пределах. Средняя солёность вод Мирового океана составляет 35 ‰, а диапазон ее возможных изменений – 0 – 40 ‰. В районах стоков рек она заметно падает. Минимальные и максимальные значения солёности наблюдаются во внутренних морях в зависимости от преобладающего влияния испарения или речного стока с осадками. В среднем солёность в океане меняется в пределах 28 – 38 ‰. При этом экстремальные значения солёности наблюдаются в приповерхностном слое океана. Минимальное ее значение встречается в районах малого обмена с водами открытого океана и особенно в приустьевых участках рек (Финский залив Балтийского моря, Днепровско-Бугский лиман Черного моря и т.д.). Воды с максимальной солёностью наблюдаются в районах с интенсивным испарением и отсутствием речного стока. В Персидском заливе, например, солёность воды на поверхности достигает 37 – 39 ‰, а в восточной части Средиземного моря и в Красном море – 40 – 41 ‰.

Среднегодовые колебания солёности на поверхности в открытом океане незначительны и не превышают 0,2 ‰, на глубинах 2000 – 3000 м они составляют 0,02 – 0,04 ‰. Исключение составляют полярные районы, где амплитуда колебаний солёности достигает 0,7 ‰, и некоторые прибрежные районы с интенсивным стоком пресных вод со среднегодовой амплитудой солёности до 5 ‰. Крупномасштабное распределение солёности в глубинах океана зависит от распределения испарения и осадков на его поверхности и общей схемы циркуляции вод океана. Воды пониженной и повышенной солёности обычно отделены ярко выраженным галоклином – слоем повышенного вертикального градиента солёности. Середина этого слоя расположена на глубине 300 – 700 м. В ряде районов существуют глубинные высокосолёные воды (Средиземное, Красное моря), которые через проливы проникают в океан, смешиваясь с океаническими водами, и распространяются на большие расстояния.

10.6.2. Методы определения солёности

Прямые методы измерения солёности (по массе сухого остатка или по сумме масс отдельных ионов) практически неприменимы в океанологической практике. Получение информации о солёности морской воды при гидрофизических исследованиях, как правило, достигается косвенным путем. Определение солёности можно производить, учитывая, что практически все свойства морской воды (при постоянном давлении и температуре) зависят от ее солевого состава. Поэтому на практике обычно пользуются определением какого-либо одного физико-химического параметра воды, связанного с ее солёностью известной теоретической или эмпирической зависимостью. Практические способы определения солёности приближенно могут быть разделены на химические, физические и биологические. В разное время были предложены многочисленные способы определения солёности: ареометрический (по плотности морской воды); аргентометрический (по концентрации хлора, находящегося в определенном соотношении с солёностью); криостатический (по зависимости точки замерзания воды от ее солёности); рефрактометрический (по показателю преломления света); магнито-индукционный (по магнитной восприимчивости);

импедансный (по емкости двойного электрического слоя); по осмотическому давлению (этот метод мало изучен); электрометрический (по электропроводимости) и др. В любом случае при определении солёности *in situ* необходимо параллельное измерение температуры воды и гидростатического давления на тех же горизонтах.

Некоторые из способов определения солёности потенциально имеют весьма высокую точность, импедансный способ теоретически позволяет построить приборы с точностью измерения $\pm 0,00001\%$, но эффективность применения большинства из них низкая. С появлением новых технических возможностей в попытках построить высокоэффективные солемеры периодически возвращаются к уже отброшенным способам. Например, развитие оптических квантовых генераторов привело к разработке рефрактометрического метода с лазерным источником, точность которого в экспериментальных условиях $\pm 10^{-3} \dots 10^{-4} \%$.

Практика проведения океанологических исследований позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время наибольшее распространение в исследованиях нашли аргентометрический метод Мора и метод определения солёности по удельной электропроводимости.

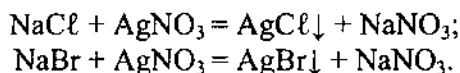
Аргентометрический метод Мора, относящийся к методам объёмного количественного химического анализа, основан на вычислении солёности по ее хлорности. Такая возможность обусловлена постоянством относительного состава растворённых в морской воде солей. Это положение, основанное на данных анализа проб морской воды, взятых в различных частях океанов, выдвинутое в 1865 г. Фиршхаммером, а затем подтвержденное Диттмаром после экспедиции на «Челенджере» (1872 – 1876 гг.) не претерпело сколько-нибудь существенных изменений и в настоящее время. Следовательно, считая, что морская вода представляет собой водный раствор неорганических веществ, определение концентрации одного из основных ионов можно использовать как меру для вычисления содержания других ионов и общей солёности морской воды. Так как ионы хлора составляют более 50 % растворимых твердых веществ, их определение титрованием с помощью азотнокислого серебра стало стандартным методом определения солёности морской воды по решению Международного совета по изучению моря (Кнудсен, 1901 г.). Хлорность (в граммах на 1 кг

морской воды) является суммой галогенов и численно тождественна числу граммов серебра, необходимого для осаждения галогенов в 0,3285234 кг морской воды.

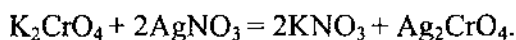
Эмпирическая зависимость, связывающая соленость морской воды (S) и хлорность (Cl), была получена Кнудсенем, но используется и в настоящее время:

$$S\text{‰} = 0,030 + 1,8050Cl\text{‰}.$$

Аргентометрический способ заключается в титровании известного объема морской воды неизвестной солености раствором азотнокислого серебра известной концентрации. Соединения галогенов при этом, реагируя с $AgNO_3$, превращаются в галоидные соли серебра и выпадают в осадок:



Определив количество израсходованного азотнокислого серебра, судят о концентрации исследуемой пробы. Индикатором для титрования служит 10 %-ный раствор хромовокислого калия (K_2CrO_4). При осаждении всех галоидов в виде солей серебра индикатор, реагируя с $AgNO_3$, образует хромовокислое серебро, изменяющее окраску пробы со светло-желтой на красновато-оранжевую:



Во время работы концентрация раствора $AgNO_3$ неоднократно уточняется определением так называемого титра по нормальной воде, концентрация которого известна. *Нормальная вода* производится из очищенной океанской воды в специальных лабораториях и выпускается в стеклянных запаянных ампулах, на этикетке которых указывается концентрация хлорности. Концентрация ее, а следовательно, и электропроводность выдерживаются с высокой степенью точности (0,003 ‰). Содержание хлорности в нормальной воде обычно подгоняют к значению 19,380 ‰.

Для титрования проб на судне используют следующее вспомогательное оборудование: бюретку, предназначенную для точного измерения объема азотнокислого серебра, израсходованного на титрование пробы; пипетку стандартного объема, предназначен-

ную для отмеривания объема исследуемой пробы; сосуд с азотно-кислым серебром, который должен быть из темного стекла и дополнительно закрыт малопрозрачным материалом с целью избежания разложения AgNO_3 на свету; сосуд с дистиллированной водой; сосуд для слива оттитрованной пробы; титровальный стакан; сосуд с хромовокислым калием.

10.6.3. Измерение электропроводимости морской воды

Абсолютная соленость, обозначаемая символом S_A , определяется как отношение массы растворенного вещества в морской воде к массе морской воды. На практике эта величина не может быть измерена непосредственно и поэтому вводится определение практической солености для представления океанографических наблюдений. Практическая соленость является одним из гидрофизических параметров при расчете плотности морской воды на основании Международного уравнения состояния и, в свою очередь, может быть рассчитана по значениям электропроводимости, температуры и гидростатического давления в соответствии с международной шкалой практической солености (ШПС-78). Определение практической солености морской воды осуществляется на практике в основном двумя способами: непосредственным измерением относительной электропроводимости (ОЭП) морской воды (отношение удельной электропроводимости (УЭП) при температуре воды равной t к УЭП «нормальной» морской воды при той же температуре) и измерением УЭП, температуры и гидростатического давления с последующим *вычислением* значений ОЭП. УЭП (α) является для электропроводимости интегральной характеристикой содержания растворенных в воде солей и соответствует электрической проводимости 1 см^3 раствора, находящегося между расположенными на расстоянии 1 см друг от друга электродами с площадью 1 см^2 . УЭП при этом вычисляется по формуле

$$\alpha = G_{\alpha} K_{\alpha}, \text{ мСм/см},$$

где G_{α} – проводимость раствора в ячейке; $K_{\alpha} = l/S$ – геометрическая постоянная электролитической ячейки; l – среднее расстояние между электродами, см; S – средняя площадь сечения жидкостного столба раствора, см^2 . Единица проводимости 1 См (Сименс) = $1/\text{Ом}$.

Международная ШПС-78 была рекомендована МОК ЮНЕСКО в 1978 г. и принята к использованию с 01.01.82 г. По сравнению с другими шкалами в ней уточнен алгоритм пересчета ОЭП воды в соленость, расширен температурный диапазон применения алгоритма ($-2 \dots 35^\circ\text{C}$), а также введено дополнительное уравнение, учитывающее влияние гидростатического давления в диапазоне $0 - 100$ МПа. В качестве первичного эталона в ШПС-78 используется электропроводимость раствора KCl с концентрацией $32,4356$ г на 1 кг раствора дистиллированной воды при температуре 15°C и нормальном атмосферном давлении. ОЭП эталонного раствора при указанных внешних условиях, принимается равной точно единице. Вторичным стандартом является нормальная морская вода с соленостью $35,000$ единиц практической шкалы при тех же внешних условиях.

Практическая соленость пробы воды определяется как функция ОЭП при 15°C и давлении в 1 стандартную атмосферу (1 ст. атм. = $101\,325$ Па) – K_{15} по соотношению к эталонному раствору KCl . Значение K_{15} , в точности равное 1 , соответствует значению солености в 35 ‰. Соленость связана с K_{15} уравнением:

$$S = 0,080 - 0,1692K_{15}^{1/2} + 25,3951K_{15} + 14,0941K_{15}^{3/2} - 7,0261K_{15}^2 + 2,7081K_{15}^{5/2}, \quad (10.1)$$

где $2 \leq S \leq 42$ ‰; $K_{15} = \alpha(S, 15, 0) / \alpha(\text{KCl}, 15, 0)$; $\alpha(S, 15, 0)$ – УЭП при 15°C и атмосферном давлении пробы, приготовленной путем разбавления «нормальной» морской воды по массе дистиллированной водой или выпариванием; $\alpha(\text{KCl}, 15, 0)$ – УЭП стандартного раствора KCl при 15°C и атмосферном давлении.

В соответствии с ШПС-78 значения ОЭП определяется следующими соотношениями

$$R_T = \alpha(S, t, 0) / \alpha(35, t, 0); \quad r_t = \alpha(35, t, 0) / \alpha(35, 15, 0); \\ R = \alpha(S, t, P) / \alpha(35, 15, 0) = R_t r_P, \quad (10.2)$$

где R_T – отношение УЭП морской воды соленостью S к УЭП «нормальной» морской воды при одной и той же температуре и атмосферном давлении ($P = 0$); r_t – коэффициент, учитывающий зависимость УЭП «нормальной» воды от температуры; R – ОЭП морской воды с соленостью S , температурой T при давлении P по

соотношению к стандартному раствору KCl или «нормальной» воде при $15^\circ C$, $\alpha(35, 15, 0) = \alpha(KCl, 15, 0)$; R_p – коэффициент зависимости ОЭП от давления (при $P = 0$, $R_p = 1$).

Для расчета солёности по данным измерений *in situ* необходимо учитывать влияние на электропроводимость. Выражение для R_p , перекрывающее диапазон возможных давлений, находится из соотношения

$$R_p = 1 + P(2,070 \cdot 10^{-3} - 6,370 \cdot 10^{-6}P + 3,989 \cdot 10^{-9}P^2);$$

$$:(1 + 3,426 \cdot 10^{-2}t + 4,464 \cdot 10^{-4}t^2 + 4,215 \cdot 10^{-5}R - 3,107 \cdot 10^{-3}tR), \quad (10.3)$$

здесь t выражено в $^\circ C$, P – в барах.

$$r_t = 0,6766097 + 0,0200564t + 1,104259 \cdot 10^{-4}t^2 -$$

$$- 6,9698 \cdot 10^{-7}t^3 + 1,0031 \cdot 10^{-9}t^4. \quad (10.4)$$

Влияние относительно небольших различий между R и R_{15} при данной солёности можно учесть, вводя поправку ΔS к значению S , вычисленному при подстановке R_T вместо K_{15} в уравнение (10.1):

$$S = 0,80 - 0,1692R_T + 25,3851R_T +$$

$$+ 14,0941R_T^{3/2} - 7,0261R_T^2 + 2,7081R_T^{5/2}, \quad (10.5)$$

где $\Delta S = \{(t - 15)/[1 + 0,0162(t - 15)]\}(0,005 - 0,0056R_T^{1/2} -$
 $- 0,0066R_T - 0,0375R_T^{3/2} + 0,0636R_T^2 - 0,0144R_T^{5/2})$.

Уравнения (10.3) – (10.5) действительны в диапазонах температур $-2 \dots +35^\circ C$, давления $0 - 1000$ бар и практической солёности $2 - 42$ ‰. Среднее квадратическое отклонение рассчитанных по этим соотношениям значений солёности от экспериментальных данных равно $0,0015$. Для вычисления солёности по данным лабораторных солемеров достаточно одного уравнения (10.5). Для расчетов, основанных на измерениях *in situ*, необходимо вычислить R_p и r_t по уравнениям (10.3) и (10.4) соответственно, а затем по уравнению

$$R_T = (R/R_p) \cdot r_t$$

вычислить R_T . Практическая солёность тогда может быть получена из уравнения (10.5).

Полный возможный диапазон изменения электропроводимости в различных районах Мирового океана, включая внутренние моря, составляет $0,2 - 7,5$ См/м. Обычно пределы измерений УЭП

устанавливают 1,5 – 6,0 См/м. Абсолютная погрешность определения электропроводимости не должна превышать порядка $1 \cdot 10^{-3}$ См/м или относительная погрешность равна $\pm 0,02 - 0,06 \%$, что связано с использованием значений электропроводимости для расчетов вторичных параметров: солености, плотности, скорости распространения звука, оптического показателя преломления и других критериальных зависимостей. С точки зрения метрологического обеспечения, получение таких погрешностей измерений представляет большую трудность.

Обычно измеряют УЭП, поскольку она является интегральной характеристикой всех растворенных солей и, следовательно, весьма информативной характеристикой. Методы измерения УЭП основываются на зависимости УЭП растворов электролитов от концентрации электролита.

Основными элементами измерителей электропроводимости жидкости являются датчики, которые можно разделить на контактные (микро- и макроконтатные), емкостные, индуктивные, трансформаторные с жидкостным витком связи, капиллярно-контактные, капиллярно-трансформаторные.

Контактные измерители УЭП морской воды имеют датчик в виде электродной кондуктометрической ячейки, электроды которой непосредственно контактируют с исследуемой средой. Контактный способ измерения УЭП основан на измерении активного сопротивления среды между электродами кондуктометрической ячейки. Конструкции этих датчиков разнообразны по формам, размерам и количеству электродов. Для получения выходных сигналов, пропорциональных сопротивлению жидкости в измеряемой области, датчики включают в цепь уравновешенных и неуравновешенных мостов переменного тока.

Простейшим вариантом кондуктометрического датчика является электролитическая ячейка (1) фиксированного объема (рис. 10.8), внутри которой расположены два электрода (2) и (3) на фиксированном расстоянии друг от друга. Подобные датчики обычно используются для измерения средних значений и низкочастотных пульсаций УЭП. На их основе сконструировано большинство датчиков УЭП (погрешность измерения 0,5 – 1,0 %). Удовлетворительная точность измерений достигается большой активной по-

верхности электродов (1 см^2 и более). Например, оригинальная 3-электродная ячейка была разработана в ААНИИ.



Рис. 10.8. Кондуктометрическая ячейка датчика электропроводимости.

Ячейка представляет собой цилиндрический корпус из изоляционного материала, установленного через уплотнитель на заземленный корпус всей измерительной системы (АЦИТ). По оси корпуса ячейки сделан сквозной канал, проходящий от торца корпуса до двух радиальных выводов у основания корпуса. Сквозной канал калиброван по размерам кварцевой трубки. В качестве одного из электродов ячейки используется корпус прибора со значительно большей, чем у потенциального и токового электродов ($\varnothing = 3 \text{ мм}$), площадью контактирующей поверхности. В зоне потенциального электрода образуется область с близким к нулю градиентом напряжения.

Такая конструкция ячейки позволяет повысить точность измерений УЭП морской воды за счет уменьшения погрешностей, связанных с загрязнением электродов ячейки. Суммарная относительная погрешность в течение года эксплуатации равна $0,02 \%$, включая зависимость от питающего напряжения, температуры среды и искусственного загрязнения электродов.

При всех положительных сторонах кондуктометрических датчиков их возможности ограничены из-за сложности строгого учета эффекта поляризации электродов, заключающегося в образовании двойного электрического слоя на границе раствор-электрод, эквивалентного по действию конденсатору емкостью порядка $16 - 20 \text{ мкФ/см}^2$ (что для частоты 2 кГц представляет реактивное сопротивление $4 - 5 \text{ Ом}$), имеющему утечку и включенному последовательно с сопротивлением раствора. С увеличением частоты питающего напряжения поляризационный эффект практически не меняется, но собственные паразитные емкости электродной ячейки менее сказываются. Поэтому чем выше электропроводимость, тем выше требуемая частота тока питания, а для морской воды оптимальной частоты питания ячейки является $1 - 2 \text{ кГц}$.

Для снижения поляризационного эффекта иногда увеличивают активную поверхность электродов, покрывая их платиновой чернью (т.е. создают мелкопористую поверхность); используют неполяризующие электроды, позволяющие существенно уменьшить электродную разность потенциалов.

Одним из основных средств измерения мелкомасштабной УЭП являются *микроконтактные датчики*. Это обусловлено их высокой пространственной разрешающей способностью (до 1 – 5 мм), определяемой, в основном, линейными размерами чувствительного элемента – сферической областью возле электрода. Известны конструкции микроконтактных преобразователей с одним и двумя микроэлектродами, которые могут использоваться для измерения как средних, так и пульсационных значений УЭП. Большинство таких конструкций содержит микроэлектрод из платины, в качестве второго электрода обычно используют корпус датчика, изготовленный, как правило, из нержавеющей стали. К недостаткам следует отнести сравнительно невысокую точность измерений и нестабильность выходного сигнала датчика от средней скорости потока, что объясняется соизмеримыми масштабами измерительной области с шириной диффузионной части двойного слоя.

Несравненно лучшими метрологическими характеристиками обладают 4-электродные датчики, получившие широкое распространение в океанологической практике в последнее время. Такой датчик содержит два внешних (токоподводящих) электрода и два внутренних (токосъемных). На внешние электроды подается переменное напряжение через сопротивление, обеспечивающее режим источника тока по отношению к сопротивлению участка ячейки между электродами. Выполнение этого условия обеспечивает постоянную силу тока через ячейку, практически не зависящую от изменения УЭП среды и изменчивости эквивалентных сопротивлений двойных электрических слоев на электродах.

В СТД-системе «Марк-IIIВ» фирмы Нейл Браун электроды нанесены в виде тонких полосок на плоскую керамическую основу с малым температурным коэффициентом расширения, что позволяет избавиться от влияния изменчивости геометрии датчика, а отдельные электроды от влияния двойных слоев. Основная погрешность измерения УЭП таких датчиков не превышает 0,01 %.

Подобные пленочные датчики использованы также, например, в СТД-системах «Метеор» и «Дельфин», разработанных Донецким политехническим институтом.

Принцип действия *емкостного метода* основан на измерении активной электропроводимости эффективного объема воды в межэлектродном пространстве при высоких частотах питающего напряжения ($f > 1$ МГц). Точность измерения здесь тем выше, чем меньше емкостное сопротивление диэлектрической пленки, нанесенной на измерительные электроды. С этой целью используются очень тонкие пленки с высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon > 1000$). В емкостных датчиках комплексная диэлектрическая проницаемость (ϵ_a), связанная с УЭП функциональной зависимостью вида

$$\epsilon_a = \epsilon_0 - i\alpha/\omega,$$

где ω – круговая частота питающего напряжения, преобразуется в электрический параметр, который и фиксируется.

Однако из-за нелинейности и нестабильности градуировочных характеристик, сложности нормирования по кондуктивной постоянной, невысоких точности, чувствительности и разрешающей способности подобного типа датчики не нашли применения в океанологической практике.

Наибольшее распространение среди бесконтактных датчиков УЭП получили индуктивные. *Индуктивные датчики* позволяют избавиться от недостатков двух предыдущих типов датчиков за счет отсутствия поляризации (нет непосредственного контакта со средой), большой стабильности и практически безынерционности, что дает возможность повышать чувствительность измерительных систем, увеличить точность измерений и надежность.

Принцип работы индуктивного датчика, состоящего из двух связанных через виток морской воды трансформаторов (трансформаторных преобразователей), заключается в том, что ЭДС в обмотке трансформатора возбуждается через виток проводящей среды, который охватывает две тороидальные катушки и в приемном токовом трансформаторе наводит ЭДС, пропорциональную УЭП, окружающего чувствительный элемент проводника (виток морской воды). Конструктивно датчики подобного типа выполнены следующим образом: два тороидальных трансформатора с об-

мотками (трансформаторы напряжения и тока) устанавливаются аксиально или коаксиально друг к другу в герметичном диэлектрическом корпусе обтекаемой формы с центральным калиброванным проточным отверстием.

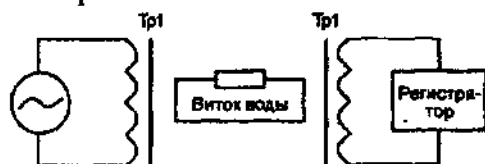


Рис. 10.9. Схема индуктивного датчика.

На обмотку первого тороида Тр1 датчика (рис. 10.9) подается питание от источника переменного тока, к обмотке второго Тр2 подключен регистратор, входной сигнал которого зависит от сопротивления витка воды. Частота переменного тока подающегося на вход датчика выбирается в пределах 5 – 10 кГц, так как в диапазоне 50 Гц – 20 кГц УЭП морской воды не зависит от частоты.

Индуктивные датчики обладают довольно высокой точностью ($\sim 0,1\%$) при измерениях УЭП *in situ* и они используются во многих автоматических измерительных системах. Подобные датчики обладают более стабильными характеристиками, но большие габариты датчика (наружный диаметр 20 – 50 мм, внутренний 10 – 30 мм и длина 50 – 150 мм), а следовательно, и большой масштаб осреднения (~ 300 мм) исключает возможность измерения мелко-масштабных пульсаций УЭП.

К недостаткам подобных измерителей относится зависимость показаний от амплитуды и частоты напряжения питания, нестабильность параметров сердечников тороидов, колебаний температуры. Кроме того, характер распределения электромагнитного поля показывает, что в пространстве вокруг датчика действует эффект самоэкранирования поля проводящей средой. Этот эффект аналогичен скин-эффекту на поверхности проводников и отличается только тем, что источник электромагнитного поля находится внутри проводящей среды. Толщина экранизирующего скин-эффекта зависит от проводимости среды и частоты тока. Из-за самоэкранирования плотность тока в витке воды убывает с расстоянием несколько быстрее, чем это следует из расчета в квазистатиче-

ском приближении, что может довести систематическую погрешность измерений УЭП при 6 См/м до 0,4 %.

Индуктивный датчик, разработанный в СКБ МГИ АН Украины, наиболее часто используется в отечественных автоматических системах. Его питание осуществляется источником переменного тока низкой частоты (1 – 5 кГц). В зависимости от схем вторичного преобразования измерения средних значений УЭП с этим датчиком проводятся с погрешностью 0,1 – 1,0 %.

Одной из проблем современной океанологии является исследование тонкой структуры вод океана, а также мелкомасштабной турбулентности. В первом случае (по В.С. Ястребову) необходимо измерять УЭП с погрешностью $5 \cdot 10^{-5}$ – $2 \cdot 10^{-4}$ См/м, что соответствует толщине слоев от нескольких сантиметров до нескольких метров, а во втором случае погрешность регистрации УЭП должна составлять 10^{-5} – 10^{-4} См/м, что соответствует пространственным масштабам от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Измерители пульсаций электропроводимости характеризуются рабочей полосой частот в пределах 1 – 1000 Гц. Для измерения пульсаций УЭП в настоящее время используются гидрорезисторные, капиллярно-контактные и капиллярно-трансформаторные датчики.

Принцип действия *капиллярно-контактных датчиков (ККД)* заключается в замыкании линии тока между электродами через капилляр и в локализации чувствительной зоны датчика в малом объеме исследуемой среды. Локализация чувствительной зоны достигается тем, что подавляющая часть измеряемого сопротивления сосредотачивается вблизи входного отверстия в цилиндрический канал малого диаметра. Чувствительная зона при этом ограничивается областью со значительными градиентами плотности тока и включает диэлектрическую часть капилляра и прилегающую к нему краевую зону. Одновременно с возможностью измерения УЭП в неискаженной части потока в датчике обеспечивается стабилизация поверхностных условий на электродах. Уменьшение плотности тока в ККД достигается путем сосредоточения измеряемого сопротивления вблизи входа в капилляр, вынесения электродов из зоны максимальной плотности тока, а также использования электродов с большими активными поверхностями.

На этой основе во ВНИИМе им. Д. И. Менделеева было разработано несколько типов датчиков (2-, 4- и 6-электродных), некоторые из которых позволяли измерять среднее и пульсационные значения УЭП. Основная погрешность измерения этими датчиками средних значений УЭП составляет $\pm 0,5 \dots 1,0 \%$, а пульсационных характеристик $\sim \pm 5 \%$.

Капиллярно-трансформаторные датчики (КТД) основаны на локализации области пространственного осреднения. Они обеспечивают одновременное измерение с достаточной точностью осредненных и пульсационных значений УЭП и значительно повышают разрешающую способность датчика, объединяя основные достоинства индуктивных и микроконтактных датчиков. Локализация в подобных системах обеспечивается за счет капилляра (5) в стеклянной носовой части (4) обтекаемого диэлектрического корпуса (3) (рис. 10.10). Внутри корпуса расположены тороидальные магнитопроводы (1) и (2) с возбуждающей и измерительной обмотками. Благодаря свободному потоку воды через канал (5) и внутреннюю полость (6) образуется замкнутый виток жидкости вокруг магнитопроводов. Малое сечение канала сосредоточивает преобладающую часть сопротивления витка воды внутри отверстия капилляра и в зоне перед ним, т.е. чувствительной областью будет являться внешняя краевая область вблизи отверстия насадки, сопротивление которой определяется аналогично кондуктометрическим датчиком. Радиус отверстий насадки выбирают примерно 1 – 4 мм.

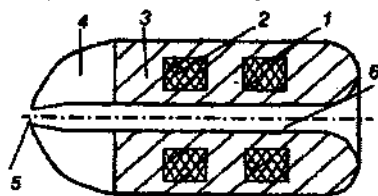


Рис. 10.10. Капиллярно-трансформаторный датчик.

Из-за возрастания сопротивления витка воды в этих конструкциях уменьшается коэффициент передачи датчика (кондуктивная постоянная) возрастает до $500 - 800 \text{ Ом}^{-1}$ при диаметре отверстия насадки 3 – 4 мм, что является недостатком. При измерениях *in situ* канал загрязняется, что изменяет диаметр отверстия. Наряду с влиянием температуры это обстоятельство приводит к погреш-

ности измерений порядка $\pm 0,5\%$, что вполне достаточно для измерения пульсаций, но не всегда приемлемо при измерении средних значений. Индуктивные датчики без насадок обладают погрешностями на порядок меньше указанных, что вполне достаточно для измерений средних значений УЭП.

Последние разработки НПО ВНИИМ им. Д. М. Менделеева в области ККД и КТД в сочетании с новыми методами их согласования измерительными цепями позволили решить задачу одновременного измерения в локальном объеме потока ($5 - 30 \text{ мм}^3$), высокой чувствительности (10^{-5} См/м) и точности порядка $0,2 - 0,5\%$ по средним и $5 - 10\%$ по пульсационным значениям УЭП.

Создана модель датчика, сочетающего достоинства ККД и КТД. Основная ее особенность – наличие концентратора в виде электропроводящего слоя, нанесенного на наружную и внутреннюю части корпуса датчика с разрывом относительно входа в капилляр. Он шунтирует часть нерабочих участков жидкостного витка, уменьшая кондуктивную постоянную и увеличивая чувствительность датчика.

Разработан новый тип КТД с гидродинамическими сглаживаниями. Одна чувствительная зона, как у обычного КТД, реагирует на мгновенные значения электропроводимости набегающего потока. Вторая располагается внутри датчика в области ламинарного течения потока и, следовательно, реагирует на осредненное во времени значение УЭП, или ее постоянную составляющую. Таким образом, капилляр одновременно является как пространственным фильтром для выделения переменной составляющей электропроводимости в потоке (зоне перед капилляром), так и временным фильтром для выделения постоянной составляющей. Конструктивно это осуществляется путем разрыва концентратора внутри приточной зоны датчика.

Технические характеристики для всех видов КТД:

Диапазон измерений, См/м	1 – 6
Масштаб осреднения, мм	1 – 10
Диапазон измерения среднеквадратических значений пульсаций, См/мм	$10^{-4} - 10^{-1}$
Погрешность измерения, %	
средних значений	$\pm 0,5 - 1$
среднеквадратических значений пульсаций	$\pm 5 - 10$

Глава 11

МОРФОЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

11.1. Общие положения

Морфолитодинамические исследования заключаются в изучении изменений (деформации) рельефа дна и берега и перемещения наносов. Эти процессы наиболее явно проявляются на прибрежном мелководье, которое представляет собой наклонную к морю поверхность, обычно покрытую (полностью или частично) наносами и осложненную формами рельефа различного происхождения: подводными песчаными валами, отмелями, грядами валунов, выходами коренных пород и т.п.

Геоморфосистема береговой зоны практически всех морских акваторий представляет собой результат взаимодействия ряда природных факторов и процессов, действующих в определенных условиях природной среды, а также под влиянием антропогенного воздействия. Важнейшим из природных факторов является динамика водных масс в береговой зоне, производящая свою работу совместно с длиннопериодными колебаниями уровня моря в конкретных климатических условиях. Кроме того, огромное значение для процессов формирования и динамики берегов имеет речной сток – важнейший источник поступления наносов в береговую зону, а также другие природные факторы (эоловые, хемогенные, биогенные и гравитационные).

Природные условия береговой зоны определяются всеми компонентами географической оболочки, которые своими свойствами влияют (в том числе и в историческом аспекте) на развитие тех или иных природных факторов, а через них – на динамику одного или целой группы природных процессов.

С другой стороны, под *природными факторами* понимают природные явления или их совокупности, которые являются движущей силой конкретных процессов, формирующих берега.

Различие между этими двумя понятиями заключается в том, что природные факторы обладают запасом кинетической энергии

и приводят в действие конкретные природные процессы. Природные же условия могут лишь влиять, правда, порой довольно радикально, на характер и скорость процессов, формирующих берега, при этом не являясь их прямой причиной.

Природные процессы инициируются соответствующими природными факторами и являются совокупностью действий, которые приводят к конкретным природообразующим результатам.

К природным условиям, в значительной мере влияющим на формирование и развитие береговых геоморфосистем, относятся: геолого-геоморфологические, включающие в себя современный рельеф побережья, литологические, инженерно-геологические и гидрогеологические характеристики слагающих его пород, тектонический режим и структурный план территории, знак и скорость вертикальных движений земной коры; климатические, включающие температурный режим и режим увлажненности района; палеогеографические, основными из которых являются исходный режим побережья и вековые колебания уровня воды конкретного бассейна.

Из природных факторов, которые образуют берегоформирующие процессы, необходимо выделить ветровой и ледовый режимы, затем волновой и уровенный режимы и вызванные ими прибрежные течения. Волновое воздействие на берега вместе с другими природными факторами обеспечивает подводный береговой склон наносами, которые прибрежными течениями перемещаются как вдоль берега, так и по нормали к нему. Перемещение наносов в пределах береговой зоны относится к литодинамическому фактору, который определяет процессы перемещения и аккумуляции обломочного материала в ее пределах.

С ветро-волновым режимом и связанным с ним короткопериодными колебаниями уровня прямо связаны прибрежные течения, генерируемые в береговой зоне. Их роль чрезвычайно велика, так как они определяют процессы перераспределения и аккумуляции твердого вещества на подводном береговом склоне. При наличии периодически повторяющихся вдоль берега возмущений волнового поля или подводного и надводного рельефа горизонтальное движение воды в пределах береговой зоны обычно распадается на ряд замкнутых круговоротов или циркуляционных ячеек, обеспе-

чивающих водообмен между областью неразрушенных волн и прибойной зоной. При этом наблюдается движение воды от участков с большей волновой активностью к участкам с меньшим энергетическим потенциалом, где при конвергенции вдольбереговых потоков генерируются разрывные течения. Вода, выносимая ими, вновь вовлекается в движение к берегу, и циркуляция замыкается. Направления вращения двух соседних ячеек взаимно противоположны. Считается, что действие разрывных течений ограничено зоной распространения подводных валов, где они затухают, превращаясь во вдольбереговые энергетические или градиентные потоки. Сложный характер прибрежных течений определяет многообразие потоков твердого вещества. Можно выделить несколько видов таких потоков, из которых для понимания основных закономерностей развития берегов наиболее важными являются гидрогенные, которые, в свою очередь, делятся на поперечные и продольные.

Для разностороннего изучения береговой зоны рекомендуется выполнить районирование природных объектов, где значительное место занимают береговые геоморфосистемы. Районирование, кроме научного, имеет и большое практическое значение, так как выработка рекомендаций по хозяйственному освоению береговой зоны требует конкретизации основных различий, свойственных тому или иному участку морского берега. Разделение береговых геоморфосистем на участки разного порядка приобретает особое значение при разработке постоянно действующей модели КУПЗ.

В.П. Зенковичем и О.К. Леонтьевым были предложены схемы районирования геоморфосистем береговой зоны в масштабах целого водоема, в которых выделены три различных по своим масштабам таксона: береговые области, береговые районы и береговые участки.

Выделение береговых областей осуществляется по крупным чертам тектонической структуры, так как тектоника определяет сразу несколько важных условий развития берега: общие черты геологического строения, историю формирования рельефа прибрежной суши и относительных вертикальных движений, а также общие условия поступления терригенного материала в береговую зону. Но районирование на береговые области позволяет получить

лишь общую картину строения значительных по протяженности отрезков берега. В то же время хозяйственное освоение прибрежных территорий требует конкретизации основных условий и факторов, характеризующих тот или иной отрезок морского берега, находящегося в пределах береговой области. Поэтому при разработке детальных мероприятий (защита берегов от разрушения, выбор средств ограждения гаваней и т.п.) требуется уже разделение береговых областей на береговые районы, а в некоторых случаях и на береговые участки.

Выделить береговые районы можно или по сочетаниям характерных типов берега, абразионных и аккумулятивных его участков, а также по различиям в геологическом строении клифа, или по конкретным проявлениям волнового фактора, сочетаниям деятельности этого ведущего фактора и других берегоформирующих факторов, условиям поступления обломочного материала, особенностям морфологии и динамики берега. Все это позволяет учитывать особенности геологического строения берега, а также других условий и факторов в современной его динамике при абсолютном приоритете волнового воздействия.

Учитывая потребности прибрежного гидротехнического строительства, целесообразно выделять береговые участки исходя из крупномасштабных различий действующих в береговой зоне природных условий и факторов, основными из которых являются особенности гидро- и литодинамической ситуации в береговой зоне, связанные с ее рельефом и гидрометеорологическим режимом; фациальная изменчивость пород, слагающих берег; их физико-механическая и гидрогеологическая характеристика. Благодаря этому можно выделить конкретные береговые участки, характеризующиеся преобладанием в их пределах того или иного динамического процесса (абразии, аккумуляции). Длина таких береговых участков может колебаться от 200 м до 2 – 4 км.

Для улучшения результатов районирования необходимо условно разделить природные условия и факторы, действующие в береговой зоне, на активные и пассивные. К первым, прежде всего, относится ветровое волнение, тесно связанное с комплексом гидрометеорологических характеристик. Ко вторым – условия, противодействующие поступлению волновой энергии в полном

объеме к урезу. Волнение в зависимости от степени воздействия на него пассивных условий может играть как деструктивную (абразия, размыв), так и созидательную (аккумуляция) роль. Если активные факторы и пассивные условия уравнивают друг друга, берег находится в состоянии относительного динамического равновесия.

Интенсивность абразии во многом зависит от геологического строения берегового уступа, в том числе и от физико-механических свойств и гидрогеологических характеристик слагающих его пород. Сильно обводненные, рыхлые, легкоразмываемые породы, переслаивающиеся с глинами и суглинками, способствуют развитию в пределах их распространения гравитационных процессов, что, в свою очередь, снижает степень устойчивости берегового уступа к разрушению волнами. Породы, устойчивые к абразии, напротив, снижают темпы деструктивного развития клифа.

Среди природных факторов неволнового происхождения можно выделить эоловые, хемогенные, биогенные, гравитационные и океанографические. Кроме того, береговая зона является объектом интенсивной хозяйственной деятельности. Строительство портов, причалов и разного рода берегозащитных сооружений приводит к созданию искусственных форм рельефа побережья, что приводит к дальнейшему развитию берега. Долговременные гидротехнические сооружения оказываются техногенными условиями, т.е. компонентами техносферы, которые своими свойствами влияют на направленность и интенсивность природных факторов и процессов.

В последнее время стали довольно широко использоваться новые техногенные воздействия на береговую зону, заключающиеся во внесении туда обломочного материала для создания искусственных пляжей, иногда даже с их периодическим подпитыванием. В этом случае эффект техногенного воздействия сравним с результатом воздействия на динамику берега естественного водотока, поставляющего материал в береговую зону.

Таким образом, современные процессы, формирующие берега и генерируемые природными и техногенными факторами, включают волновую, термическую и химическую абразию береговых уступов и подводного склона, размыв аккумулятивных форм, пе-

ремещение и аккумуляцию наносов, дефляцию и эоловую аккумуляцию, хемогенно-биогенную денудацию и аккумуляцию, а также оползневые, обвально-осыпные и эрозионно-аккумулятивные проявления. Нельзя также не отметить процессы антропогенной и техногенной денудации и аккумуляции.

Основу натуральных морфолитодинамических исследований шельфовой зоны составляет использование целого ряда методов геолого-географических и геофизических наук. Специфические черты гидродинамического режима мелководья определяются развитием здесь явлений трансформации волн и сложной системы течений.

11.2. Состав и объем работ

Для обеспечения КУПЗ в состав работ при морфолитодинамических исследованиях входят:

- сбор и анализ фондовых и литературных материалов в соответствии с целями и задачами принятого масштаба исследований;
- выполнение расчетов гидродинамических параметров, а при крупномасштабных исследованиях - производство натуральных наблюдений;
- проведение топо-геодезических и гидрографических работ для обеспечения плановой и высотной привязки точек наблюдений;
- геолого-геоморфологическое исследование побережья;
- изучение морфологии, динамики берегов и деформаций пляжей;
- картирование рельефа мелководья, поверхностного слоя наносов и изучение верхней части разреза донных отложений геолого-геофизическими методами;
- изучение деформаций рельефа дна и бюджета наносов на отдельных площадях;
- при детальных исследованиях проводится изучение плотности верхней части разреза рыхлых отложений дна методами статического или динамического зондирования;
- выполнение лабораторного и математического моделирования морфолитодинамических процессов;
- при необходимости проводятся специальные исследования, состав которых регламентируется программой работ;

– камеральная обработка материалов наблюдений, лабораторные анализы, расчеты, составление карт, планов, разрезов. Анализ полученных критериев динамики наносов и деформаций рельефа дна и берегов. Составление отчета.

Объемы основных видов работ (эхолотирование, отбор проб грунта, нивелирование профилей пляжа, отбор проб с пляжа и т.п.) определяются масштабами исследований.

11.3. Обоснование необходимости исследований

При осуществлении КУПЗ необходимо иметь в виду, что режим перемещения наносов, как правило, является одним из основных факторов, определяющих выбор места, ориентацию, а в некоторых случаях и тип гидротехнического сооружения. Однако те же гидротехнические сооружения нарушают естественный режим береговой зоны и прилегающей акватории, что изменяет установившиеся условия перемещения наносов, т.е. нарушает естественный ход морфолитодинамических процессов.

Проведение морфолитодинамических исследований необходимо для оценки протекающих процессов на месте планируемого строительства, прогноза интенсивности размыва и аккумуляции наносов в районе прибрежных сооружений, а также для определения размеров, объема и вида наблюдений при инженерно-геологической разведке в месте исследований. Кроме того, необходимо учитывать влияние на береговую зону таких мероприятий, как, например, строительство прибрежных дорог и т.п.

Во время эксплуатации прибрежных гидротехнических сооружений исследуются деформации рельефа дна, особенно если они становятся значительными, что необходимо для разработки технических мероприятий по их ликвидации или их ослабления и локализации, а также для совершенствования технологического содержания сооружений в эксплуатационном содержании.

Морфолитодинамические исследования необходимы для получения исчерпывающих данных о характере, режиме и размерах изменений рельефа дна, протекающих в зоне расположения гидротехнических сооружений. А степень необходимости проведения подобных исследований определяется еще на стадии составления технического задания на предварительные изыскательские работы.

При их проведении в прибрежной части шельфа (для внутренних морей на глубинах моря менее 30 – 40 м, для окраинных морей при глубинах менее 50 – 70 м) выполнение морфолитодинамических работ является обязательным. Масштабы и объемы работ определяются типом проектируемого сооружения и интенсивностью литодинамических процессов.

11.4. Методы морфолитодинамических наблюдений

Исследование морфолитодинамических процессов обычно заключается в изучении механизма перемещения наносов под влиянием гидрогенных факторов и силы тяжести (натурные исследования, лабораторное и математическое моделирование), литодинамических процессов, выражающихся в определенных закономерностях размещения и динамики различных форм рельефа дна и берегов, а также в изменении литологических особенностей и строения покрова наносов при воздействии течений и волн на дно.

Для решения этих проблем, как правило, используются следующие основные методы: литодинамические, геоморфологические, литологические, океанографические и вспомогательные (геологические, палеогеографические и геофизические).

Литодинамические методы позволяют установить ряд количественных характеристик движения наносов. При этом используются натурные литодинамические наблюдения, лабораторное и математическое моделирование. Натурные исследования проводятся, как правило, в комплексе с океанографическими, что позволяет определить концентрацию и расходы взвешенных наносов, деформацию рельефа дна, пути перемещения наносов.

При лабораторном (гидравлическом) моделировании воспроизводятся на модели условия, редко встречающиеся в природе, и фиксируются характеристики, регистрация которых в природных условиях затруднена или невозможна. При этом можно решать и некоторые специальные литодинамические задачи.

При математическом моделировании с помощью расчетных методов определяют некоторые литодинамические характеристики (критические условия начала движения наносов, концентрация и расход взвешенных наносов, мощность вдольбереговых потоков,

деформации рельефа дна). При этом рекомендуется для повышения достоверности результатов математического моделирования сопоставлять их с данными натурных наблюдений.

Геоморфологические методы основаны на известных положениях морфологии и динамики береговой зоны моря, с помощью которых устанавливают закономерные связи в распределении участков размыва, транзита и аккумуляции наносов, оценивают общее направление литодинамических процессов в исследуемом районе и их изменения при строительстве тех или иных сооружений. В результате определяются количественные показатели: темп размыва дна и берегов, заносимость сооружений и траншей, деформации подводного склона и пляжа, бюджет наносов и т.п. Кроме того, геоморфологические методы используют для реконструкции палеогеографии и палеодинамики побережья, используемых для прогноза дальнейшего развития современных литодинамических процессов.

Литологические методы используются для определения перемещения наносов по данным о последствиях их дифференциации под влиянием волн и течений. Использование подобных методов позволяет оконтурить участки размыва дна и аккумуляции наносов, установить источники их поступления в береговую зону моря, преобладающее направление перемещения, некоторые структурные особенности вдольбереговых потоков наносов. Кроме того, можно выделить участки развития разрывных и других течений, выносящих мелкозернистые наносы на глубину. Все это можно получить в результате анализа карт и схем распределения ряда литологических характеристик верхнего слоя наносов, отражающих их дифференциацию по крупности, форме частиц и удельному весу.

В основном вопросы лито- и морфодинамики прибрежного мелководья решают с помощью комплекса всех вышеперечисленных методов, что объясняется как сложностью изучаемых процессов, так и разнообразием их проявлений в рельефе дна и берегов, строении и литологии наносов. В этом случае в зависимости от конкретных условий эффективность использования разных методов может быть совершенно различной.

Глава 12

ОТБОР ПРОБ ГРУНТА

12.1. Общие положения

Для более полной характеристики дна моря, особенно в рамках КУПЗ, важно получить сведения о грунтах. Такие сведения необходимы для обеспечения нужд мореплавания и народного хозяйства: выбора места якорных стоянок, строительства гидротехнических сооружений, прокладки подводных кабелей, нефтепроводов и т.д. В последнее время интерес к изучению грунтов возрос в связи с расширением добычи в шельфовой зоне полезных ископаемых. Все это послужило основанием для организации специальных работ по изучению грунтов дна – так называемой грунтовой съемки.

Грунт дна – это любой материал, составляющий поверхность дна морей и океанов. Определение донных грунтов, или так называемую грунтовую съемку производят с судна, лежащего в дрейфе или стоящего на якорю, с целью получения информации об их составе и распределении. Эти исследования осуществляются взятием проб грунта специальными устройствами в точках, рационально расположенных по всей площади обследования и называемых грунтовыми станциями, а также определением характеристик грунта между станциями косвенными методами.

Частота выполнения грунтовых станций определяется возможностью выявления пространственного распределения грунтов с одинаковыми характеристиками по всей обследуемой акватории. Поэтому при их планировании необходимо учитывать рельеф дна и специфику рельефообразующих факторов. Необходимо, по возможности, обследовать возвышенности, впадины и их склоны. Обязательно должен быть выявлен характер грунта на мелях, банках, косах и других подводных опасностях. В районах с равнинным рельефом и постоянным характером рельефообразующих процессов подробность грунтовой съемки может быть понижена.

Основная часть морских грунтов представляет собой современные рыхлые или твердые осадочные породы. Древние коренные горные породы выходят на поверхность океанского дна значи-

тельно реже и встречаются на крутых горных склонах или в районах с сильными придонными течениями. В зависимости от происхождения донные отложения подразделяются на терригенные, биогенные и хемогенные.

Терригенные отложения образуются либо в результате абразивных процессов, разрушающих коренные породы, из которых сложены морские берега или дно, либо выносятся речными потоками. Распространены эти отложения в пределах материковой отмели.

Биогенные отложения относятся к глубоководным и состоят из скелетов, панцирей или раковин различных морских организмов, уцелевших от разложения при опускании на дно.

Хемогенные отложения, также относящиеся к глубоководным, образуются в результате химических процессов, возникающих во взвешях и в растворах различных веществ в морской воде. Доля этих отложений в океанах незначительна.

Кроме указанных глубоководных отложений в океане часто встречается так называемая красная глина – пластичный вязкий грунт шоколадного цвета, образующийся в результате разложения морской водой продуктов вулканических извержений.

Однако основное значение имеет характеристика механических свойств грунта, его гранулометрический состав. По этому признаку различают древние горные породы (плотные осадочные грунты или изверженные кристаллические массивы) и современные осадочные породы: грубообмолоченные (глыбы, валуны, камни, галька, щебень), сыпучие (гравий, хрящ, песок), связные (илистый песок, песчаный ил, ил, глинистый ил). Современные биогенные отложения подразделяются на ракушечный песок, коралловый песок, ракушку, кораллы, мшанка и т.д. Особое внимание отводится конкрециям – минеральным образованиям шарообразной формы диаметром 1 – 25 см. Конкрекции в основном состоят из окислов железа и марганца.

При исследовании грунтов их различают также по цвету и оттенку, консистенции (степень подвижности, густоты вещества), пластичности (способности изменять форму под влиянием внешнего воздействия и сохранять эту форму после его прекращения), текстуре (особенности строения, обусловленной ориентированием и пространственным положением частиц).

12.2. Обоснование необходимости исследований

Изучение процессов осадкообразования в Мировом океане, их состава, свойств, стратиграфии и закономерностей распределения, освещение вопросов их геологического строения и истории развития необходимо не только для комплексного исследования всех процессов, происходящих в Мировом океане, но и для различных нужд морского промысла, навигации, решения некоторых задач гидротехнического и портового строительства. Знание процессов осадкообразования важно также для правильного понимания условий образования осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых (железомарганцевых и полиметаллических конкреций, россыпей тяжелых металлов на шельфе, хромовых руд в рифтовых долинах) для выявления нефтеносных структур и для ряда других практических вопросов.

Исследования в области геологии моря повышают знания о строении земной коры, а следовательно, способствуют выявлению распределения полезных ископаемых. Кроме того, они показывают, насколько тесно связана геология моря с гео- и гидрохимией, гео- и гидрофизикой, а также целым рядом смежных наук. Решение подобных проблем требует развития новых, совершенных методов исследований и методов разведки в области геологии моря.

12.3. Возможности исследования донных грунтов

В зависимости от поставленных задач морских геологических исследований, особенностей рельефа дна и своеобразия донных отложений для их изучения используются различные устройства, объединенные общим термином – *грунтодобывающие приборы*.

На глубинах до 5 м пробы рыхлых грунтов можно получить *шупом* или *металлическим стаканом*, укрепленным на конце наметки.

На глубинах до 200 – 300 м для получения образцов грунта с каменистого дна (обломков коренных пород, валунов, гальки, гравия) и с целью добычи различных видов донной фауны используются *драги* и *донные тралы*. Драгирование и траловые работы производятся на самом малом ходу судна. Для предотвращения вымывания через ячеи траловой дели мягкого илистого грунта в месте с содержащимся в нем микробентосом во время подъема с большой глубины используется трал с вшитым в его концевую

часть мешком из редкой ткани, пропускающей воду, но задерживающей грунт и мелкую живность. Драга представляет собой прямоугольную продолговатую раму, к которой крепится мешок из плотной материи. Рама на длинных (горизонтальных) сторонах снабжена наклонными стальными ножами, расходящимися вперед и наружу. За короткие боковые стороны драги укреплена железная дуга, к середине которой прикрепляется буксирный трос, толщина которого зависит от размеров драги и глубины драгировки.

На глубинах более 5 м пробы рыхлых грунтов берут с помощью *дночерпателей* и *грунтовых трубок*.

Дночерпатели используются для отбора проб поверхностного слоя донных осадков и фауны. Глубина их проникновения в грунт не превышает 35 – 40 см. Дночерпатели изготавливаются в виде тяжелых ковшей или шарнирно соединенных металлических створок. При достижении дна створки врезаются в грунт. При подъеме дночерпателя под влиянием собственной тяжести или специального механизма створки закрываются, вырезав образец грунта, а давление воды прижимает крышки и тем самым предохраняет пробу от вымывания. Нашей промышленностью выпускаются *дночерпатели "Океан-50"*, имеющие одинаковое устройство, но различные размеры. Они бывают трех видов:

- а) с площадью захвата $0,1 \text{ м}^2$ и массой 30 – 50 кг;
- б) с площадью захвата $0,25 \text{ м}^2$ и массой 125 кг;
- в) с площадью захвата $0,4 \text{ м}^2$ и массой 175 – 200 кг.

Наибольшее распространение у нас в стране нашел дночерпатель "Океан-50" с площадью захвата $0,25 \text{ м}^2$ (рис. 12.1). Недостатками дночерпателей являются: вымывание из него илистого осадка при подъеме, плохая сохранность мелкозернистого материала при захвате створками крупных обломков.

Грунтовые трубки используются для получения колонок грунта дна длиной от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Добытые с их помощью колонки грунта наглядно характеризуют состав донных осадков. Различают ударные, поршневые, вибропоршневые и гидростатические грунтовые трубки.

Ударные грунтовые трубки наиболее простые по конструкции и углубляются в грунт под действием собственной массы с скорости падения. Недостатком подобных трубок является то, что длина колонок грунта в них всегда меньше углубления трубки

в грунт из-за сил внутреннего трения, развивающихся при уплотнении и заклинивании осадков. Среди большого разнообразия ударных трубок можно отметить несколько типов.

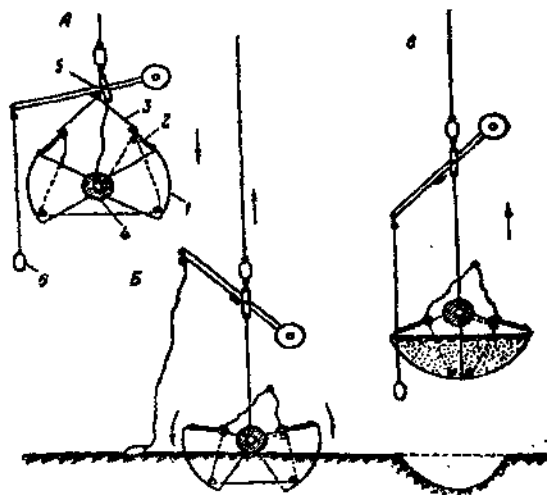


Рис. 12.1. Дночерпатель «Океан-50»: *А* – положение перед спуском; *Б* – на дне; *В* – при подъеме; 1 – стальные створки (ковши), 2 – крышки, 3 – тросы, открывающие крышки, 4 – центральный груз, 5 – сбрасыватель троса, 6 – груз на плече коромысла.

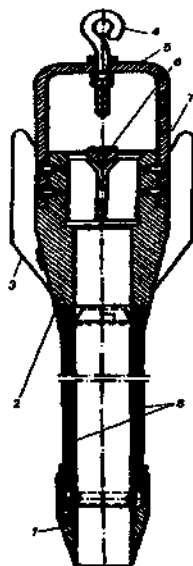


Рис. 12.2. Грунтовая трубка ГОИН.

Грунтовая трубка ГОИНа предназначена для отбора колонок грунта с любой глубины (рис. 12.2). Ее длина может быть 1 и 1,5 м, а масса соответственно 13,5 и 19 кг. Трубка состоит из колонковой стальной трубы (2), с вставленным в нее разъемным тонкостенным латунным вкладышем (8). Клапан 6 служит для закрывания верхнего отверстия трубки при ее подъеме, что предохраняет отобранную пробу от вымывания. На нижнюю часть трубки навинчен стальной наконечник (1) с острыми краями для облегчения вхождения трубки в грунт.

На верхнем конце трубки размещен груз (7) со стабилизатором (3) для большей массы и придания прибору вертикального положения при опускании. Для подсоединения трубки к тросу используется скоба (5) с крюком (4).

Трубки для взятия проб грунта на ходу судна (ПЕ-27), предназначены для взятия колонок грунта дна в дрейфе и на ходу судна (до 15 уз), разработаны в ГОИНе. Выпускаются два типа трубок подобного типа: легкая (ТНХ-Л) массой 16 кг, и тяжелая (ТНХ-Т) массой 26 кг. Они позволяют отбирать колонки грунта длиной до 1 м на глубинах до 300 м (рис. 12.3).

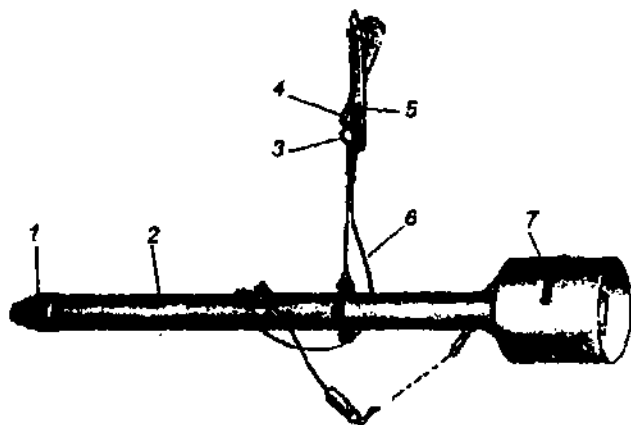


Рис. 12.3. Грунтовая трубка типа ТНХ: 1 – наконечник; 2 – корпус трубки; 3 – кольцо трощка; 4 – крюк сбрасыватель; 5 – обойма; 6 – тросик.

Трубка состоит из толстостенной стальной трубы (2) с навинченным наконечником (1) с острыми краями. Внутри трубы расположен вкладыш, состоящий из двух половинок. Трубка, подвешенная на тросе с помощью специального устройства, срабатывающего при ударе о грунт, опускается в горизонтальном положении. При подъеме трос, натягиваясь, закрывает крановое устройство, находящееся в конце трубки внутри широкого кольцевого стабилизатора. Необходимую длину вытравленного троса можно рассчитать по формуле

$$S = H (1 + V/4),$$

где S – длина вытравленного троса, м; H – глубина места, м; V – скорость судна, м/с.

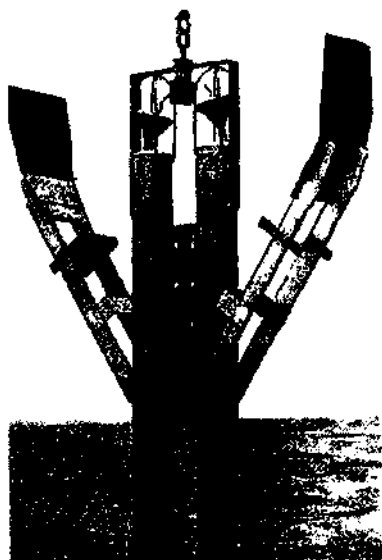


Рис. 12.4. Грунтовая трубка «Gemini Twin corer».

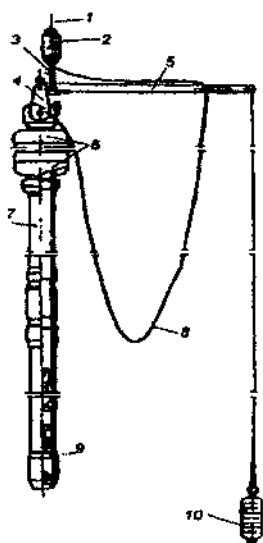


Рис. 12.5. Поршневая грунтовая трубка ПГТ-56.

Грунтовая трубка «*Gemini Twin corer*», разработанная в финском Институте морских исследований предназначена для отбора проб мягких донных отложений. Устройство представляет собой двойную стальную трубу (рис. 12.4) с внутренним вкладышем из оргстекла с внутренним диаметром 80 мм, снабженное хорошо развитым стабилизатором. Прибор позволяет отбирать колонки грунта до 1 м с четкой границей между верхним слоем грунта и придонной водой, что дает возможность отбирать пробы придонной воды на гидрохимический анализ. В конструкции вкладыша предусмотрена возможность легко отрезать от отобранной колонки пробы разной высоты.

Поршневые трубки также углубляются в грунт под действием силы падения. После этого они дополнительно углубляются за счет вакуума, создаваемого при вытягивании поршня тросом. Поршневые трубки берут колонки грунта, длина которых равна их углублению в толщу осадков. Поршневые трубки могут достигать длины более 20 м с незначительным нарушением стратификации пробы.

В качестве примера можно привести поршневую грунтовую трубку ПГТ-56, разработанную в ИОРАН (рис. 12.5). Колонковая

труба (7) с внутренним диаметром 50 – 60 мм составлена с помощью муфт со штыковым или резьбовым сцеплением из нескольких секций по 7,5 – 8 м длиной. Обтекаемой формы разборный груз (6) массой до 250 кг размещен в верхней части трубки. На нижний конец колонковой трубы навинчивается наконечник с острыми краями и лепестковым клапаном. На верхнем конце трубки размещено оголовье (4) для ее подвешивания на короткое плечо стального коромысло-сбрасывателя (5). Груз-разведчик (10), подвешенный на тросе (8) к длинному плечу коромысла, располагаясь при спуске трубки на 5 – 6 м ниже наконечника, удерживает коромысло вместе с трубкой в горизонтальном положении. Коромысло через серьгу (3) и скобу соединено с тросовым зажимом (2), закрепленном на тросе (1) на расстоянии, равном длине колонковой трубки плюс 5 – 6 м от его конца, прикрепленного к поршню (9). Поршень имеет уплотнение в виде резиновых или кожаных манжет с системой откидывающихся зубов. При опускании грунтовой трубки, как только груз-разведчик достигнет дна, нагрузка с длинного плеча коромысла-сбрасывателя снимается, трубка соскакивает с короткого плеча коромысла и, свободно падая, углубляется в грунт дна, при этом поршневой трос вытягивается во всю длину, а поршень остается у поверхности дна. Таким образом, поршневая трубка берет колонку грунта со всей глубины своего погружения.

Вибропоршневые грунтовые трубки предназначены в основном для отбора проб грубозернистых осадков в прибрежной зоне на глубинах до 150 м. Подобная трубка, разработанная в ИОРАН, имеет длину 4,5 м. В нижней части трубки расположена специальная платформа для установки прибора на дно. По бокам колонковой трубки расположены две направляющие трубы, по которым перемещается каретка. На каретке установлен электромеханический вибратор в виде электромотора 3-фазного тока мощностью 3 кВт, на оси которого закреплены эксцентрики. Вибратор, находящийся в герметичном корпусе, соединен с помощью шарниров с колонковой трубкой. При работе электромотора вибрация через каретку передается колонковой трубке, которая под этим воздействием и заглубляется в грунт, при этом каретка с вибратором перемещается вместе с трубкой вниз по направляющим. Поршень, находящийся внутри трубки, во время работы остается на уровне

поверхности дна, что обеспечивает получение неискаженных колонок грунта. Во внутренней части наконечника, навинченного на нижнюю часть колонковой трубки, имеется многолепестковый пружинящий клапан, предотвращающий выпадение грунта при подъеме трубки.

Гидростатические грунтовые трубки предназначены для отбора длинных, до 40 м, с ненарушенной слоистостью колонок донных осадков. Эти трубки снабжены дополнительным баллоном. Часть его внутреннего объема, равная объему колонковой трубы заполнена воздухом, остальная часть – водой. При углублении трубки в толщу осадков давлением открывается специальный кран, сообщающий полость баллона с полостью колонковой трубы. Возникающая разность давлений (гидростатическое на дне и атмосферное в полости) заставляет трубку вонзаться в грунт и заполняться грунтом. Таким образом, гидростатическая трубка вначале работает как ударная, а затем как гидростатическая.

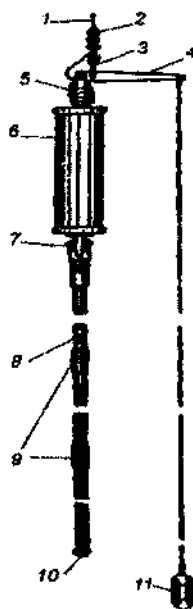


Рис. 12.6. Глубоководная гидростатическая грунтовая трубка ГГГТ.

В качестве примера можно привести глубоководную гидростатическую грунтовую трубку (ГГГТ), разработанную в ИОРАНе (рис. 12.6). ГГГТ состоит из толстостенного стального баллона (6) емкостью 75 л, рассчитанного на давление более 1000 атм., кранового устройства (7) и колонковой трубы (8) сечением 72×60 мм. Колонковая труба состоит из соединенных штыковыми или резьбовыми муфтами (9), секцией длиной по 9 м. На нижнем конце трубы навинчен наконечник (10). Трубка подвешивается к короткому плечу (4) стального коромысла-сбрасывателя, а далее через серьгу (3) и скобу с помощью тросового зажима (2) крепится к несущему тросу (1) на расстоянии, равном длине колонковой трубки с баллоном плюс 5 – 6 м от конца троса.

Эта слабина троса укладывается вокруг оголовья трубки (5) и закрепляется там. К длинному концу коромысла подвешен груз-разведчик (11) на 5 – 6 м ниже наконечника. При достижении грузом-разведчиком дна трубка соскальзывает с короткого плеча коромысла и углубляется в грунт. Под действием давления открывается крановое устройство (7) и срабатывает эффект дополнительного баллона. Гидростатические трубки собираются и подготавливаются к работе на специальной металлической раме, прикрепленной к наружному борту судна.

Грунтодобывающие приборы позволяют поднять образцы грунтов и всесторонне исследовать их свойства, но возникающая при этом дискретность отбора не дает полной картины распределения грунтов на океанском дне. Кроме того, при этом получение информации возможно лишь о поверхностном слое грунтов. Поэтому возникает необходимость использования других, косвенных методов исследования донных грунтов: фото- и видеосъемку, акустические и геофизические методы.

Подводная фотосъемка и главным образом стереофотосъемка позволяет исследовать микрорельеф и структуру донных отложений на любых глубинах. Тем же целям служит и подводная видеосъемка, но ее преимуществом является возможность получения непрерывной информации в полосе следования судна или глубоководного аппарата.

В основу акустических методов положено различие в скорости распространения звука и звукоотражательной способности грунтов, а также на различном рассеивании звуковой энергии неровностями дна и неоднородностями в толще донных отложений. Каждый вид грунта имеет стабильную в довольно узких пределах характеристику отражения звуковых волн, отличную от других видов. Имея набор эталонных импульсов, полученных при обследовании эхолотами участков дна с известными грунтами, можно опознавать грунт по форме отраженного дном и принятого сигнала, сравнив его с эталоном. Правда, при этом характер отраженных импульсов зависит от многих причин (параметры эхолота, геологическое строение дна, плотность морской воды), зачастую не поддающихся точному учету или непрерывно изменяющихся. Все это может приводить к значительным погрешностям при определении грунтов данным методом.

Для исследования донных отложений используется также *метод звуковой геолокации*. Сущность его заключается в том, что возбуждаемые в воде мощные импульсы упругих колебаний звуковой частоты достигают и отражаются от него подобно импульсам эхолота. Но при этом часть энергии проникает в поверхностный слой грунта, а в случае достаточно мощного акустического импульса полностью здесь не поглощается. На границе со слоем другого вида грунта происходит вторичное отражение, а оставшаяся энергия позволяет звуковому импульсу подойти к границе следующего слоя. Отраженные от дна и слоев грунта импульсы регистрируются на эхограмме в порядке их поступления.

Геофизические методы используются для более глубокого исследования характера и структуры осадочных и изверженных пород. Наибольшее использование получили сейсморазведка, гравиметрическая и гидромагнитная съемки, а также электропрофилирование. Комплексное их применение позволяет установить структуру и плотность донных отложений.

Глава 13

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

13.1. Общие положения

Гидробиология представляет собой комплексную биологическую науку, изучающую водные организмы – бактерии, растения, беспозвоночных и позвоночных животных – в единстве с условиями их существования. Как теоретическая наука гидробиология изучает вопросы приспособления (адаптации) водных организмов и их группировок к жизни в условиях определенных водных акваторий, при более или менее значительных колебаниях температуры, солености, прозрачности воды, на тех или иных грунтах, при больших сезонных и вековых колебаниях факторов среды.

Важным моментом в деле КУПЗ является проведение гидробиологических наблюдений с целью систематического контроля биологических последствий загрязненности морской среды. Очень часто качество морских вод можно определить совокупностью биологических процессов. Это объясняется тем, что морские организмы и их популяции являются чувствительными индикаторами на присутствие в среде загрязняющих веществ определенной химической природы. Кроме того, гидробионты аккумулируют токсические компоненты, перенося их в различные биотопы морских экосистем, а также на разные уровни пищевой цепи организмов моря.

Гидробиологические исследования представляют собой обязательный элемент при всех работах по рыбохозяйственному освоению и использованию различных водных акваторий. Гидробиология активно участвует в решении вопросов использования водоемов для целей водоснабжения, контроля качества воды и выработки мер охраны акваторий от загрязнений, разработки способов очистки сточных и питьевых вод. Важной областью гидробиологических исследований является охрана гидротехнических сооружений от повреждений их обитателями водосмол, борьба с обрастанием подводных частей судов, разработка мер предохранения металла и бетона от коррозии. Важное значение имеют гидробио-

логические исследования при решении ряда медицинских и ветеринарных проблем, связанных с передачей различного рода заболеваний через воду и водные организмы.

Для исследования подобных процессов используются различные системы оценок и анализов, основанных на определении микробиологических показателей, выделении индикаторных организмов, использовании комбинированного сочетания структурных и функциональных показателей. Применение биологических методов в общей системе оценки состояния загрязнения морской среды предполагает прямое определение нарушений абиотической компоненты водных экосистем. Биологические методы являются наиболее чувствительными, они позволяют регистрировать самые незначительные, даже временные, отклонения от нормы как отдельных биологических процессов, так и общего состояния морской экосистемы.

13.2. Основные понятия и определения

Перед проведением гидробиологических работ необходимо сориентироваться в распределении отдельных видов и групп организмов в исследуемом водоеме. Обычно водоемы делятся на три группы местообитания водных организмов: дно, водную толщу и поверхность (поверхностную пленку). Население водоема по месту характерного обитания делится на следующие экологические группы: бентос, перифитон, нейстон, плейстон, планктон, планктоно-бентос, нектон и нектоно-бентос.

Бентос – совокупность растительных и животных организмов, населяющих дно водоемов. Различают *фитобентос* (донные растительные организмы) и *зообентос* (донные животные организмы). Кроме того, по параметрам составляющих его организмов различают: *микробентос*, состоящий из бактерий, одноклеточных водорослей и мелких животных, длина которых не более 1 – 2 мм; *мезобентос*, состоящий из животных длиной 2 – 8 мм, и *макробентос*, состоящий из крупных колониальных водорослей, укореняющихся водорослей и высших растений, а также животных, длина которых составляет сантиметры и десятки сантиметров. Зообентос подразделяется на *подвижный* и *прикрепленный*. К подвижному бентосу относятся перемещающиеся формы (например,

крабы), лежащие на дне формы (например, гребешок) или закапывающиеся в грунт (например, морские ежи). К прикрепленному бентосу относятся виды, живущие неподвижно на морском дне либо в толще грунта или передвигающиеся, находящиеся в постоянном физическом контакте с морским дном (например, устрицы, двусторчатые моллюски, кораллы, губки, раковины-жемчужницы).

Перифитон является разновидностью бентоса, средой обитания которой являются днища судов, пристани, стенки причальных сооружений, вбитые в дно сваи и другие предметы, сооруженные человеком или упавшие в воду.

Нейстон представляет собой сообщество микроорганизмов, средой обитания которого является поверхностная пленка воды в водоемах с небольшими течениями. Он состоит, как правило, из большого количества бактерий, хризомнад, жгутиковых и других простейших.

Плейстон – разновидность нейстона, среда обитания которого находится не только в поверхностной пленке, но и в поверхностном слое воды и в слое воздуха над ее поверхностью. К плейстону относятся сифонофоры и некоторые водоросли-микрофиты.

Планктон – собирательное понятие для сообщества дрейфующих или малоподвижных растений и животных, обитающих в морской воде. Термин "планктон" происходит от греческого слова "планос", что означает "блуждающий". Планктон по большей части представляет собой мелкие, лишенные сильных органов движения организмы, ведущие взвешенный в водной толще образ жизни. По своему составу планктон делится на *фитопланктон* и *зоопланктон*. По своим размерам планктон подразделяется на *нанопланктон* (длина или диаметр не более 50 мкм), *микропланктон* (водоросли и животные размером от 50 мкм до 1 мм), *мезопланктон* (организмы размером 1 – 5 мм) и *макропланктон* (организмы более 5 мм).

Фитопланктон состоит в основном из мельчайших одноклеточных форм растений (диатомовых и динофлагеллят) и определенных видов сине-зеленых водорослей. Сюда также относятся более крупные, пассивно плавающие водоросли, например, саргасы. Фитопланктон является основным производителем органического вещества в море. В процессе фотосинтеза с помощью энергии солнечного света из неорганических веществ, содержащихся

в морской воде, образуется органическое вещество. Учитывая, что для фотосинтезирующей деятельности фитопланктона необходим свет, он заселяет верхние 100 м водной толщи.

Зоопланктон представляет собой животные формы планктона, являющихся основными потребителями фитопланктона. В свою очередь, зоопланктон служит пищей для многих видов рыб, головоногих моллюсков и усатых китов. Зоопланктон распространяется по всем известным областям и глубинам океанов. В эту группу входит население водоемов, не способное передвигаться против течений. Наиболее многочисленными представителями зоопланктона являются в основном растительноядные рачки копеподы и эвфаузииды, хищные щетинкочелюстные. В некоторых районах преобладают фораминифоры, оболочники, амфипода, моллюски, кишечнорастворимые, ктенофоры, птероподы и радиолярии, но обычно они составляют не более 50 % общей массы зоопланктона. В неритовой зоне (на глубинах до 200 м) основную часть зоопланктона составляют личинки и яйца бентосных и нектонных организмов.

Планктоно-бентос является промежуточной группой между бентосом и планктоном, состоящих из бактерий, водорослей и животных, которые проводят жизнь в активном состоянии как на дне, так и в толще воды. К этой группе принадлежат многочисленные беспозвоночные (наиболее характерны ракообразные), а из водорослей многие виды протококковых, десмидиевых, сине-зеленых и диатомей.

Нектон состоит из организмов – хороших пловцов, легко перемещающихся в водной толще. К нему относятся рыбы, водные млекопитающие, рептилии и амфибии, а также ряд головоногих моллюсков.

Нектоно-бентос состоит из организмов – хороших пловцов, проводящих большую часть жизни на дне и изредка перемещающихся в основном в придонных слоях на сравнительно небольшие расстояния. К нему относятся некоторые виды рыб и многие высшие ракообразные.

В каждом водоеме все эти крупные группировки подразделяются на многочисленные биоценозы, под которыми понимают исторически сложившееся устойчивое семейство растительных, бактериальных и животных организмов, связанное общностью место-

обитания и сходством главнейших экологических признаков, возникших и возникающих в историческом процессе приспособления организмов к условиям окружающей среды. В морях биоценозы распределяются по своим закономерностям, но всюду это распределение зависит от рельефа дна, распределения глубин, физических и химических особенностей водной среды, истории водоемов. Все эти факторы не в одинаковой степени влияют на распределение главных группировок – бентоса и планктона, поэтому в пределах одного и того же водоема может наблюдаться некоторая неравномерность в развитии биоценоза.

13.3. Состав и объем работ

В рамках КУПЗ планирование гидробиологических исследований начинают с определения задач этих исследований, установления перечня вопросов и выявления районов, подлежащих изучению. Для этой цели в первую очередь знакомятся с архивными и литературными источниками. Если на месте нет соответствующих картографических данных, то необходимо произвести глазомерную или полуйнструментальную съемку района, затем выполняют геодезическую ориентировку в местах исследований и фиксируют координаты. После промера глубин в исследуемом районе составляют конкретную рабочую программу работ. Устанавливается порядок выполнения работ и место их проведения. Для правильного выбора метода и орудия исследований перед началом работ необходимо сориентироваться в распределении отдельных видов и групп организмов в районе работ.

На морях и океанах гидробиологические исследования ведутся в комплексе с другими океанологическими работами, одновременно с гидрофизическими и гидрохимическими наблюдениями. При проведении экспедиционных исследований с судов в программу работ обязательно должны входить изучение вопросов фотосинтеза в водной толще, сборы фито- и зоопланктона качественными и количественными методами, сборы фито- и зообентоса с помощью тралов, драг и дночерпателей. Экспедиционные исследования позволяют изучать миграции планктонных организмов в темное и светлое время суток, перемещения рыб в связи с миграцией животных, служащих им пищей.

В тех случаях, когда в районе исследований в рамках КУПЗ имеется биологическая станция, программа гидробиологических наблюдений в значительной степени расширяется. В этих условиях возможно проведение как натурного эксперимента, так и в лаборатории, а также проведение исследований временной изменчивости изучаемых параметров.

На прибрежных биологических станциях проводится изучение циклов жизни водных растений и беспозвоночных, сезонные изменения в питании рыб и других позвоночных, биология массовых видов планктона и бентоса. Также проводятся физиологические исследования, в том числе и с использованием радиоактивных изотопов. Необходимо также отметить проведение фенологических наблюдений, проводимых на эколого-физиологической основе. Все это позволяет выполнить наблюдения над изменением состава планктона и бентоса с одновременным периодическим анализом возрастного состава популяции, физиологического состояния организмов, а кроме того, отметить наличие и количество изучаемых и количество изучаемых беспозвоночных в кишечниках рыб.

Экспедиционные исследования должны сопровождаться стационарными наблюдениями, но несколько иначе, чем в открытом море, так как это зона произрастания высшей водной растительности со сравнительно небольшими колебаниями уровня. В начале проведения исследований путем промера и знакомства с архивными батиграфическими материалами составляется схема вертикального расчленения изучаемого района, затем с помощью рекогносцировочных тралений и драгирования намечается приблизительная картина распределения биоценозов, после чего приступают к тщательной гидробиологической работе, отличающейся применением строго количественных методов.

С борта судна осуществляется отбор планктона по горизонтам качественными и количественными орудиями, фиксация собранного планктона формалином в стеклянных банках и их этикетирование. Отбираются пробы воды с различных горизонтов и определяется интенсивность фотосинтеза с помощью кислородного и изотопного методов. Производится отбор количественных проб бентоса дночерпателями, промывка грунта, выборка бентоса, фиксация его спиртом в стеклянной или металлической посуде и эти-

кетирование. Эти же операции осуществляются и с пробами бентоса, извлеченными драгами и тралами.

В лабораторных условиях собранные материалы по планктону определяются, просчитываются количественные пробы, результаты которых переводятся на веса и т.д. Материалы по бентосу разбираются по группам, просчитываются, взвешиваются, определяются. При длительном сборе какого-либо вида собираемый материал подвергается биологическому анализу популяции, что позволяет получить представление о динамике роста, числе и смене поколений, размножении и т.д. При изучении фотосинтеза и хемосинтеза фитопланктона и бактериопланктона большинство операций осуществляется на борту судна, кроме обработки фильтров с радиоактивным углеродом, выполняемых в лаборатории.

Все гидробиологические работы всегда сопровождаются определением основных океанологических параметров: колебания уровня, направление и скорость течений, температура и соленость воды на разных горизонтах, цвет и прозрачность воды, активной реакции pH, содержания растворенного кислорода, углекислоты, хлора, кальция, азота и фосфора, свойств грунта.

13.4. Обоснование необходимости исследований

Проведение гидробиологических исследований в целях КУПЗ необходимо для изучения не только отдельной особи водных организмов или отдельных видов, но и группировок водных организмов, биоценозов и всего населения водоема в целом – биомов. Гидробиология изучает биологическую продуктивность водоемов на основе исследования продуктивности водных организмов и разрабатывает методы активного управления процессами биологического продуцирования водоемов.

Всякое сооружение, находящееся в воде или омываемое течением, всякое судно в море, различного рода портовые, причальные и гидротехнические сооружения подвергаются обрастанию бактериальными, растительными и животными организмами. Любая металлическая или железобетонная конструкция под водой, при отсутствии надлежащей защиты, поддается коррозии, начальной стадией которой зачастую бывает также обрастание. Каждое морское деревянное морское судно или сооружение является пита-

тельной средой для древоточцев, несущих разрушение. Подводные трубопроводы в морских условиях, особенно при наличии местного загрязнения, иногда сплошь зарастают бактериями, водорослями и прикрепляющимися животными. Большое значение гидробиологические исследования имеют для охраны гидротехнических и портовых сооружений от повреждений их обитателями водосмов, борьба с обрастанием подводной части судов, разработка мер предохранения металла и бетона от коррозии.

Обрастание судов вызывает снижение их скорости, большие непроизводительные расходы на топливо, докования и периодическую чистку днища. В этом процессе принимают участие до 2000 видов водных организмов. Среди этой массы бактерий, водорослей и животных не все виды прикрепляются непосредственно к судну, многие из них находят подходящие условия для существования среди других прикрепляющихся организмов. Процесс обрастания судов и других морских объектов обычно начинается с появления быстро размножающихся микроорганизмов, вслед за которыми идут водоросли, а из животных – простейшие. Многоклеточные животные входят в состав обрастаний по мере появления в воде их плавающих личинок в соответствии с ритмом размножения разных видов в различных климатических зонах.

Обрастание подводных трубопроводов имеет свои характерные особенности. Оно может происходить как с наружной, так и с внутренней стороны, что приводит к увеличению коррозии материала трубопроводов. Кроме того, внутреннее обрастание приводит к сильному сокращению внутреннего диаметра труб, что в значительной степени уменьшает массопередачу, а иногда вызывает и полную закупорку труб оторвавшимися от стенок организмами или раковинами умерших моллюсков. Наиболее опасными для трубопроводов организмами в морских условиях являются моллюск мидии, а также мшанки и губки. Борьба с обрастанием трубопроводов весьма трудна и нуждается в проведении специальных научных исследованиях.

Анализ материалов гидробиологических исследований и данных океанологических наблюдений помогает установить закономерности распределения рыб и других промысловых организмов, являясь основой для составления их поисковых карт. Кроме того, важное зна-

чение имеют гидробиологические исследования при решении ряда медицинских и ветеринарных проблем, связанных с передачей различного рода заболеваний через воду и водные организмы.

Биологический мониторинг морской среды включает систематические наблюдения над элементами функциональной структуры биоценозов с целью оценки и прогноза состояния биотического компонента морских экосистем и сочетается с системой гидрохимического мониторинга, осуществляющего контроль над источниками и уровнями загрязнения морской среды.

Эффекты антропогенного воздействия (что характерно для прибрежной зоны) проявляются на индивидуальном (биологические последствия) и популяционно-биоценотическом (экологические последствия) уровнях. Биологические последствия включают изменения биохимического, морфологического, физиологического и генетического характера в организмах. Нарушения популяционно-биоценотического характера проявляются в изменении средней биомассы популяций планктонных и бентосных организмов, уменьшении числа родов или семейств гидробионтов, появлении новых организмов (например, патогенная микрофлора), изменении соотношения между процессами продукции и деструкции органического вещества, нарушении процессов экологического метаболизма, появлении индикаторных организмов. Загрязнение морской среды приводит к упрощению структуры экосистем с заменой высокоспециализированных видов резистентными (устойчивыми) видами и к снижению разнообразия экосистем.

13.5. Методы проведения исследований

13.5.1. Методы сбора бентоса

Донное население водных акваторий (бентос) можно изучать различными методами. Его сборы могут производиться или сачками, драгами, тралами без учета количества (так называемые качественные сборы), или дночерпателями и другими устройствами, регистрирующими обловленную площадь (количественные сборы).

Самыми простыми устройствами для качественного сбора донного населения (животных, отдельных растений) с берега или со шлюпки на мелководье являются сачок, скребок и грабельки.

Сачки состоят из металлического обруча диаметром 20 – 30 см (для круглого сачка) или длиной по нижней грани до 30 см (для пирамидального сачка). Мешок сачка, прямоугольный или закругленный на конце, делается из плотной прочной конгресс-канвы, частой дели или мельничного шелка.

Скребки (рис. 13.1), напоминающие собой сачки, изготавливаются из более прочного металла, а нижний край обода у них делается из стальной заостренной с одной стороны полосы. Высота обода 8 – 20 см, а длина стальной полосы 6 – 18 см.



Рис. 13.1. Скребок.

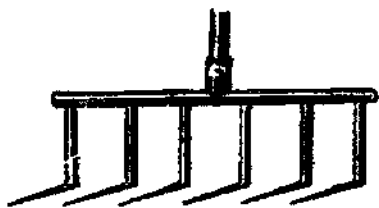


Рис. 13.2. Водяные грабельки.

Водяные грабельки (рис. 13.2) делаются из толстой металлической полосы длиной до 15 см, к которой снизу крепятся 6 изогнутых под прямым углом зубцов. Длина зубцов до изгиба – 6 см, а после изгиба – 2,5 см. К верхней части планки приваривается втулка для крепления шеста диаметром 2,5 – 3 см.

Для сбора водных растений и водорослей с населяющими их личинками насекомых и различными животными, а также для ловли моллюсков и других животных, зарывающихся в грунт, применяются *драги* различных модификаций: треугольной или четырехугольной формы; с ножами или зубьями.

Тралами собирают животных, обитающих на поверхности грунта, в них попадает большое количество представителей некто-бентоса и держащихся у дна рыб.

Количественную пробу бентоса можно с известной степенью точности взять любым прибором, описанным выше. Кроме того, следует отметить, что наиболее удобными и портативными приборами количественного учета донного населения являются дночерпатели. В настоящее время имеется много дночерпателей различ-

ных систем, описание отдельных модификаций которых приведено в разделе 12.3.

Перифитон, являющийся разновидностью бентоса, изучается или непосредственно на обрастающих предметах (суда, буи, сваи и т.п.), или на разного рода пластинах, специально выставляемых в водоемах (рис. 13.3). Сборы организмов обрастания производятся в разное время года. Оценка обрастания пластинок производится путем подсчета количества особей, осевших и развивающихся на них, или измерением площади обросшей поверхности.

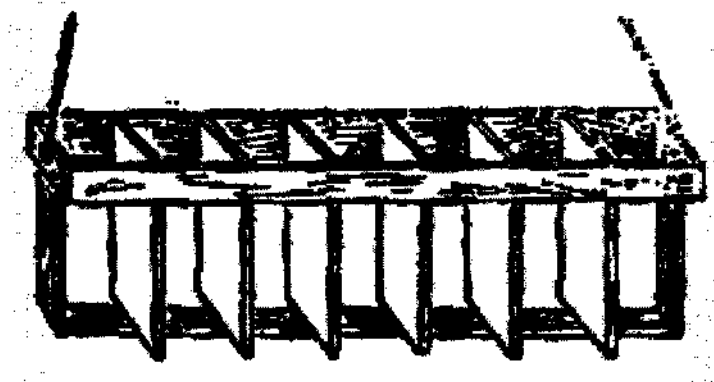


Рис. 13.3. Рама для подвешивания пластинок обрастания.

Литораль является одной из самых интересных для гидробиологов зон моря. Во время отлива здесь обнажаются иногда огромные площади дна и открывается интересный мир растений и животных. Здесь можно изучать приспособление литоральных обитателей к своеобразным условиям приливо-отливных колебаний, закономерности вертикального и горизонтального распределения водорослей и животных в зависимости от солености и температуры воды, прибойности, характера грунта, температуры воздуха в разное время года.

Сублитораль, особенно в своей верхней части, отличается большим разнообразием биоценозов и океанографических условий. Эта зона служит местом откорма и нереста многих нерестовых рыб и их промысла. Гидробиологические работы осуществляются здесь сериями разрезов, располагающихся по нормали к коду изобат.

13.5.2. Методы сбора планктона

Планктон, обладая различными размерами организмов и особенностями распространения их в разных водоемах, отбирается для исследования с помощью различных планктонных сеток, насосов, батометров, планктоночерпателей, камер и т.п.

Классическим орудием сбора планктона является коническая планктонная сетка, состоящая из шелкового или нейлонового конуса (усеченного), в верхней части нашитая на металлическое кольцо, а в своей нижней части имеющая металлический или стеклянный стаканчик, в котором и концентрируется собираемый планктон. Качественные конические сетки различной величины используются для работы с шлюпки или судна, откуда их опускают в воду по возможности в вертикальном направлении. В некоторых случаях допускается забрасывание сеток с берега с последующим осторожным их вытягиванием, не допуская зачерпывания грунта.

Для количественных сборов планктона также иногда пользуются коническими сетками, но с надставкой в виде усеченного конуса из какой-либо плотной материи в их верхней части для уменьшения потери планктона, выносимого из сетки обратными токами воды при ее движении в воде. На основе конической сетки сконструированы и замыкающиеся количественные сетки Джеди, имеющие более вытянутую надставку и относительно более узкий сетяной конус. Используются сетки разных размеров.

Кроме того, при работах в море применяются количественная сеть Нансена, метровая сеть, рингтрал, планктоноиндикатор, пелагические сети большого диаметра и т.п. В некоторых моделях планктонных сеток для определения количества проходящей через них воды используются гидрометрические вертушки.

13.5.3. Определение пигментов фитопланктона

Изучение количественных соотношений между различными пигментами фитопланктона позволяет судить о преобладании той или иной группы водорослей в воде. Так, основную массу морского фитопланктона составляют диатомовые и перидиниевые водоросли, которые содержат хлорофиллы "a" и "c". Определение даже небольшого количества хлорофилла "b" указывает на развитие мелких жгутиковых (зеленых) и сине-зеленых водорослей.

Пигменты растений подразделяют обычно на хлорофиллы "а", "b", "с", каротиноиды и фикобилины. Основную роль в фотосинтетическом процессе играет хлорофилл "а", а все другие пигменты лишь передают поглощенную ими энергию хлорофиллу "а", т.е. содержание хлорофилла "а" является важнейшей характеристикой фотосинтетической активности фитопланктона. Соотношения между пигментами водорослей характеризуют также физиологическое состояние популяции фитопланктона. Так, например, высокое содержание хлорофилла "а" свидетельствует об интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона, а уменьшение его содержания и повышение количества хлорофилла "с" указывает на затухание развития фитопланктонного сообщества.

Следует отметить, что физиологическое состояние и фотосинтетическую активность фитопланктона также характеризует так называемый пигментный индекс — отношение между оптическими плотностями ацетоновой вытяжки из фитопланктона на длинах волн 663 и 430 нм.

Отбор проб на фитопланктон производят на стандартных горизонтах и в слое скачка температуры при выполнении океанографических станций. Нижний горизонт отбора проб определяется глубиной фотического слоя (компенсационная точка фотосинтеза, определяемая глубиной проникновения приблизительно 1 % от солнечной радиации). Этот горизонт определяют по глубине относительной прозрачности воды, умножив ее на коэффициент 1,7 – 2. Пробы воды на фитопланктон отбирают специальными сетями или батометрами. Объем проб для анализа обычно берут от 0,5 до 5 л.

Батометрический способ отбора проб на фитопланктон позволяет учитывать водоросли всех размерных групп, правда, вероятность выявления наиболее редких видов при просмотре под микроскопом ограниченного числа особей значительно меньше, чем при микрокопировании проб, отобранных планктонной сетью.

Планктонная сеть (чаще всего используется сеть Джеди — (рис. 13.4) предназначена для тотального сбора планктона при ее протягивании через облавливаемый слой воды. Сеть опускают в воду со скоростью не более 1,2 – 1,5 м/с, подъем же сети с заданного горизонта производят со скоростью не более 0,7 – 0,8 м/с. На борту судна содержимое сети сливают в специально приготовлен-

ную банку с этикеткой, а затем сеть вновь опускают за борт так, чтобы в воде находился лишь газовый конус. После этого сеть поднимают на борт, ее содержимое сливают в общую пробу, а сеть промывают.



Рис. 13.4. Замыкающаяся сетка Джеди: 1 – верхнее кольцо; 2 – матерчатый корпус; 3 – нижнее кольцо; 4 – шелковая сетка; 5 – стаканчик; 6 – кольца на стаканчике; 7 – шнур, связывающий сетку с замыкателем; 8 – шнуры на верхнем кольце; 9 – петля на шнуре; 10 – шнур, удерживающий стаканчик.

Обработка собранных проб подразумевает, что все таксоны, содержащиеся в анализируемой пробе, обнаружены и определены, а при количественном подходе установлены также их соотношения в виде численностей или биомасс составляющих фитопланктон популяций. Подобная операция осуществляется путем учета всех особей, содержащихся в пробе. Но из-за малых размеров клеток сети и большой плотности большинства популяций исследуют под микроскопом лишь выборочные меньшие объемы проб, анализ которых позволяет достаточно точно судить об истинных соотношениях популяций в основной пробе на фитопланктон. В качестве выборочных меньших объемов ("выборок") обычно используют известный объем счетных камер различного типа, в которых с помощью микроскопа точно учитываются все особи фитопланктона. При получении благоприятной для учета популяций плотности фитопланктона в камере производят его концентрирование в основной пробе с использованием осаждения, фильтрации или центрифугирования. Иногда возникает потребность разводить отобранные пробы.

13.5.4. Методы отбора проб морской воды для микробиологических анализов

Одним из главных условий получения достоверных результатов микробиологического изучения водоемов является стерильность отбора проб с заданного горизонта. Основным инструментом для отбора проб являются батометры различных конструкций (предпочтение отдается пластмассовым батометрам). При отборе проб воды из тонкого поверхностного слоя используются специально предназначенные для этого устройства, описание которых приведено выше. Перед отбором проб воды с различных горизонтов необходимо стерилизовать внутреннюю поверхность батометра, промывая ее 96-градусным спиртом, а металлические батометры можно стерилизовать паром из автоклава. Перед непосредственным отбором пробы воды из батометра необходимо тщательно прожечь кран сильным пламенем спиртовки. После этого кран открывают, и сильная струя воды из батометра промывает и охлаждает его. Затем пробой воды заполняют стерильную склянку с притертой пробкой.

Перед наполнением пробями воды склянки должны быть тщательно простерилизованы. Для этого склянки тщательно промывают водопроводной водой, споласкивают дистиллированной водой и высушивают в сушильном шкафу. После этого каждую склянку закрывают притертой пробкой, заворачивают в плотную бумагу и стерилизуют в сушильном шкафу в течение 2 ч при температуре 140 °С. Непосредственно перед выполнением океанографической станции склянки освобождают от бумаги и маркируют, т.е. на каждой надписывают номер станции и горизонт, с которого взята проба.

13.5.5. Методы определения интенсивности фотосинтеза фитопланктона

Фотосинтетическая деятельность зеленых организмов, в частности, планктонных водорослей, служит единственным первоисточником образования органического вещества в водоемах. Измерение первичной продукции, т.е. количества органического вещества, которое синтезируется фитопланктоном за единицу времени в процессе фотосинтеза, имеет большое значение при определении

продуктивности водоема. За счет дыхания водорослей и окислительной деятельности бактерий происходит обратный процесс разрушения (деструкции) органического вещества. Сопоставление интенсивности фотосинтеза и деструкции органического вещества имеет существенное значение при изучении влияния загрязняющих веществ на жизнедеятельность организмов в море.

Для определения первичной продукции в море используются в основном два метода: кислородный или радиоуглеродный.

Кислородный метод позволяет интенсивность фотосинтеза определить по количеству выделенного кислорода при инкубации проб воды при естественном освещении.

Радиоуглеродным методом учитывается количество органического вещества синтезированного фитопланктоном на свету из добавленного в опытные склянки радиоактивного карбоната натрия.

Радиоуглеродный метод более удобен и обладает высокой чувствительностью, что позволяет выполнять анализы в олиготрофных водах и на таких глубинах, где первичная продукция органического вещества слишком мала и не учитывается кислородным методом. Кислородным методом, как правило, пользуются в эвтрофированных водах, когда возможно уловить изменения в содержании кислорода после суточной экспозиции склянок на свету. Этот метод рекомендуется для работы в теплое время года при температуре воды до 18 – 20 °С, а также для исследования в прибрежной зоне моря, где с помощью кислородного метода можно довольно быстро определить деструкцию органического вещества.

13.5.6. Методы отбора и обработки проб морского зоопланктона

Зоопланктон является важным звеном в пищевой цепи между первичными продуцентами (фитопланктоном) и хищниками. Эта группа пелагических организмов существенно контролирует биомассу фитопланктона, что в значительной степени влияет на всю экосистему пелагиали.

Изучение особенностей зооценоза зачастую оказывается полезным при оценке степени загрязненности среды. С этой целью важно выделить индикаторные формы зоопланктона, для чего необходимо обращать внимание на личиночные стадии донных жи-

вотных, которые очень чувствительны к загрязнению. Отсутствие их в планктоне говорит о неблагоприятном состоянии биоценоза.

Необходимо проводить следующие гидробиологические наблюдения: определение численности зоопланктона (общей и основных групп – *Copepoda*, *Cladocera* и т.д.); определение массовых видов и видов-индикаторов; установление биомассы (общей, основных групп и массовых видов); установление общего числа видов зоопланктона.

Как правило, зоопланктон подразделяют на группы в зависимости от размера организма. Микрозоопланктон (менее 200 мкм) состоит из организмов от самых мелких жгутиковых до ранних стадий развития конепод. Мезозоопланктон (200 мкм – 10 мм) состоит из большинства организмов зоопланктона, например, *Copepoda*. Макрозоопланктон (более 10 мм) включает в себя таких животных, как медузы, сальпы, хетогнаты и т.п.

Отбор проб зоопланктона производят со стандартных горизонтов. Замена стандартных горизонтов возможна, исходя из конкретных задач исследования, что требует предварительного выяснения особенностей распределения организмов. Во всех случаях при сборе планктона необходимо учитывать стратификацию водной толщи, положение скачка температуры, распределение фитопланктона в период его массового развития, а также показания эхолота. Пробы микрозоопланктона отбирают обычно 5-литровым батометром. В качестве основного орудия лова зоопланктона используют планктонные сети различного типа.

При проведении фаунистических исследований лучшие результаты дают горизонтальные ловы тралами и косые ловы сетями. Для количественной оценки зоопланктона, а также при исследовании вертикального распределения планктона используют вертикальные послойные ловы замыкающими сетями. В настоящее время приняты послойные ловы по стандартным горизонтам: дно – 1000 м, 1000 – 500, 500 – 200, 200 – 100, 100 – 50, 50 – 25, 25 – 10, 10 – 0 м. Обычно производят серию ловов в слое 0 – 500 м.

Глава 14

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

14.1. Проблемы развития методов измерений океанологических характеристик

К настоящему времени уже сложились определенные представления о характере изменчивости Мирового океана, что позволяет с единых позиций рассмотреть флуктуации океанологических характеристик и выделить те процессы, которые их вызывают.

Подобная оценка изменчивости океанологических характеристик позволила сформулировать необходимые требования к измерительной океанографической аппаратуре и методике производства наблюдений, касающихся точности, чувствительности, продолжительности и пространственно-временной дискретности измерений их репрезентативности, выбора аппаратуры с оптимальной информативностью.

Экспериментальные исследования существующей изменчивости вод Мирового океана во всем ее диапазоне могут обеспечить зондирующие, буксируемые, автономные и специальные информационно-измерительные системы. Большинство современной аппаратуры, используемой для исследования Мирового океана, представляет собой системы, позволяющие одновременно производить измерения нескольких океанологических характеристик.

Результаты океанологических исследований с помощью подобной аппаратуры позволили выявить сложную картину процессов, протекающих в Мировом океане (сложная система течений, синоптические вихри, тонкая термохалинная структура и т.п.), усложнили задачу создания общей оптимальной теоретической модели, ее апробирование в натурных условиях, требует огромного экспериментального материала о пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических характеристик. При этом, конечно же, возможно создание одинаковых измерителей с раз-

личными метрологическими характеристиками и методами их использования для каждого из масштабов изменчивости, соответственно, откорректировав некоторые характеристики датчиков, дискретность измерений, продолжительность наблюдений и вид первичной обработки.

Кроме того, полученные результаты измерений используются не только самостоятельно, но и для расчета с помощью известных функциональных зависимостей таких параметров, как соленость, плотность, скорость звука в воде и т.п. Подобные косвенные измерения требуют корректного подхода при выборе точности измерений первичных океанологических характеристик, что не всегда выполняется при создании измерительных систем, несмотря на то что их создание чаще всего основывается на достижении максимально возможного для каждого из видов измерений научно-технического уровня. В то же время завышение точности измерений отдельных океанологических характеристик, входящих в формулы косвенных определений, приводит к необоснованному усложнению аппаратуры, повышению ее стоимости и снижению надежности. Поэтому определение оптимальных значений в выборе точности измерений отдельных характеристик является актуальной задачей при выполнении косвенных определений. При решении данной задачи целесообразно первоначально определить требуемые предельные точности измерений отдельных характеристик с учетом точности метода расчета вторичного параметра.

Поэтому в настоящее время перед практической океанологией во всем мире стоит задача создания автоматизированных, малогабаритных, высокоинформативных, простых по конструкции и надежных при эксплуатации в морских экспедиционных условиях информационно-измерительных систем массового сбора и обработки океанологической информации. Под автоматизированной системой понимают совокупность измерительных, вычислительных и регистрирующих средств, объединенных в общую структурную схему с заданными алгоритмами функционирования. Основными элементами системы являются измерительные каналы с датчиками, микро-ЭВМ или специализированное вычислительное устройство, устройства передачи, регистрации, хранения и отображения информации. Элементы системы различаются фор-

мой представления информации, быстродействием, конструкцией, логикой функционирования, что представляет существенные трудности при ее создании. Эта проблема решается с помощью интерфейсов. Использование микропроцессоров в заборном блоке расширяет функциональные возможности системы, упрощает процедуры градуировок, тестирования, контроля работоспособности и диагностирования.

Все это объясняет появление во всем мире универсальных измерительных устройств, которые могут быть использованы как в различных комбинациях, так и в виде зондирующих, буксируемых и автономных измерительных устройств, в которых состав аппаратного комплекса может меняться в зависимости от поставленной практической задачи.

В последнее время при разработке и создании измерительных систем широко используется модульный подход. Сконструированные типо-размеры датчиков, электронных схем вторичного преобразования, блоков передачи информации и средств регистрации позволяют использовать элементную и системную базу практически для любых измерительных устройств и систем. Кроме того, созданы датчики, позволяющие одновременно выполнять измерения различных океанологических характеристик, что в значительной мере упрощает конструкцию аппаратуры. Так, например, в измерителях с 2-плёночным датчиком одну из плёнок можно подключить в канал измерения пульсаций температуры, а другую — пульсаций скорости потока. 3-элементный датчик, имеющий центральный точечный электрод и два плёночных электрода, позволяет производить одновременные измерения 3-х пульсационных характеристик в одной точке: электропроводность конвективным способом, используя центральный электрод; температуру и скорость течения, используя плёночные электроды. По-видимому, подобная технология создания комплексных датчиков довольно перспективна.

Анализ метрологических проблем океанологических измерений позволяет получить следующие основные выводы. В настоящее время используется большое количество разнообразных средств измерений океанологических характеристик для регистрации фоновых (стандартизованные средства измерений) и их пуль-

сационных составляющих (нестандартизованные средства измерений). Следует отметить, что точностные характеристики основных средств измерений, приведенные в литературе и паспортах приборов, носят, как правило, рекламный характер и определяют не погрешности измерения физических величин, а погрешности измерения этих величин без учета их динамических свойств, т.е. в статическом режиме. Погрешность измерения должна представлять собой суммарную погрешность, одной из составляющей которой будет методическая погрешность, зависящая от условий измерения, динамической характеристики средства измерений, изменчивости исследуемого параметра и особенностей решаемой задачи. В конечном счете, суммарная погрешность может на несколько порядков превышать инструментальную.

14.2. Зондирующие гидрологические системы

Приборы и устройства, предназначенные для исследования распределения по глубине одного или нескольких гидрофизических и гидрохимических параметров морской воды обычно называют гидрологическими зондирующими системами.

Развитие океанологических исследований позволило выявить сложность процессов, протекающих в Мировом океане, что, в свою очередь, потребовало создания высокочувствительной и точной аппаратуры с полной автоматизацией измерений и обработки данных, с возможностью получения почти непрерывных вертикальных профилей распределения океанологических характеристик. Образцами такой аппаратуры стали СТД-системы (conductivity, temperature, depth), предназначенные для измерения электропроводимости, температуры и давления. Около сорока лет назад начались работы по созданию аппаратуры, измеряющей *in situ* океанологические характеристики. Одним из родоначальников этого направления в океанологическом приборостроении можно назвать Н. Л. Брауна, который уже в 1962 г. опубликовал результаты своих исследований по созданию индуктивного преобразователя для измерения электропроводимости морской воды *in situ*, а позднее разработки по созданию платинового термометра сопротивления; двойного моста, предназначенного для компенсации влияния температуры и т.п.

Одной из первых в мире СТД-систем, позволяющих выполнять измерения *in situ* температуры, электропроводимости, гидростатического давления и скорости звука, можно назвать систему ASWEPS, разработанную в США в 1963 г. И уже за следующие тридцать лет только в США было разработано гораздо более 1000 подобных приборов. Использование в океанологической практике первых появившихся СТД-систем дало возможность исследовать тонкую термохалинную структуру и сложную слоистую структуру вод Мирового океана. Дальнейшее развитие океанологических исследований потребовало проведения комплексных методов подробного изучения гидрофизических и гидрохимических полей океана. Поэтому позднее появились приборы, способные регистрировать и другие океанологические параметры (характеристики течений, скорость распространения звука, пульсационные характеристики и т.п.), но по традиции за ними все равно остается общепринятое название СТД-системы.

Чаще всего СТД-системы используются вместе с кассетами батометров для отбора проб воды на гидрохимический анализ. Конструктивно они располагаются (по Д.Е. Левашову, 2003 г.) вертикально в центре внутри кассеты на подвесе к исполнительному блоку (рис. 14.1, а) или сбоку – вместо одного из батометров. В случае использования большого количества измерительных каналов снизу кассеты может быть подсоединена дополнительная секция, где полностью или частично располагается измерительная аппаратура, зачастую в горизонтальном положении (рис. 14.1, б). Иногда используются и 2-этажные кассеты (рис. 14.1, в). Правда, в этом случае их можно использовать только на тех судах, где имеются спускоподъемные устройства достаточной высоты.

Всю подобного типа аппаратуру можно классифицировать по способу использования, а также по принципу построения измерительных схем и способу представления информации.

По способу использования, т.е. по возможности получения вертикальной стратификации океанологических характеристик СТД-системы подразделяются на привязные и свободнопадающие. Привязные системы опускаются в воду с борта судна на кабельтросе. В этом случае на результате измерений в погружаемом устройстве оказывают влияние качка, вибрации, дрейф судна и т.п., что создает значительный уровень помех.

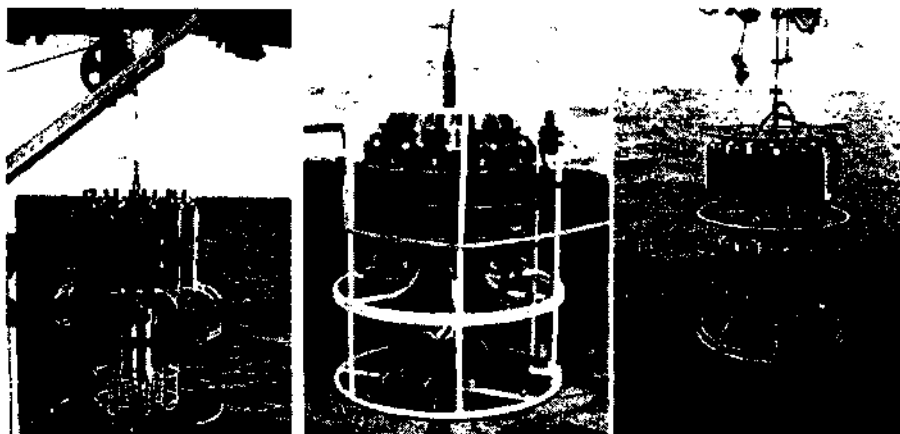


Рис. 14.1. Вертикальный (а) и горизонтальный (б) варианты расположения СТД-зондов внутри клетки, а также 2-этажный вариант кассеты (в).

Свободнопадающие системы, позволяющие проводить измерения на ходу судна, можно подразделить на теряемые системы с бесконтактной связью зондирующего устройства с бортовым блоком или в виде автоматической автономной системы с внутренним накопителем информации. Такие зонды близки к идеальным, но в них необходимы более сложные конструктивные особенности.

Промежуточное положение занимают квазисвободнопадающие и свободноскользящие системы. К первым в основном относятся теряемые, обрывные системы с проводной линией связи и спиннинговые. Достаточно высокая степень автономности таких систем обеспечивается малым диаметром и близким к единице удельным весом проводов линии связи, а также выбранным способом раскручивания провода. Однако здесь сказывается высокая стоимость единичного зондирования, вызванная высокой ценой теряемой аппаратуры, малоканальностью и заметной погрешностью в определении глубины.

Правда, в настоящее время принцип квазисвободного падения с проводной линией связи стал использоваться и в более сложных многоканальных СТД-системах (мини-зонд ОКБ ОТ РАН или СТД-система «Баклан» АО ИОРАН). Однако эти системы обладают определенными недостатками: измерения начинаются не с «нулевой» отметки глубины; они довольно громоздки и тяжелы

(50 – 200 кг); сложны в обращении, что затрудняет проведение повторных зондирований.

В последнее время в океанологической практике стали использоваться так называемые “спиннинговые” СТД-системы многоканальные и «возвращаемые», с малыми массовыми и габаритными параметрами, занимающие промежуточное положение между обрывными и свободнопадающими (ближе к теряемым системам), использующие тонкий и легкий провод связи, разрывного усилия, которого достаточно для поднятия устройства после зондирования на борт судна. Подобная аппаратура была разработана в МИФИ. Система имеет четыре измерительных канала: температура, удельная электропроводимость, давление и пульсации скорости с выходом на компьютер. Зонд подобного типа использовался в 35-м рейсе НИС «Академик Курчатов» и обеспечил при скоростях зондирования до 1,5 м/с снятие профилей температуры с разрешением по глубине ± 10 см и чувствительность измерений температурных флуктуаций 0,02 °С.

В свободноскользящих системах используется, как правило, индуктивная связь зондирующего устройства с бортовым блоком. Они характеризуются слабой механической связью с судном. Их недостатком является необходимость предварительной подготовки линии связи (троса или кабель-троса) и снижение степени автономности при наличии значительных подводных течений в районе исследований.

По принципу построения системы подразделяются на аналоговые и цифровые. В аналоговых измерительных системах сигнал на выходе из блока вторичного преобразования, представленный в виде напряжения, силы или частоты колебаний электрического тока, непрерывно передается на бортовой блок по линиям связи или регистрируется внутри самого измерителя. В цифровых измерительных системах исследуемый параметр преобразуется в зондирующем устройстве в цифровой вид и передается в бортовой блок зонда с определенной, заранее заданной, дискретностью по линии связи в виде последовательных двоичных или двоично-десятичных кодов. Подобные измерители позволяют производить квантование измеряемых характеристик по уровню и по времени.

При использовании зондирующей (а также буксируемой) аппаратуры метрологические характеристики получаемой информации существенно зависят не только от характеристик измерительной аппаратуры, но и от методов и условий производства измерений. Методика и условия проведения измерений показывают весьма существенное влияние на методическую погрешность, которая зачастую значительно превышает инструментальную погрешность и не учитывается при обработке информации. Например, при выполнении зондирования или буксировки одной из основных составляющих методической погрешности является динамическая погрешность. Динамическая составляющая погрешности обусловлена динамической характеристикой измерительной аппаратуры (инерционностью), вертикальными или горизонтальными градиентами исследуемых параметров и скоростью зондирования (буксировки). Динамическая характеристика является характеристикой измерительной аппаратуры, скорость зондирования (буксировки) может регулироваться в процессе измерений, а характеристики вертикального (горизонтального) распределения являются предметом изучения.

Как показывает практика, истинное значение постоянной времени измерительных приборов при наблюдениях *in situ* обычно превышает величину, записанную в паспорте прибора для датчика, потому что инерционность всего прибора включает в себя постоянную времени датчика, инерционность регистрирующего механизма, инерцию, связанную с захватом воды оправой датчика и влиянием массы прибора. Так, постоянная времени датчика температуры СТД-системы 9006 фирмы Биссет-Берман рекламируется как 0,35 с, а ее фактическое значение оказывается даже более 1 с.

Проходя, например, через слой с резкими градиентами исследуемой характеристики измерительное устройство регистрирует ее, как принято считать, через промежуток времени, равный 3τ . За это время измерительное устройство пройдет расстояние $l = 3V\tau$, где V – скорость зондирования или буксировки; τ – постоянная времени датчика, которое является как бы разрешающей способностью данного прибора по расстоянию. Так, батитермограф Т-4 «Силпикан» США на испытаниях при скорости зондирования

6 м/с показал разрешающую способность по вертикали 60 см, а с использованием тормозящего устройства – 10 см.

Кроме того, необходимо учитывать, что в настоящее время постоянная времени большинства современных датчиков имеет порядок 0,1 с, а разрешающая способность по расстоянию – 0,1 м. В этом случае значительное влияние начинают оказывать размеры датчиков. Особенно это сказывается на датчиках электропроводимости индуктивного типа, являющимися практически безынерционными, так как их размеры больше размеров термодатчиков. Поэтому разрешение по расстоянию датчиков электропроводимости практически определяется в основном их размерами.

В зависимости от поставленных задач, выдвигаются различные требования к получаемой информации. Поэтому для обоснования планирования измерений и правильной интерпретации их результатов при разработке методики проведения измерений необходимо иметь определенную физическую модель объекта исследований, которая может быть различной в зависимости от целей поставленной задачи. Использование СТД-систем, кроме того, позволяет в реальном времени при производстве измерений одновременно определять распределение таких обобщенных параметров среды, как частота Вайселя Брента, число Ричардсона, число Кокса, параметры активности турбулентности, предложенные Гибсоном и др.

Рассмотрим более подробно некоторые наиболее широко используемые СТД-системы. К одним из первых свободнопадающих СТД-систем можно отнести автономный измерительный океанографический зонд SAMO фирмы «Казакрус» (Франция) предназначен для измерения температуры воды и скорости звука в воде до глубины 5000 м (рис. 14.2). Кроме того, это зондирующее устройство может быть оснащено приборами для регистрации УЭП, концентрации растворенного кислорода, рН и т.п. Зонд не требует для своей эксплуатации лебедок.



Рис. 14.2. Автономный измерительный океанографический зонд SAMO.

Он просто выбрасывается за борт и за счет собственного веса опускается до заданной глубины, где сбрасывает груз и после этого всплывает на поверхность.

В процессе спуска и подъема со скоростью около 2 м/с зонд осуществляет измерения океанологических характеристик в виде цифровых данных параллельно с контрольным сигналом. Обнаружению зонда после всплытия способствуют радиосигналы, передаваемые прибором в течение 7 ч, проблесковый огонь в темное время суток, а также наличие уголкового отражателя.

Датчик температуры прибора расположен вне корпуса, а регистратор оснащен излучателем с частотами от 4 до 8000 Гц, оттарированным пропорционально температуре от -2 до $+35$ °С с точностью до $\pm 0,1$ °С. Питание схемы канала температуры осуществляется от батарей напряжением ± 15 В. В качестве датчика давления в устройстве используется манометрический потенциометр, позволяющий производить измерения в диапазоне от 0 до 500 атм. (0-5000 м) с точностью ± 1 %, имеющий выходную частоту от 4 до 8000 Гц и имеющий рабочий диапазон температур от -2 до $+35$ °С. Напряжение питания датчика ± 15 В. Измерение скорости звука в воде производится фазовым измерителем в диапазоне от 1440 до 1660 м/с с выходной частотой от 7 до 8000 Гц и точностью ± 1 %. Напряжение питания ± 15 В. Цифровое регистрирующее устройство позволяет выполнить 4000 измерений с частотой 1,25 с и с автономностью – 90 мин. Сам корпус зонда имеет длину 2500 и диаметр 300 мм при массе 40 кг.

В Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (Санкт-Петербург) выполнена разработка *телеметрического самолетного гидрозонда*, предназначенного для измерения вертикального распределения температуры и УЭП морской воды в режиме свободного падения до глубины 500 м с передачей результатов измерений на борт низколетящего самолета. В СТД-системе в качестве датчика температуры используется ППТС с постоянной времени 0,1 с, работающий в диапазоне $-2 \dots +20$ °С с погрешностью $\pm 0,05$ °С; датчик УЭП – миниатюрная 3-электродная кондуктометрическая ячейка, работающая по солености в диапазоне 2 – 36 ‰ с погрешностью не более $\pm 0,05$ ‰; датчик гидростатического давления – полупроводниковый тензорезистор, рабо-

тающий в диапазоне 0 – 50 бар с разрешением по глубине не менее 3 ± 5 м. Аналоговые сигналы, получаемые с датчиков, с циклической частотой 1с преобразуются внутри зонда в частоту, а затем – во время – импульсный код, с последующей передачей по гидроакустическому каналу на плавающий на поверхности буй-регистратор. Получаемая информация на буйе преобразуется в УКВ-радиопосылки и передается на борт самолета.

СТД-система весом до 5 кг вместе с ретранслятором сбрасывается с самолета, летящего на высотах до 300 м. При достижении ими воды ретранслятор остается на поверхности, а сам зонд погружается со скоростью 2 – 3 м/с. Подобная конструкция обеспечивает уверенный прием информации от зонда на буй с глубин до 500 м и в дальнейшем на самолет, летящий со скоростью не более 360 км/ч, в пределах прямой видимости взаиморасположения ретранслятора и самолета.

В состав аппаратуры СТД-системы, кроме теряемой части (зонд и ретранслятор), входят: расположенные на борту самолета УКВ-радиоприемник информации с блоком магнитной памяти для ее записи и адаптером прямой связи с компьютером в интерфейсе RS-232, а также контрольно-поверочный комплекс. С его помощью осуществляется контроль функционирования и уточнения градуировочных характеристик каждого экземпляра зонда непосредственно перед сбросом, которые автоматически заносятся в память бортового компьютера.

В ЦКБ гидрометприборов разработана *СТД-система с внутренней памятью «Челнок»*, предназначенная для работы в составе автономной буйковой станции или при зондировании до 1000 м. В состав системы входят: зондирующее устройство, высокоскоростная лебедка, согласующее устройство, зарядное устройство, персональный компьютер или принтер. Зондирующее устройство цилиндрической формы высотой 750 мм, с наибольшим диаметром 370 мм и массой (без груза) 8 кг позволяет измерять следующие характеристики:

- температура воды в диапазоне $-2 \dots +32$ °С с погрешностью $\pm 0,03$ °С;
- электропроводимость в диапазоне 2 – 7 См/м с погрешностью $\pm 0,006$ См/м;

– гидростатическое давление до до 100 атм с погрешностью $\pm 0,3$ атм;

– постоянная времени датчика температуры менее 50 мс.

Объем внутренней памяти зонда – до 5000 измерений. Количество зондирований без подзарядки аккумуляторов не менее 25. Диаметр несущего троса не менее 3–4 мм.

В качестве примера квазисвободнопадающего зонда можно привести созданный в Донецком Университете *автономный зонд многоразового использования* с ненагруженной линией связи с бортом судна. Данная СТД-система предназначена для зондирования на глубинах до 100 м при исследовании тонкой структуры и мелкомасштабной турбулентности. Зонд имеет герметический цилиндрический корпус, в нижней части которого размещены балласт переменной массы и датчики. В верхней же части помещен поплавков с внутренней полостью с закрепленной в ней бескаркасной бухтой капронового троса со свободным центральным сходом. Вторая катушка с капроновым тросом, смягчающая воздействие дрейфа и качки судна устанавливается на борту. Поплавков обеспечивает плавучесть зонда, близкую к нулевой, что позволяет системе свободно и плавно погружаться при зондировании. Скорость погружения зонда устанавливается в диапазоне 0,8 – 1,2 м/с путем изменения балласта переменной массы. По окончании зондирования система с помощью специального подъемного устройства и капронового троса выбирается на борт судна. В случае погружения зонда ниже допустимой глубины балласт с помощью специального приспособления (оттарированного на предельную глубину погружения) сбрасывается и зонд, получив положительную плавучесть, всплывает на поверхность, оставаясь связанным с судном через капроновый трос.

В состав зондирующего устройства входят датчики средних значений температуры воды, УЭП, гидростатического давления, скорости звука; пульсационных значений температуры воды, УЭП, вертикальной компоненты пульсаций скорости течения; коммутатор каналов; аналого-цифровой преобразователь; микропроцессорная система управления и регистрации информации; устройство последовательного обмена; устройство управления функцио-

нальным контролем; блок питания – батарея аккумуляторов и преобразователь напряжения.

Для измерения средних значений температуры воды используется медный ПТС в прочной медной трубке, заполненной теплопроводной массой. Сопротивление датчика при температуре 20 °С составляет 1000 Ом. Напряжение, меняющееся на датчике, сравнивается с напряжением на эталонном сопротивлении, по которому проходит тот же ток (переменный с частотой 10 кГц), а затем усиливается до заданного уровня. Абсолютная погрешность измерения температуры не больше 0,03 °С, чувствительность 0,009 °С в диапазоне изменения температур –2 ... +35 °С. Изменение гидростатического давления в диапазоне 0–10 атм не влияет на погрешность измерений средней температуры. Датчик пульсационных значений температуры, работающий в диапазоне 0,0015–1 °С с чувствительностью 0,00025 °С, отличается от датчика средних значений температуры только размерами (диаметр 0,35 мм).

В качестве датчика средних значений УЭП используется индуктивный с калиброванным внутренним отверстием тороидальных трансформаторов и высокостабильным источником питания (переменное напряжение с частотой 10 кГц). Измерение значений УЭП производится в диапазоне 1,5–6,5 См/м с основной погрешностью 0,1–0,15 % от измеряемой величины (среднеквадратическая погрешность 0,01 См/м); полоса пропускания при скорости набегающего потока 1 м/с составляет 0–7 Гц; дополнительные погрешности в диапазоне температур –2 ... +35 °С и гидростатического давления 0–100 атм не превышают для каждого влияющего фактора 0,05 % от измеряемой величины.

Пульсационные значения УЭП измеряются с помощью трехэлектродной кондуктометрической ячейки, два электрода которой являются потенциальными, а один – токовым. Масштаб чувствительности объема датчика, расположенного перед его обтекателем, приблизительно равен его диаметру. Это обеспечивается определенной длиной электродов и расстоянием между внешними сторонами потенциальных электродов. Полоса пропускания датчика диаметром 7,5 мм при скорости набегающего потока 1 м/с составляет 0–60 Гц. Погрешность измерения в диапазоне 0,0005–0,1 См/м составляет 0,2–0,4 % от измеряемой величины.

Датчик гидростатического давления – серийный тензопреобразователь типа Д-16. Для осуществления термокомпенсации с тензометрического моста выделяется сигнал, пропорциональный изменению температуры, с его последующим нормированием и суммированием с выходным сигналом датчика. В рабочем диапазоне 0 – 100 бар датчик позволяет измерять гидростатическое давление с основной погрешностью 0,1 бар и чувствительностью 0,0025 бар при полосе пропускания 0 – 12 Гц и с дополнительной погрешностью в диапазоне температур $-2 \dots +35^{\circ}\text{C}$ не более 0,05 бар.

Скорость распространения звука в приборе измеряется с помощью датчика импульсно-циклического типа с использованием баротермокомпенсации. Измерения производятся в диапазоне 1400 – 1650 м/с с основной погрешностью 0,2 м/с, чувствительностью 0,05 м/с при полосе пропускания со скоростью набегающего потока 1 м/с 0 – 20 Гц. Дополнительная погрешность не более 0,1 м/с от каждого фактора (температура и давление). Пульсации вертикальной компоненты скорости в диапазоне 0,5 – 150 мм/с измеряются с чувствительностью 0,35 мм/с.

Электронные схемы датчиков выполнены по модульному принципу, имеют одинаковые типоразмеры, электрические разъемы и устройства крепления. Блок питания в виде батарей аккумуляторов типа НКГК-Л и преобразователя напряжения позволяет получить напряжение ± 15 В и $\pm 5,6$ В. Емкости аккумуляторов хватает на 12 ч непрерывной работы. Бортовой блок СТД-системы работает на базе персонального компьютера.

В Морском гидрофизическом институте АН Украины была разработана *свободноскользящая СТД-система типа МГИ-8101К* (рис. 14.3), предназначенная для измерения температуры, УЭП, пульсаций УЭП морской воды и гидростатического давления с судна, лежащего в дрейфе, при свободном падении зондирующего устройства ПУ-01К вдоль одножильного кабель-троса длиной не более 3000 м на глубину до 2000 м. Связь ПУ-01К с бортовым блоком осуществляется с помощью индуктора. Питание ПУ-01К осуществляется от батареи аккумуляторов типа НКРК-ЗС-1142, позволяющей производить непрерывную работу без подзарядки в течение не более 4 ч.

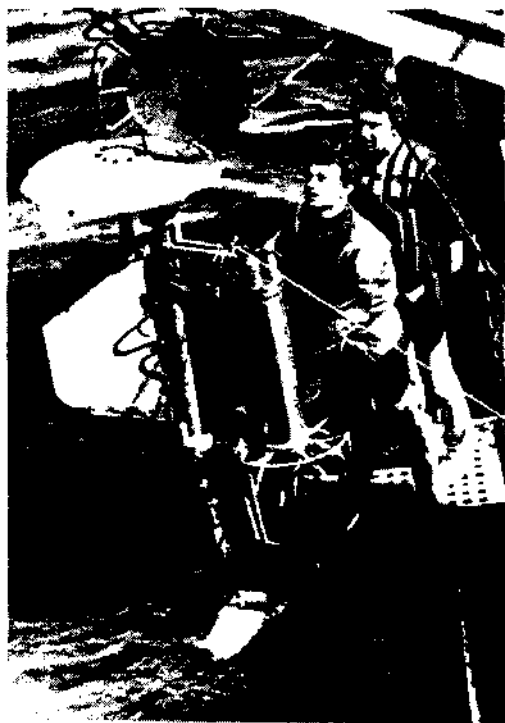


Рис. 14.3. Свободноскользящая СТД-система типа МГИ-8101К.

Получаемая информация регистрируется на борту судна в форме, удобной для оперативного наблюдения измеренных параметров и последующей обработки на ЭВМ.

СТД-система МГИ-8101К состоит из зондирующего устройства ПУ-01К, бортового блока, блока питания и блока регистрации и вывода информации.

Технические характеристики МГИ-8101К:

Температура:

диапазон измерений, °С	-1,5 ... 33
чувствительность, °С	не более 0,0015
погрешность измерений, °С	±0,005

Постоянная времени, с	0,05
-----------------------	------

УЭП:

диапазон измерений, См/м:	
1 поддиапазон	1,8 – 5,1

2 поддиапазон	2,9 – 6,0
чувствительность, См/м	не более 0,00015
погрешность измерений, См/м не более	$\pm 0,005$
Пульсации УЭП:	
диапазон измерений, См/м	-0,01 ... 0,01
чувствительность, См/м	не более 0,001
погрешность измерений, См/м	не более $\pm 0,003$
Гидростатическое давление:	
диапазон измерений, бар	0 – 200
чувствительность, бар	не более 0,0004
погрешность измерений, бар	не более 0,05
Время измерения параметров средних величин, с не более	0,07
Время измерения пульсационного параметра, с не более	0,01
Зондирующее устройство:	
габаритные размеры, мм	$364 \times 21 \times 360$
масса, кг	15

Первыми СТД-системами, разработанными у нас в стране, были привязные зонды «ИСТОК» (МГИ АН Украины), «АИСТ» (ИО РАН), «Зонд-батометр» (ЦКБ ГМП). Наибольшее распространение, особенно на судах Гидрометслужбы, нашли СТД-системы типа «Зонд-батометр», последующие модификации которого получили название «Гидрозонд». Системы были разработаны группой сотрудников ЦКБ ГМП (Обнинск) под руководством Н. М. Скурихина.

СТД-система «Гидрозонд» предназначена для измерения температуры, УЭП морской воды, гидростатического давления как в зондирующем варианте, так и при выдержке на отдельных горизонтах на глубинах до 6000 м, а также обеспечивает отбор проб морской воды на гидрохимический анализ с помощью специальной кассеты батометров.

Зондирующее устройство системы (рис. 14.4) включает в себя датчики, измеритель с импульсным питанием, блоки питания и связи, кассету батометров. Конструктивно зондирующее устройство выполнено в виде блочной стойки, устанавливаемой в герметичном стальном корпусе, на нижнем фланце которого расположены датчики и гермовводы. В качестве датчика температуры используется стандартный платиновый термометр сопротивления

типа ТСП-365-01, позволяющий производить измерения в диапазоне $-2 \dots +35$ °С с погрешностью $\pm 0,03$ °С и с постоянной времени 0,5 с. Значения УЭП измеряется с помощью датчика индуктивного типа.

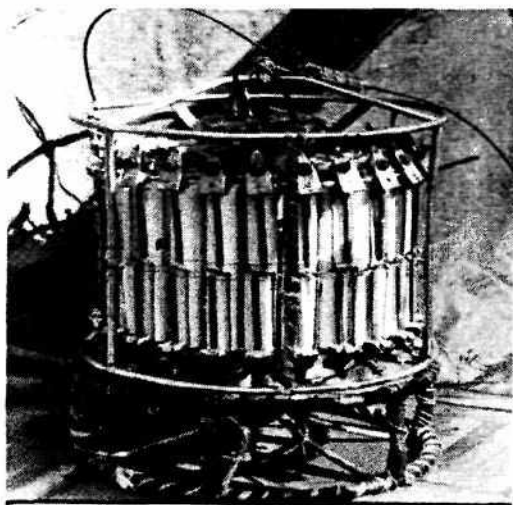


Рис. 14.4. СТД-система «Гидрозонд».

Измерения производятся в двух автоматически переключаемых поддиапазонах 0,5 – 3,5 и 3,5 – 6,5 См/м с погрешностью $\pm 0,003$ См/м. Для устранения влияния внешнего гидростатического давления датчик электропроводимости помещен в герметичный металлический корпус и снабжен калиброванной трубкой из кварцевого стекла. Для исключения короткого замыкания витка морской воды, индуктивно связывающего сердечники тороидальных трансформаторов, поверхность защитного корпуса покрыта изолирующей краской, а сам датчик электрически разомкнут с помощью вставки из резинового уплотнения. Для измерения гидростатического давления предусмотрены три потенциометрических датчика давления типа ДТ, работающих в трех поддиапазонах: 0 – 38 бар с погрешностью $\pm 0,4$ бар; 38 – 192 бар с погрешностью ± 2 бар; 192 – 600 бар с погрешностью ± 6 бар. Три датчика давления используются для получения более высокой точности и разрешающей способности на малых глубинах. Выбор и подключение соответствующего датчика давления осуществляется автоматически.

При этом датчики давления для малых глубин имеют защиту от перегрузок, создаваемых давлением на больших глубинах.

Датчики температуры, УЭП и давления включены в соответствующие измерительные мосты, питание которых осуществляется импульсным напряжением. В качестве элемента уравнивания мостов используется резистивный 12-разрядный делитель типа R/2R, подключаемый поочередно к каждому мосту.

Связь зондирующего устройства с бортовым блоком осуществляется по одножильному кабель-тросу типа КГ1-53-90, имеющему разрывное усилие 53 кН, вес погонного метра 0,36 кг, диаметр – 9,4 мм. По этому кабелю в бортовой блок поступает из зонда информация последовательным кодом, а в зондирующее устройство подается напряжение питания. Наличие внешнего питания позволяет выполнять активное термостатирование измерительных схем и тем самым исключать дополнительную температурную погрешность. Потребляемая зондирующим устройством мощность электрического тока – 200 Вт.

Зондирующее устройство имеет следующие габаритные размеры: диаметр с ограждением – 600 мм, высота – 730 мм и масса – 63 кг. Кассета батометров с диаметром 740 мм и высотой – 800 мм имеет массу 56 кг.

Для выполнения зондирования до 6000 м необходимо иметь кабель-трос длиной не менее 7000 м; кабельную лебедку, обеспечивающую размещение на ее барабане кабель-троса такой длины; кран-балку и канифас-блок на 5000 кг. Диаметр канифас-блока для уменьшения износа кабель-троса должен быть не менее 400 мм.

Прецизионный гидрологический зонд для океанологических исследований, разработанный в ВНИИФТРИ, предназначен для измерения температуры, УЭП морской воды, скорости звука и гидростатического давления до 6000 м. Титановый корпус зондирующего устройства (масса около 50 кг) цилиндрической формы. Связь с бортовым блоком осуществляется с помощью кабель-троса.

В устройстве используется совмещенный датчик температуры и УЭП, вернее, совпадают рабочие объемы этих датчиков, составляющие около 1 см³. Один из электродов датчика УЭП выполнен в виде спирали диаметром 10 мм и длиной 15 мм из никелевого капилляра диаметром 1,5 мм. Спираль охватывает второй элект-

трод, изготовленный в виде шарика из химически стойкого металла и установленный на торце диэлектрической трубки. Датчик температуры в виде изолированной медной проволоки диаметром 0,06 мм, сложенной в несколько раз для достижения значительного электрического сопротивления, натянут внутри капилляра электрода датчика УЭП. Внутренность капилляра заполнена специальной жидкостью с высокой теплопроводностью. Таким образом, электрическое поле замыкается внутри спирали и практически совпадает с измерительным объемом датчика температуры, что уменьшает динамические погрешности пары преобразователей. Подобное устройство позволяет измерять температуру воды в диапазоне $-2 \dots +35^{\circ}\text{C}$ со средней квадратической ошибкой (СКО) $0,0086^{\circ}\text{C}$, а УЭП в диапазоне $1,5 - 6,5 \text{ См/м}$ со средней квадратической ошибкой $- 0,00067 \text{ См/м}$.

В датчике гидростатического давления используется тензорезисторный мост КНС – типа («кремний на сапфире»), помещенный в специальный вакуумированный объем. Вакуумирование применено, во-первых, для защиты тензо-элементов моста от водного конденсата, разрушающего дополнительные дюралюминиевые балансные резисторы; а во-вторых, для исключения погрешности измерений, вызванной изменением температуры во внутреннем объеме модуля, заполненного воздухом. В диапазоне давлений до 600 бар датчик обеспечивает погрешность измерения не более 0,05 % при пороге чувствительности 0,0005 % и быстродействию до 0,01 с.

В качестве датчика скорости звука используется ультразвуковой интерферометр постоянной базы (10 мм). При рабочем объеме около 1 см^3 оптимальная частота ультразвука - 1,2 МГц, что соответствует 17-й гармонике интерферометра. Выходным параметром является либо частота, либо напряжение, пропорциональное ей. После оптимизации режимов работы измеритель может обеспечить в диапазоне изменений скорости звука 1440 – 1550 м/с порог чувствительности до 0,001 м/с с погрешностью не более 0,2 м/с с быстродействием около 0,03 с.

Информационно-измерительная система фирмы «Нейл Браун» (США) предназначена для измерения распределения по глубине температуры и удельной электропроводности морской воды, содержания растворенного кислорода, относительного содержания

хлорофилла и отбора проб воды на заданных горизонтах. Система «Нейл Браун» состоит:

- из погружаемого устройства, на раме которого смонтирован СТД-зонд «Марк-IIIВ», кассета батометров «Розетт», флуориметр «Акватрака» для измерения относительного содержания хлорофилла и датчик касания дна;

- гидрологической кабельной лебедки модели 2047 с одножильным кабель-тросом «Рочестер» типа I-N-255 и кран-балки для вывода погружаемого устройства за борт;

- бортовой стойки (570 × 750 × 1750 мм) для размещения блока питания и стабилизатора, терминала с цифровой регистрацией исследуемых параметров, блока управления кассетой батометров, магнитофона для первичной записи информации, процессора для расчета солености и управления печатью, цифropечатающего устройства, 2-точечного 2-контактного самописца, приемника датчика касания дна с индикатором тока в кабель-тросе;

- вычислительного комплекса на базе персонального компьютера, снабженного графическим дисплеем, клавиатурой, двойным дисководом для мини-дисков, графическим принтером и 4-цветным плоттером.

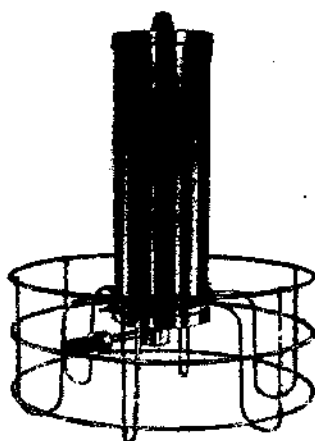


Рис. 14.5. СТД-система Марк III-B.

СТД-зонд «Марк-IIIВ» (рис. 14.5) был разработан Н. Брауном в Вудсхоллском океанографическом институте (США). Со време-

нем своего первого экспедиционного использования зонд заслужил международное признание за свою надежность и точность. Эта система используется и в зондирующем (как правило), и в буксируемом режимах. Обеспечение необходимых качества и количества измерений достигается здесь благодаря высокому коэффициенту усиления, точности и стабильности преобразователей и большому быстродействию. Использование обратного питания усилителей переменного тока уменьшает дрейф нуля и сильно уменьшает собственные шумы электрической цепи.

Прочный корпус погружаемого устройства из нержавеющей стали, высотой 686 и диаметром 178 мм (с ограждением диаметр 508 мм) позволяет производить измерения до глубин 6500 м температуры и удельной электропроводности воды, гидростатического давления, содержания растворенного кислорода. Кроме того, в корпусе имеются дополнительные вводы для подключения датчиков гидростатических характеристик, правда, для этого требуется подсоединение в погружаемом блоке соответствующих интерфейсов, а в бортовом – дисплеев. Кроме того, в погружаемом корпусе помещены предварительные усилители сигналов, аналого-цифровой преобразователь и блок передачи данных.

Датчик температуры системы представляет собой комбинацию миниатюрного термистора ($\tau = 30$ мс) и платинового ПТС ($\tau = 250$ мс). Подобная комбинация позволяет в диапазоне температур $-3 \dots +32$ °С достичь точности измерений платинового ПТС ($\pm 0,005$ °С) с разрешением $\pm 0,0005$ °С и быстродействия термистора. Датчик УЭП – 4-электродная миниатюрная ячейка (8×30 мм) из высокопрочного керамического алюминия с платиновыми электродами позволяет производить измерения в диапазоне $0 - 40$ ‰ с погрешностью $\pm 0,005$ ‰, с разрешением $0,001$ ‰, при $\tau = 30$ мс. Датчик гидростатического давления – тензометрический преобразователь с термокомпенсацией и минимальным гистерезисом производит измерения в пяти поддиапазонах до глубины 6000 м с точностью до $0,1$ ‰ и чувствительностью до $0,0015$ ‰ от шкалы измерений при $\tau = 30$ мс. Датчик содержания растворенного кислорода полярографического типа представляет собой электрохимическую ячейку с золотым катодом и хлорсеребряным анодом, помещенных в гелевый раствор KCl и отделенных от исследуемой

среды тефлоновой мембраной толщиной 12,7 мкм. Для питания ячейки подается постоянное напряжение 0,86 В. Измерения производятся в диапазоне 0 – 20 мл/л, с погрешностью $\pm 0,2$ мл/л, чувствительностью $\pm 0,05$ мл/л и с постоянной времени 3 с.

Три соответствующие схемы обеспечивают идентичные диапазоны выходных напряжений на аналого-цифровой преобразователь, выдающий информацию в 16-разрядном коде. Результаты измерений всех исследуемых характеристик последовательно проходят через аналого-цифровой преобразователь и перед передачей на борт судна откладываются в памяти. Получаемая в цифровом виде информация об исследуемых параметрах передается в теле-тайпном формате посредством частотно-импульсно-кодовой модуляцией, рассчитанной на передачу 127 байтов за один цикл опроса.

СТД-система MARK-IIIВ была разработана Нейлом Брауном еще в 70-е гг. и с тех пор считается образцом аппаратуры подобного типа. В настоящее время появились новые образцы таких систем.

СТД-система *МКЗС/WOGE* была разработана еще под руководством Нейла Брауна, а затем усовершенствована фирмой «General Oceanics» (США). Благодаря своим техническим и эксплуатационным характеристикам эта система объявлена стандартной для исследований по программе WOGЕ.

Сравнительно новая, но уже завоевавшая признание *СТД-система JCTD* фирмы «Falmouth Scientific» (США) является дальнейшим развитием конструкции Нейла Брауна и полностью совместима с зондом MARK-IIIВ (передача данных, питание, программное обеспечение). Ее основное отличие – использование датчика электропроводимости индуктивного типа, что должно улучшать, по-видимому, эксплуатационную надежность по сравнению с хрупкой кондуктометрической ячейкой. Усовершенствование JCTD позволили значительно удешевить ее. Данная система также является стандартной по программе WOGЕ.

СТД-система 911 plus фирмы «Sea – Bird Electronics» (США) является модульной конструкцией с большим числом герморазъемов, с наличием насосной системы, что в определенной степени затрудняет ее эксплуатацию в экспедиционных условиях.

СТД-система 316 PROBE фирмы «JDRONAUT» (Италия) кроме всего прочего оснащена дополнительными датчиками для

определения меди, кальция и углекислого газа с постоянными времени 10,3 и 30 с соответственно.

Все эти четыре STD-системы могут работать с обычными касетами батометров. По своим метрологическим характеристикам они в настоящее время являются своеобразным стандартом для океанологических исследований.

В настоящее время в океанологической практике уделяется значительное внимание *малогабаритной аппаратуре*, не требующей для своей установки специальных судовых помещений, которую можно легко использовать на малотоннажных судах. Подобную аппаратуру можно разделить на две категории: автоматизированные устройства, выполненные на базе микропроцессорной техники, и приборы с ручным управлением процессов измерений и регистрации получаемой информации. Рассмотрим устройство некоторых типов малогабаритных STD-зондов.

В ЦКБ ГМП (группа Н.М. Скурихина) был разработан «*Мини-зонд*», предназначенный для измерения температуры, УЭП и гидростатического давления на глубинах до 200 м с борта маломерных судов без использования вспомогательного оборудования. В комплект STD-системы входят: зонд гидрологический; блок-обработка с габаритными размерами 340 × 234 × 106 мм и массой 3,5 кг; батарея аккумуляторов – 310 × 128 × 213 мм и массой 8,5 кг; ручная лебедка с кабелем (210 м) – 698 × 495 × 300 мм и массой 10,5 кг; сетевой блок питания – 395 × 225 × 135 мм и массой 5,8 кг.

Зондирующее устройство массой 8,5 кг помещено в цилиндрический корпус, изготовленный из нержавеющей стали, диаметром 169 и высотой 525 мм. Датчик температуры – платиновый ПТС позволяет измерять температуру в диапазоне –2 ... +35 °С с погрешностью ±0,05 °С и чувствительностью 0,01°С. Датчик УЭП – индуктивного типа производит измерения в диапазоне 0,1 – 6,5 См/м с погрешностью 0,007 См/м и чувствительностью 0,001 См/м. Гидростатическое давление измеряется потенциометрическим датчиком типа ДТ в диапазоне 0 – 20 бар с погрешностью 0,1 бар и чувствительностью 0,01 бар.

Конструкция системы позволяет хранить получаемую информацию в буферной памяти прибора при отключении электропитания с возможностью передачи ее на компьютер. Вывод информа-

ции осуществляется также на цифровые индикаторы в единицах физических величин в процессе измерения. Электропитание системы осуществляется или от сети (220 В, 50 Гц) или аккумуляторов (+24 В). Питание от аккумуляторов обеспечивает 24 ч непрерывной работы.

Миниатюрная гидрохимическая *СТД-система «Цикада»*, разработанная в ИОРАНе, предназначена для измерения температуры, УЭП, содержания растворенного кислорода и гидростатического давления до 150 м. В состав системы входят: зондирующее устройство, бортовой преобразователь данных (БПД), магнитофон (МГ), самописец типа Н-306 (Рег) и цифровые индикаторы (ЦИ). Блок-схема системы представлена на рис. 14.6.

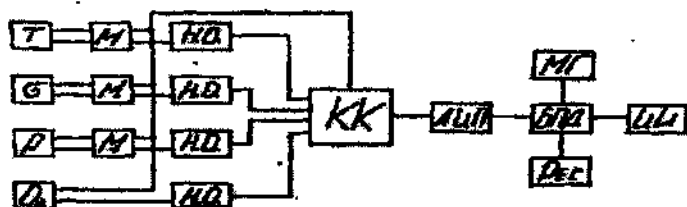


Рис. 14.6. Блок-схема СТД системы «Цикада».

В зондирующем устройстве диаметром 80 мм, высотой 400 мм и массой 4 кг размещены датчики, электронные схемы и блок питания (набор батарей), обеспечивающий напряжение питания 6 В. Датчик температуры (T) – платиновый ПТС типа ТСП-365 позволяет проводить измерения в диапазоне $0-40^{\circ}\text{C}$ при точности $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ с постоянной времени 0,5 с. Датчик УЭП (σ) индуктивного типа измеряет в диапазоне 0,2 – 5,0 См/м с точностью $\pm 0,01$ См/м. Датчик гидростатического давления (P) типа ДТМ-1,5 позволяет измерить глубину погружения до 150 м с точностью ± 2 м. Датчик растворенного кислорода (O_2) гальванического типа работает в диапазоне 0 – 10 мл/л с точностью $\pm 0,3$ мл/л и имеет постоянную времени 5 с.

На мостовые схемы (M) для измерения температуры и давления подаются импульсы прямоугольной формы длительностью 30 мкс и с частотой следования 124 Гц, что позволяет повысить разрешающую способность аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

На датчик УЭП для уменьшения реактивной составляющей подается синусоидальное напряжение частотой 8 кГц. Импульсный способ используется в целях экономии питания не только мостовых, но и аналоговых схем. Импульс подается только на время записи сигнала из нуля-органа (НО) в регистр.

Сигналы разбаланса мостовых схем и датчика кислорода поступают на входы нуля-органов и через коммутатор каналов (КК) поочередно подключаются к АЦП. АЦП уравнивает мостовые схемы и преобразует аналоговые сигналы в последовательный двоичный код с частотным заполнением. Связь зондирующего устройства с бортовым блоком осуществляется с помощью одножильного кабель-троса.

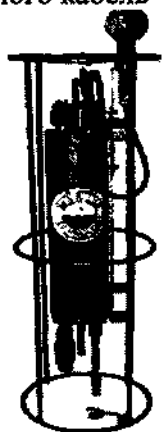


Рис. 14.7. Система СТД90М.

Система СТД90М фирмы «Sea Sun Technology» – Германия (рис. 14.7) представляет собой малогабаритный и удобный многопараметровый зонд, управляемый микропроцессором и предназначенный для измерений океанологических параметров. Титановый корпус зонда рассчитан для работы на глубинах до 500 м (имеется модификация, работающая до 2000 м). Зонд имеет длину 390 мм (с ограждением 650 мм), диаметр 89 мм (с ограждением 150 мм), массу 4,8 кг.

Зонд оборудован 16-канальной системой сбора информации с разрешением 20 бит. Малый диаметр корпуса зонда позволяет размещать на нем не более 9 датчиков. Через внешние разъемы к нему могут быть дополнительно подключены внешние датчики или приборы (не более 3). СТД90М может работать с кассетой батометров и планктонными сетями и определять количество закрытых батометров или количество смен сеток. Зонд опускается в воду на одножильном кабель-тросе. Блок питания из восьми щелочных батарей, закрепленный в герметичном корпусе на верхней крышке зонда, обеспечивает напряжение питания 12 в постоянно-го тока емкостью 7 – 8 А/ч.

На основании зонда устанавливаются следующие датчики со стандартизированным креплением: датчик давления, датчик касания дна, датчик температуры, датчик электропроводности, датчик кислорода, датчик pH и редокс-потенциала, датчик мутности. Конструкцией зонда предусмотрено подсоединение и использование внешних датчиков с аналоговыми выходами и кабельным подсоединением к верхней крышке системы: флюориметр, измеритель течений, трансмиссиометр, датчики освещенности, кассеты батометров, планктонные сети, быстродействующий датчик кислорода, датчик сероводорода, датчик метана.

В качестве датчика давления используется пьезорезистор с системой термокомпенсации и с точностью измерения 0,1 % от шкалы в диапазоне от -5° до 35°C .

Датчик касания дна предназначен для предупреждения повреждения измерительной системы при касании ее с грунтом при зондировании. Для этой цели используется контрольный груз, подвешиваемый ниже корпуса зонда, с помощью которого при касании дна генерируется цифровой сигнал, передаваемый на бортовой компьютер.

В качестве датчика температуры используется платиновый ПТС в миниатюрном керамическом контейнере длиной 15 мм и диаметром 0,9 мм, помещенный в тонкую титановую трубку длиной около 30 мм и диаметров 1,2 мм. Точность измерения температуры в диапазоне от -2°C до 35°C составляет $0,005^{\circ}\text{C}$ с постоянной времени 150 мс.

Датчиком электропроводности является кондуктометрическая ячейка с 7 покрытыми платиной электродами, помещенная в цилиндрический корпус из кварцевого стекла с внутренним диаметром 8 мм. Диапазоны измерений 0 – 6 мСм/см – 65 мСм/см с точностью 20 мкСм/см и с постоянной времени 100 мс.

Датчик растворенного в воде кислорода представляет собой полярографическую ячейку с платиновым катодом диаметром 4 мм, отделенную от исследуемой среды тефлоновой мембраной. Диапазон измерений 0 – 150 % с точностью $\pm 3\%$ и с постоянной времени около 10 с.

Для измерения pH и редокс-потенциала используются совмещенные электроды – датчики, в которых принята единая система отсчета (жесткая полимерная масса, содержащая KCl) и апертур-

ная диафрагма, которая разрешает прямой контакт между реперным электролитом и окружающей средой. Предусмотрено применение 2 типов датчиков: для глубин 0 – 160 м и 0 – 500 м. Диапазон измерений pH 4 – 10, а редокс-потенциала от –2000 мВ до 2000 мВ с постоянной времени около 1 с.

Датчик мутности измеряет концентрацию взвеси. Он оборудован импульсным трансмиттером инфракрасного света и улавливает рассеянный свет от взвешенных в воде частиц. Трансмиттер и детектор используют 90 ° рассеяние на длине волны 880 нм. Выходной сигнал пропорционален концентрации частиц в очень широком диапазоне.

Среди мини-СТД-систем можно отметить MICRO СТД2 фирмы «Falmouth Scientific» – (США), в котором используется в качестве линии связи между зондирующим устройством и бортовым блоком кабель-трос. В нем не предусмотрено подключение дополнительных датчиков. Система MICRO СТД3 снабжена внутренней памятью, имеет несколько большие размеры и возможность подключения дополнительных датчиков. Эти системы, а также AQUALINK и Chemitraka фирмы «Chelsea Instrument Ltd» (Англия) и SBE19 (SEASAT) фирмы «Sea-Rird Electronics» (США) по своим метрологическим характеристикам близки к стандартным системам.

Некоторые мини-СТД-системы имеют интересные конструктивные особенности. Система 301PROBE может работать с компактным вариантом кассеты батометров. Система СТД/S4 фирмы «Interosean» (США), выполненная в сферическом прочном корпусе из стеклопластика, может использоваться и для работы на АБС на глубинах до 1000 м. Система SMP-PROBE фирмы «ADM-Electronic GmbH» (Германия) снабжена датчиком сероводорода и специальной мешалкой для всех химических датчиков. Система EMP-200 фирмы «APPLIED MICROSYSTEMS LTD» (Канада) отличается отсутствием бортового блока – зондирующее устройство напрямую подключается к последовательному порту любого компьютера, работающего в среде MSDOS. Система AQUA-16 фирмы «AQUA-MATIS» (Дания) имеет большое количество встроенных датчиков, наиболее интересным из которых является микроэлектродный датчик растворенного кислорода с постоянной времени около 0,1 с.

14.3. Буксируемые гидрологические комплексы

При исследовании Мирового океана большое значение имеет информация о пространственном изменении океанологических характеристик на поверхности и нижележащих горизонтах. В этом случае использование только зондирующих комплексов не может дать полной картины. Кроме того, всегда желательно получать информацию на борту движущегося судна без лишних затрат времени, в частности, необходимых при выполнении зондирования, когда неизбежна остановка судна. Тем более, что для получения удовлетворительной информации о вертикальном и горизонтальном распределении исследуемых параметров подобные остановки судна приходится делать довольно часто. Эффективным способом оперативного получения данной информации является использование различных измерительных устройств, буксируемых за непрерывно движущимся судном.

По способу буксировки и конструкции, буксируемые измерительные системы можно разделить на следующие типы: 1) системы, представляющие собой гирлянду датчиков, закрепленных на тросе или кабель-тросе, буксируемую за судном при заданном заглублении; 2) датчики располагаются на буксируемом неуправляемом носителе; 3) датчики располагаются на буксируемом управляемом носителе, глубина хода которого может быть постоянной или меняться во времени. Информация с буксируемых измерителей обычно передается на борт судна по кабелю или гидроакустическому каналу, а в некоторых случаях накапливается и на самих носителях.

Использование гирлянд датчиков в океанологической практике позволяет измерять преимущественно температуру воды в верхнем слое до глубин 300-400 м. Использование буксируемых неуправляемых носителей позволяет удалить датчики от судна и в какой-то мере заглубить их во избежание влияния физических полей судна и волнения. Глубина заглубления подобной системы в известной степени зависит от скорости буксировки и длины вытравленного троса (кабель-троса). Использование буксируемых управляемых носителей позволяет проводить измерения по заранее заданной или корректируемой наблюдателем траектории дви-

жения устройства примерно до глубин 500м и при скорости буксировки до 13 и более узлов.

Особенные требования в буксируемых системах предъявляются к носителям аппаратуры; к системам заглубления и удержания устройств на заданном горизонте; спуско-подъемным палубным механизмам. В настоящее время при использовании буксируемых систем в океанологической практике применяются 2 принципиально различных типа носителей: кабель с присоединенными к нему датчиками и контейнер с измерительной аппаратурой. Для обеспечения заданного горизонта наблюдений или перемещения устройства по заданной траектории в буксируемых контейнерах углубителем чаще всего является сам носитель, корпус которого снабжается управляемыми или неуправляемыми стабилизирующими рулями, а на конце буксирной линии подвешивают специальный углубитель, например, в виде груза, углубляющей решетки или «планера» (рис. 14.8).

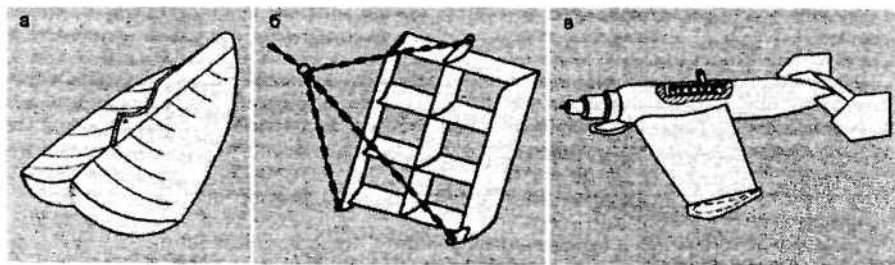


Рис. 14.8. Основные типы углубителей:

а – камбаловидный углубитель; *б* – гидродинамический; *в* – в виде планера.

Углубители в виде груза обтекаемой формы являются системами гравитационного типа. Например, подобный камбаловидный углубитель (рис. 14.8, *а*), используемый при скоростях буксировки до 10 уз, зачастую применяется для заглубления регистраторов планктона и других приборов. Углубители в виде траловых решеток с несущими поверхностями (рис. 14.8, *б*) являются системами гидродинамического типа. Комбинация первых двух типов, представленная в виде планера (рис. 14.8, *в*), применяемая в различных модификациях, используется во многих буксируемых системах.

При использовании буксирной линии особое внимание следует обращать на процесс травления, выборки и намотки на барабан лебедки, когда возможно повреждение корпусов датчиков. Буксируемые контейнеры предназначены для размещения в них комплекса датчиков и других узлов измерительной аппаратуры. Они, как правило, буксируются на значительных скоростях, что вызывает необходимость использования формы самих контейнеров с минимально возможным лобовым гидродинамическим сопротивлением для устранения влияния гидродинамических помех на показания датчиков. Это условие особенно важно при исследовании тонкой структуры гидрофизических параметров. Примером подобных контейнеров с практически ламинарным обтеканием могут служить экспериментальная конструкция Лаборатории ВМС США, имеющих форму падающей капли и снабженных удлинённым трубчатым хвостовиком и стабилизаторами.

Измерительная аппаратура буксируемых систем в значительной степени подобна аппаратуре, используемой в зондирующих СТД-системах, т.е. она состоит из датчиков, телеметрической связи и блока регистрации данных. Правда, при использовании буксируемых гирлянд, когда измерения производятся одновременно 20 – 30 датчиками, возникают определенные трудности в разработке систем опроса датчиков и одновременной регистрации получаемой информации.

Измерение гидрофизических параметров и их передача могут выполняться непрерывно или дискретно. При дискретных наблюдениях интервалы между измерениями или частота опроса выбираются с учетом пространственно-временной изменчивости исследуемых характеристик. И при дискретных, и при непрерывных измерениях возможны значительные ошибки за счет постоянной времени прибора. Величина этой ошибки dt прямо пропорциональна пространственному градиенту измеряемого параметра, скорости судна (V_0) и постоянной времени прибора (τ_0):

$$dt = -(dt/dl) V_0 \tau_0,$$

где dt/dl – пространственный градиент измеряемого параметра.

При использовании для измерения температуры двух датчиков с различными τ приближенно восстановить истинное значение измеряемой величины можно с помощью выражения

$$t_{\text{ис}} = (t_2 \tau_{01} - t_1 \tau_{02}) / (\tau_{01} - \tau_{02}),$$

где $t_{\text{ис}}$ — истинное значение; t_1 — показания прибора с постоянной времени τ_{01} ; t_2 — показания прибора с постоянной времени τ_{02} .

Выполняя практические расчеты с помощью данного выражения, необходимо также учитывать факторы, связанные с конструктивными особенностями датчиков. Погрешности, вызванные дискретизацией, постоянной времени, ошибками определения координат судна зависят от используемой аппаратуры и методики измерений. Они могут быть сведены к минимуму или учтены при обработке результатов наблюдений.

В настоящее время в океанологической практике используется много разновидностей буксируемых систем, начиная от простейших измерителей ТПО на ходу судна и кончая сложнейшими комплексами аппаратуры, которые не только выполняют измерения океанологических параметров в процессе движения судна, но и одновременно, отбирая пробы воды, подают их по специальным трубчатым кабель-буксирам на борт судна для производства гидрохимических анализов. Рассмотрим наиболее характерные из этих устройств.

Несколько принципиально сходных буксируемых устройств типа гирлянд были предложены в США и использовались при исследовании термической структуры океана. Общим для подобных устройств является носитель датчиков в виде прочной металлической цепи с обтекаемыми звеньями, сквозь которую проходит многожильный кабель с подключенными к нему термисторами. На конце цепи крепится обтекаемый груз и датчик давления для регистрации заглубления конца цепи. Подъемно-спусковое устройство — мощная специальная и громоздкая лебедка.

Наиболее «старой» конструкцией, послужившей основой для последующих модификаций, является *термисторная цепь Ричардсона и Хаббарта*, изготовленная фирмой «Commercial Engineering Company» (Хьюстен, Техас, США). Здесь датчики температуры в виде 23 термисторов, размещенных через 7,5 м, с посто-

янной времени 20 с и чувствительностью 0,01 °С, позволяющие измерять температуру воды в диапазоне -2 ... +32°С, вмонтированы в кабель в резиновом шланге. При длине цепи 180 м и скорости буксировки 18 уз измерения осуществляются до глубины 120 м, при длине 300 м и скорости 10 уз – до 240 м. На конце цепи размещен датчик давления и гидродинамический углубитель массой 800 – 1500 кг. Сигналы с датчика последовательно поступают в бортовое регистрирующее устройство, в котором происходит линейная интерполяция результатов измерений. На ленте самописца вычерчиваются изотермы через 0,1 и 0,05 °С, а при необходимости и через 1 °С.

Одной из первых систем подобного типа у нас в стране была разработанная в Калининградском (Атлантическом) отделении (филиале) ИОАН (ИО РАН), *буксируемая гирлянда термисторов* для наблюдений в деятельном слое моря на 10 горизонтах одновременно. Система состоит из 12- жильного кабеля, в который через каждые 10 м вмонтированы датчики температуры. На конце кабеля помещается датчик глубины ЭДД-10. Измерительная схема каждого канала представляет собой 4-плечный мост постоянного тока. В качестве регистратора используется электронный потенциометр ЭПП-09 со специальным устройством последовательного опроса каналов, выполненным на шаговом искателе.

Комплекс измерительный буксируемый «Компас» предназначен для измерения температуры, УЭП морской воды и гидростатического давления на ходу судна до 300 м по глубине на 16-ти горизонтах. Управление работой комплекса, первичной обработкой информации и вывод ее на долговременный носитель осуществляется микро-ЭВМ. Источником информации о параметрах морской воды являются измерительные контейнеры. Каждый из них имеет автономное питание, содержит устройство измерения и преобразования информации и позволяет измерять один из параметров: температуру, УЭП или давление. В качестве датчиков используются: платиновый ПТС типа ТСП-365-01, датчик УЭП индуктивного типа, датчик давления тензометрического типа ДТ-54. Заборный блок включает в себя:

- измерительные контейнеры температуры до 16 шт.;
- измерительные контейнеры УЭП до 8 шт.;

- измерительные контейнеры давления 3 шт.;
- кабель-трос КГЗ-60 длиной 2500 м;
- углубитель.

Технические характеристики комплекса:

Количество горизонтов при измерении параметров	до 16
Канал температуры:	
диапазон измерения, °С	0 – 30
погрешность измерения, °С	±0,1
Канал УЭП:	
диапазон измерения, См/м	2,5 – 6,2
погрешность измерения, См/м	±0,012
Канал давления:	
диапазон измерения, бар	0,5 – 30
погрешность измерения, бар	±0,5
Дискретность измерения параметров, мин	0,5; 1; 5; 10

В качестве источников питания в контейнерах используются аккумуляторы типа ЦНК-0,94, емкость которых обеспечивает работу измерительного контейнера, при минимальной дискретности измерений в течение не менее 80 ч. В комплексе предусмотрен индуктивный канал связи между бортовым блоком и измерительными контейнерами по одножильному кабель-тросу. Глубина погружения буксируемой линии определяется скоростью буксировки и длиной вытравленного троса. Так, при скорости судна 8 – 10 уз и длине троса за бортом 2500 м глубина погружения концевого датчика составляет 300 м. Масса измерительных контейнеров составляет до 5 кг.

При проведении измерений кабель-трос с закрепленным на конце пассивным углубителем и контейнерами выводится за борт. Для определения заглубления буксирной линии на конце кабель-троса устанавливается измерительный контейнер давления, остальные контейнеры располагаются по всей длине кабеля в любой последовательности, выбираемой в зависимости от условий эксперимента. По управляющим сигналам из бортового блока производится одновременное измерение гидрологических параметров на всех горизонтах и последовательная передача информации по индуктивному каналу связи. Далее информация преобразуется в физические величины и регистрируется. Горизонты расположения

измерительных контейнеров в процессе буксировки определяются расчетным путем по показаниям датчиков давления.

Непрерывные разрезы по температуре и солености на ходу судна на глубинах до 500 м в реальном масштабе времени позволяет получить буксируемая гирлянда мини-зондов СТД-fin фирмы «ADM-Electronic GmbH», выполненных в виде тросовых обтекателей. Вся гирлянда содержит 25 таких зондов, прикрепленных к одножильному кабель-тросу через 10-20 м. Последовательный съем информации и подача питания производится индуктивным бесконтактным способом. Максимальная глубина погружения – 500 м.

Технические характеристики системы:

Канал температуры:

погрешность измерений, °C ±0,01

чувствительность, °C ±0,001

Канал УЭП:

погрешность измерений, мСм/см ±0,01

чувствительность, мСм/см ±0,001

Канал давления:

погрешность измерений, % от шкалы ±0,1

чувствительность, % от шкалы ±0,002.

В МГИ АН Украины в разные годы были разработаны буксируемые носители (БН) «Нырок-2», «Галс», «Галс-2», а в Институте биологии южных морей АН Украины – БН «Кальмар». Их характеристики (по данным В. Н. Гайского) сведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Технические характеристики буксируемых носителей

БН	Габариты, мм	Масса на воздухе, кг	Расчетная глубина погружения, м	Расчетная скорость буксировки, уз	Диапазон глубин, м		Автономность, сутки
					Скорость, уз		
					6	12	
«Нырок-2»	2140 × 695 × 500	150	1500	16	120	80	20
«Галс»	1988 × 1308 × 538	96	1000	12	60	—	10
«Галс-2»	2050 × 1260 × 500	96	1000	12	50...250	0...100	10
«Кальмар»	1980 × 1340 × 370	70	500	12	200	90	10

Значение чувствительности измерительных каналов БН

Измеряемые параметры среды	«Нырок-2»	«Галс»	«Галс-2»	«Кальмар»
Температура, °C (–2...+35)	0,003	0,015	0,003	0,01
УЭП, отн. ед. (40...47)	0,007	–	–	0,02
Глубина, % (0...2000 м)	2	–	0,01	2
Скорость звука, м/с (1410...1530)	–	0,015	0,01	0,01
Быстродействие, Гц	5	30	3...12,5	3...25

БН «Галс» и «Галс-2» однотипны. Основное их различие заключается в конструкции горизонтального руля. «Галс-2» имеет несущую поверхность с крылообразным симметричным профилем с высокими гидродинамическими характеристиками. Несущие поверхности имеют закрылки, позволяющие изменять в зависимости от угла установки подъемную и заглубляющую силу при неизменном угле атаки основного профиля. Управление по глубине производится рулями, представляющими собой горизонтальную, сбалансированную по моменту относительно оси вращения пластину с обтекаемым профилем. Для обеспечения боковой устойчивости на этом руле установлен киль. Рычажная система позволяет изменять положение руля в диапазоне углов $\pm 45^\circ$. Управление положением горизонтального руля осуществляется электродвигателем, на который с борта судна по кабель-тросу подаются разнополярные импульсы напряжения регулирующей длительности (2 – 10 с).

БН «Кальмар» – несущий моноплан (рис. 14.9). Хвостовое оперение в виде двух плоских килей и прямоугольного поворотного стабилизатора, расположенного между ними. В контейнерах БН установлены электронные блоки измерительного комплекса и привод механизма поворота горизонтального руля. Через торцевые крышки контейнеров, на которых установлены датчики с ограждением и обтекателями, вводится кабель-трос. Точка подвески БН может перемещаться вдоль буксирной планки, чем достигается необходимая балансировка аппарата.

Широкое распространение получили системы, буксируемые по синусоидальной траектории. Периодически всплывая к поверхности и погружаясь до максимальных глубин 100 – 400 м, подобные комплексы позволяют получать по ходу судна практически непрерывные разрезы по соответствующим параметрам. При этом на буксируемые носители можно устанавливать не только обыч-

ные СТД-системы с комплектом дополнительных датчиков, но и другую аппаратуру, например, планктон-регистраторы или электронные счетчики планктона.

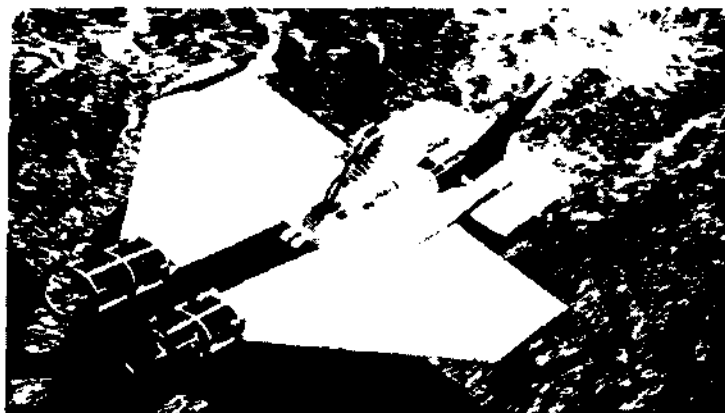


Рис. 14.9. Буксируемый носитель «Кальмар».

Буксируемая система «Фатом океанолоджи Лимитед» (Канада) предназначена для проведения измерений гидрофизических параметров и отбора проб воды в толще воды на ходу судна. В последнее время в океанологическую практику все больше начинают входить системы сбора и обработки данных для непрерывного взятия проб воды с целью постоянного определения ее гидрохимических характеристик. Пробы воды отбираются с заранее заданных горизонтов или в специальные контейнеры или непосредственно подаются на борт судна.

Данная система состоит из подводного носителя аппаратуры, кабель-буксира с обтекателями, специального грузоподъемного механизма и бортового комплекса аппаратуры (рис. 14.10).

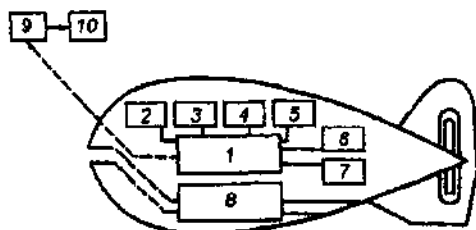


Рис. 14.10. Блок-схема системы «Фатом океанолоджи Лимитед».

Буксируемый носитель аппаратуры с небольшим лобовым гидродинамическим сопротивлением и рулями глубины вмещает в себя измерительный комплекс, например, СТД-зонд «MARK IIIВ» фирмы «Нейл Браун» (1 – 7), кабельный ограничитель и помпу (8) для закачки проб воды на борт судна с производительностью до 40 л в минуту. Настоящий комплекс позволяет производить измерения и водозабор проб на ходу судна при скорости до 12 уз. Увеличение скорости ограничивается динамическими характеристиками СТД-зонда и производительностью помпы, на которую сказывается и гидродинамическое сопротивление шлангового канала, предназначенного для подачи проб воды на борт судна.

Бортовой комплекс аппаратуры состоит из устройств, обеспечивающих представление в необходимом виде измерительной информации (10), получаемой с СТД-зонда; блока управления помпой и подачей проб воды с заданного горизонта на борт судна и пульт управления лебедкой и режимом управления носителем (9). Пользователями подобной буксируемой системы обычно являются морские НИИ, используя ее на специализированных научных судах, где возможно обеспечить ее квалифицированное обслуживание. Для установки и работы с этим носителем необходима площадь не менее 10 м² на корме судна.

Кабель-буксир с обтекателями и с токопроводящими жилами для подачи по ним команд на буксируемый носитель и передачи от него измерительной информации имеет внутри себя шланговый канал с внутренним диаметром 8 мм, изготовленный из тефлоновой трубки. Грузоподъемное устройство включает в себя кабельную лебедку, позволяющую наматывать на нее кабель-буксир вместе с надетыми на него обтекателями (рис. 14.11).

Буксируемая система с программным обеспечением «Бэтфиш – серия 6800» разработана в Бэдфордском океанографическом институте (Канада) и изготавливается фирмой «Guildline Instruments» (рис. 14.12).

«Бэтфиш» – многофункциональная система, предназначенная для быстрого сбора океанологической информации, буксируется на 7-жильном кабель-тросе диаметром 7,6 мм с прочностью на разрыв 3 т. Система снабжена гидравлическими рулями глубины, управляемыми в ручном или автоматическом режиме с буксируе-

мого судна, что обеспечивает перемещение носителя во время буксировки по синусоидальной кривой в вертикальной плоскости или придерживать постоянной глубины. Корпус носителя длиной 1360, высотой 940, шириной, включая рули глубины, 900 мм и весом на воздухе 68 кг, изготовлен из стекловолокна, нержавеющей стали и алюминия. Максимальная глубина погружения носителя при скорости 14 уз – 400 м, для чего необходимо использовать всего 600 м облегченного кабеля. При использовании устройства в мелководных районах оно снабжено системой глубинного контроля, электрическая цепь которого связана с эхолотом буксирующего судна.

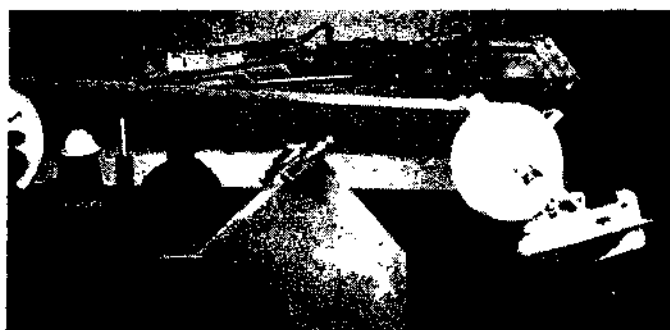


Рис. 14.11. Внешний вид буксируемого носителя «Фатом» с грузоподъемным устройством.

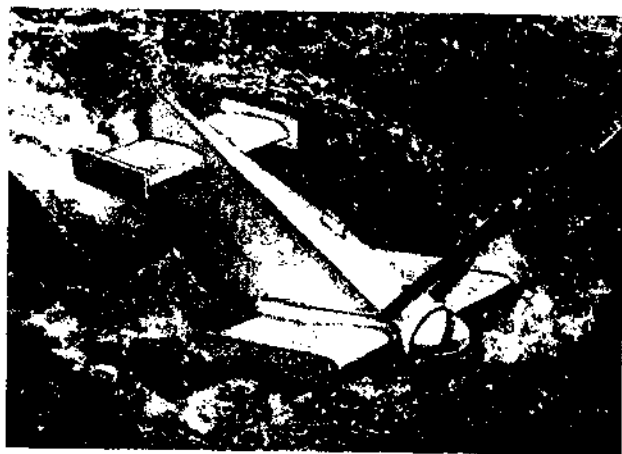


Рис. 14.12. Буксируемая система «Бэтфиш».

В нижней части носителя в прямоугольном канале прямоугольного сечения размещается СТД-зонд модели 8100 фирмы «Guildline Instruments». Датчик температуры зонда – медный проволочный термометр сопротивления, работающий в диапазоне $-2 \dots +35$ °C с погрешностью $\pm 0,02$ °C, стабильностью датчика $\pm 0,01$ °C/год, линейность $\pm 0,01$ °C в пределах измеряемых температур $0 - 20$ °C. Датчик УЭП – 4 электрода в виде колец из нержавеющей стали на трубке из пирекса длиной 200 мм. Точность показаний датчика $\pm 0,04$ %. Датчик давления – мембранный тензодатчик с точностью $\pm 0,2$ % по шкале. Кроме того, в носителе установлены флюориметр для исследований цвета и измерители прозрачности и количества хлорофилла. Электропитание системы осуществляется от судовой сети 110 В, 60 Гц, потребляемая мощность 1 кВт. Информация с датчиков в аналоговой или дискретной форме со скоростью 5 измерений в секунду по 3 параметрам передается в бортовое устройство вычислительное устройство, записывается на магнитную ленту и воспроизводится на дисплее. Экспериментальная буксировка систем со скоростью 13 уз показала, что среднеквадратичная ошибка составила по температуре 0,01 °C, по солености – 0,014‰, по плотности – 0,011 кг/м³.

Система Scanfish Mk2 имеет форму летающего крыла, снабженного отдельно управляемыми закрылками, что позволяет ему перемещаться по синусоиде или менять горизонты буксировки. К сожалению, малая площадь концевых килей не обеспечивает носителю надежную устойчивость при буксировке. Более совершенными носителями являются BATFISH 2 фирмы «Guildline» (Канада) и Sea Sear фирмы «Chelsea Instrument LTD», выполненные по самолетной схеме с 2 крылами и однокилевым хвостовым оперением с горизонтальными и вертикальными рулями. Для увеличения устойчивости сечение самого корпуса носителя имеют овальную форму с боковым сжатием. При этом на Sea Sear установлен кормовой винт с генератором, что позволяет системе работать в автономном режиме без кабеля на тросе. Подобная конструкция, правда, несколько увеличивает габариты при наличии выступающих частей, что ухудшает гидродинамические характеристики, вызывает определенные эксплуатационные сложности и ограничения.

возможностью подключения насосно-шлангового устройства, системе управления крыльями, а также бортового блока для автоматического или ручного управления носителем. На носителе можно установить счетчик планктона, а бортовой блок подключить к судовому эхолоту и навигационной системе. Комплекс буксируется на семижильном кабель-тросе в диапазоне скоростей от 1 до 10 уз (в основном на скорости 3-4 уз) и предназначен для работы в прибрежной зоне с максимальной глубиной погружения до 100 м.

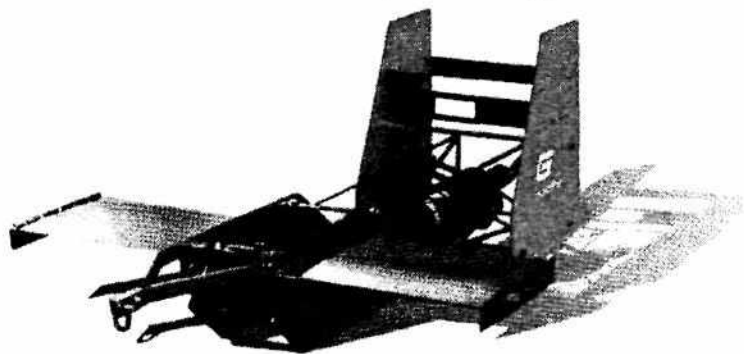


Рис. 14.13. Внешний вид буксируемого носителя MiniBAT 8820.

14.4. Автономные измерительные системы (АИС)

АИС, измеряющие, как правило, несколько океанографических параметров (включая и характеристики течений) в течение длительного времени с определенной дискретностью используются чаще всего в составе автономных буйковых станций. Подобная методика использования АИС позволяет получать временную изменчивость измеряемых параметров на нескольких горизонтах, а при постановке серии АБС также и их пространственно-временную изменчивость. Рассмотрим устройство некоторых наиболее известных АИС.

Наиболее распространенной автономной измерительной системой у нас в стране является *Автономный измеритель течения, температуры, электропроводности и глубины погружения (АЦИТ)*, предназначенный для работы на глубинах до 6000 м. Корпус прибора цилиндрической формы диаметром 220 и высотой 2000 мм выполнен из немагнитного титанового сплава, обладаю-

щего большой прочностью и стойкостью к воздействию морской воды (рис. 14.14). На верхней крышке цилиндра расположены датчики температуры, УЭП морской воды и гидростатического давления со специальным ограждением от механических воздействий. 2-компонентный датчик скорости течений с решетчатым ограждением расположен под нижней крышкой цилиндра. 2-компонентный принцип измерения скорости течения не требует ориентации прибора по потоку, поэтому корпус не снабжен рулевым оперением. Крепление прибора к тросу осуществляется с помощью специального кронштейна с раздвижным нижним основанием для регулировки угла подвески прибора. Это позволяет обеспечить приблизительно вертикальное положение корпуса прибора.

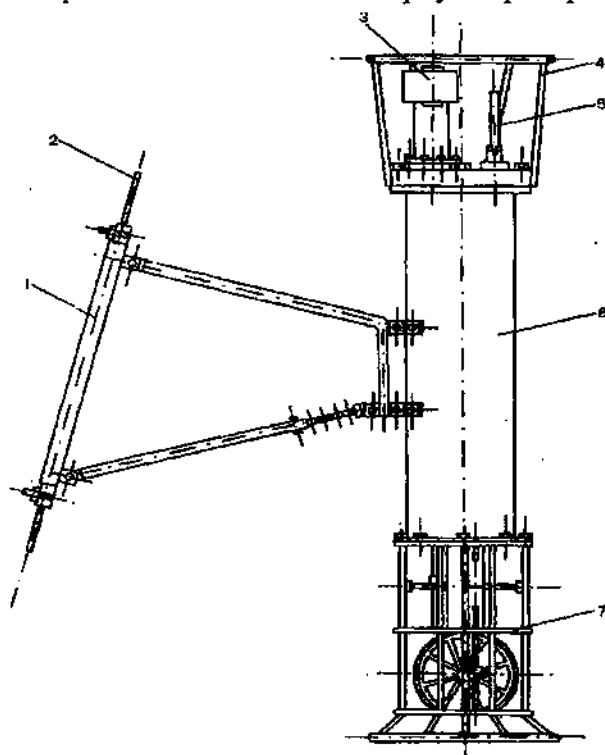


Рис. 14.14. Внешний вид АЦИТ:

- 1 – кронштейны; 2 – буйреп; 3 – датчик электропроводимости;
4 – защитное ограждение; 5 – датчик температуры; 6 – корпус;
7 – блок пропеллерных вертушек.

2-компонентный датчик скорости течений пропеллерного типа в виде двух лопастных винтов в обтекателях с взаимно перпендикулярными горизонтальными осями вращения. Через редукторы и магнитные муфты вращение пропеллеров передается внутрь корпуса на потенциометрические преобразователи. В случае отклонения оси прибора от вертикали в показания датчика скорости вводится поправка, которая корректируется показаниями датчиком угла наклона корпуса прибора от вертикали в плоскости наклона троса. Допустимый угол наклона – 30° .

Преобразование числа оборотов пропеллеров в электрическое напряжение осуществляется с помощью двух проволочных круговых потенциометров. Среднее значение угловой скорости каждого из пропеллеров измеряется числом их оборотов за период осреднения, равный интервалу между циклами измерений. Использование пропеллеров реверсивного типа, позволяет отфильтровывать знакопеременные волновые составляющие течения и устранять влияние раскачивания несущего троса.

Датчик угла наклона прибора от вертикали представляет собой тороидальное кольцо с внутренней полостью, до половины заполненной электропроводной жидкостью, в которой расположены питающие и токосъемные электроды. Электропроводная жидкость и система электродов образуют потенциометрическую схему. Выходное напряжение датчика формируется разностью уровней жидкости в двух половинах кольца за счет изменения переходного сопротивления жидкость – кольцо. Протекание жидкости из одной половины в другую при наклоне прибора демпфируется капиллярным отверстием, через которое сообщаются полости. Датчик угла наклона конструктивно объединен в один узел с магнитным компасом.

2-компонентный способ измерения течения предполагает, что угловая ориентация корпуса прибора относительно стран света известна. Угловое положение прибора измеряется магнитным компасом, обладающим интегрирующими свойствами. Кратковременная стабилизация прибора по направлению достигается способом его подвески на кронштейне к несущему буйрепу. При таком способе подвески прибор стабилизируется в плоскости наклона троса за счет свисания на кронштейне. Магнитный компас

с потенциометрическим электролитическим преобразователем угла разворота компасной катушки в электрический сигнал состоит из котелка с водно-спиртовым раствором солей для обеспечения электропроводимости и плавающей в нем компасной катушки. Жидкостной преобразователь угла поворота катушки в напряжение переменного тока является линейным потенциометром. При изменении угла ориентации производится его осреднение за счет заданной и согласованной с дискретностью измерений инерционностью специального миниатюрного магнитного компаса объемом 2 см^3 . Второй компас является как бы магнитным демпфером и выполняет функцию интегратора измеряемого угла. Внутренняя полость его заполнена маслом определенной вязкости.

Диапазон измерения скорости – $0,03 - 2,0 \text{ м/с}$, чувствительность – $0,01 \text{ м/с}$, погрешность измерения $\pm(0,02 \pm 0,05V)$, время осреднения скорости – $5 - 60 \text{ мин}$, погрешность канала измерения направления $\pm 10^\circ$, чувствительность – 1° , время осреднения показаний составляет $3 - 60 \text{ мин}$.

Датчик температуры – платиновый ПТС с сопротивлением 500 Ом при 0°C помещен в медный герметичный закрытый цилиндр. Диапазон измерения температуры $-2 \dots 38^\circ\text{C}$ с предельной погрешностью $\pm 0,07^\circ\text{C}$ и чувствительностью $0,01^\circ\text{C}$. Постоянная времени 3 с , а с использованием дополнительного кожуха, надеваемого на оболочку датчика, – 180 с .

Датчик УЭП индуктивного типа представляет собой конструкцию из 2 тороидальных трансформаторов с ферритовыми сердечниками, заключенными в общую изоляционную оболочку с центральным отверстием, калиброванным с помощью стеклянной трубки со строго определенными геометрическими размерами. В приборе используется компенсационный метод измерения электропроводимости, при котором напряжение на втором трансформаторе сводится к нулю путем пропускания по дополнительной обмотке встречного тока, равного току в витке воды, но противоположного направления. Диапазон измерения УЭП – $0 - 7 \text{ См/м}$ с предельной погрешностью $\pm 0,005 \text{ См/м}$ и чувствительностью $0,002 \text{ См/м}$.

Датчик глубины погружения представляет собой манометр пружинного типа с индуктивным преобразователем величины перемещения чувствительного элемента в электрический сигнал.

В качестве пружинного элемента используется манометрическая трубка Бурдона. Индуктивный преобразователь выполнен на ферритовом сердечнике чашечного типа с переменным зазором, образуя регулируемую индуктивность. Датчик обеспечивает высокую разрешающую способность на поверхности (около 0,2 м) с плавным уменьшением до 9 м на предельной глубине. Погрешность измерений составляет $\pm(1\text{ м} + 1\% H)$.

Сигналы с датчиков поочередно подключаются коммутатором каналов к нуль-органу 12-разрядного преобразователя поразрядного уравнивания с трансформаторным компенсатором напряжения. Погрешность цифрового преобразователя – не более $\pm 0,01\%$. Запись измеряемых величин осуществляется на магнитную ленту в виде последовательного двоичного кода.

Задаваемая дискретность измерений – 2, 30, 300, 900, 1800 и 3600 с. Длительность цикла измерений 25 с. Питание прибора постоянным напряжением 9 В обеспечивается 12 элементами типа 373. Запас магнитной ленты и источников питания обеспечивает 10 000 циклов измерений всех параметров, что при дискретности 1 ч соответствует 1 году автономной работы. Масса прибора 36 кг. Обработка получаемой информации осуществляется на борту судна, где она распечатывается на телетайпной ленте или вводится в ЭВМ с помощью устройства обработки данных.

С целью устранения принципиальных недостатков АЦИТ в ААНИИ на его базе был разработан унифицированный измерительный комплекс АЦИТ-У. Он включает измеритель характеристик течений АЦИТ-У-01, STD-измеритель АЦИТ-У-02, блок обработки данных, блок интерфейсной связи. Причем отдельные модули АЦИТ-У-01 и АЦИТ-У-02 можно использовать как по отдельности, так и в комплекте. В новой системе улучшены метрологические характеристики; реализовано векторное осреднение скорости течения; обеспечено непосредственное сопряжение измерительных модулей со средствами вычислительной техники; предусмотрена автокалибровка каналов измерения температуры, УЭП и давления, что должно обеспечивать их более высокие точностные характеристики.

Фирмой «Интероушен» (США) выпускается измеритель модели 196-RM, предназначенный для измерения скорости и направ-

ления течений, температуры и электропроводимости морской воды, гидростатического давления, скорости звука в воде, концентрации растворенного кислорода, pH, степени турбулентности и ионизации морской воды.

В качестве датчика скорости течения используется ротор Савониуса. Направление вектора скорости относительно магнитного меридиана измеряется путем ориентации прибора по потоку магнитным компасом с потенциометрическим выходом. Скорость течения измеряется в диапазоне 0-3 м/с с основной погрешностью $\pm 2\%$ при постоянной времени 1 с. Направление определяется с погрешностью $\pm 2^\circ$ при постоянной времени 100 мс.

Измерение температуры осуществляется системой из 2 датчиков: платиновым ПТС (постоянная времени 1,4 с) и термистором с линеаризованной шкалой ($\tau = 60$ мс) в диапазоне $-5 \dots 45^\circ$ с погрешностью $\pm 0,02^\circ\text{C}$.

Датчик УЭП – кондуктометрическая ячейка измеряет электропроводимость в диапазоне 0 – 65 мСм/м с погрешностью $\pm 0,02$ мСм/м при постоянной времени 20 мс.

Содержание растворенного кислорода измеряется полярографической ячейкой в диапазоне 0 – 20 мл/л с погрешностью $\pm 0,1$ мл/л при постоянной времени 5 – 10 с. pH измеряется в диапазоне 2 – 12 с погрешностью $\pm 0,05$ при постоянной времени 40 мс. Соленость определяется также по содержанию ионов в диапазоне 0 – 45 ‰ с точностью $\pm 0,02\%$ при постоянной времени 1,4 с. Степень турбулентности определяется в пределах 0 – 100 % с погрешностью $\pm 2\%$ при постоянной времени 50 мс. Гидростатическое давление измеряется в диапазоне 0 – 600 бар с погрешностью 0,2 % от полной шкалы при постоянной времени 25 мс.

Получаемая информация в цифровом виде записывается на магнитную ленту. Программное устройство прибора формирует импульсы опроса измерительных каналов с дискретностью 10 – 15 мин. Автономность работы – до 30 суток. Вес прибора – 48 кг.

Эта же фирма выпускает *измеритель S4*, предназначенный для измерения скорости и направления течений, температуры, УЭП морской воды и гидростатического давления на глубинах до 1000 м в составе АБС. Корпус прибора изготовлен в виде сферы диаметром 25 см из пластика на основе эпоксидных смол. Прибор

в воде имеет нейтральную плавучесть. Внутри корпуса прибора располагаются электронные узлы измерительных схем, микропроцессор для векторного осреднения скорости и коррекции характеристик датчиков, блок полупроводниковой памяти емкостью 128 КБ и блок питания на литиевых элементах.

Для измерения скорости течений по горизонтальным осям корпуса расположены 4 электрода 2-компонентного электромагнитного измерителя. Диапазон измерений 0 – 3,5 м/с, погрешность $\pm(1 \pm 2V) \cdot 10^{-2}$ м/с, чувствительность – 0,002 м/с. Ориентация приборной системы координат определяется по магнитному компасу с погрешностью $\pm 2^\circ$ и чувствительностью $0,5^\circ$. Температура измеряется в диапазоне $-2,5 \dots 36^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$, электропроводимость в диапазоне 1 – 70 мСм/см с погрешностью $\pm 0,2$ мСм/см, гидростатическое давление в диапазоне 0 – 100 бар с погрешностью ± 5 бар.

Дискретность измерений в приборе – 15 мин, автономность – около года. На автономной буйковой станции прибор крепится с помощью проходящей сквозь корпус самописца штанги, способной выдержать нагрузку до 4,5 т. Масса прибора на воздухе 8 кг.

Норвежская фирма «Ондеро инструментс» выпускает измерители *RCM4S*, *RCV5*, предназначенные для измерения скорости и направления течений, температуры, электропроводимости морской воды и гидростатического давления. Прибор с корпусом цилиндрической формы, в верхней части которого располагаются датчики, подвешиваются в разрыв троса АБС и ориентируется с помощью хвостового оперения по течению.

Вращение датчика скорости (ротор Савониуса) через магнитную муфту передается внутрь корпуса и через редуктор подается на ось прецизионного проволочного потенциометра. Ползунок потенциометра включен в мостовую схему, уравнивание которой осуществляется 10-разрядным преобразователем аналог-код с поразрядным уравниванием. Для вычисления значений скорости течения используется разность между двумя соседними отсчетами. Диапазон измерения скорости – 0,025 – 2,5 м/с, чувствительность – 0,0025 м/с, относительная погрешность $\pm 5\%$.

Положение корпуса в пространстве определяется магнитным компасом, показания которого однозначно характеризуют направ-

ление течения. Компас имеет потенциометрический выход. Рабочий объем компаса помещен в соленоид. При подаче на соленоид тока контакт, установленный на картушке, прижимается к потенциометру. Контакт картушки включен в мостовую схему аналого-цифрового преобразователя. Погрешность измерения направления $\pm 7,5^\circ$, чувствительностью – $0,35^\circ$.

Температура воды измеряется термистором с S-образной характеристикой, изменение сопротивления которого преобразуется в 10-разрядный двоичный код, в диапазоне $-2,46 \dots 36^\circ\text{C}$ с погрешностью $\pm 0,05^\circ\text{C}$.

Электропроводимость воды измеряется датчиком индуктивного типа в диапазоне $0 - 700$ мСм/см с погрешностью $\pm 0,002$ мСм/см. Гидростатическое давление измеряется с помощью трубки Бурдона с потенциометрическим преобразователем в диапазоне $0 - 400$ ($0 - 500$) бар с точностью $\pm 1\%$. Предельная глубина погружения RSM-4 – 4000 м, RSM-5 – 5000 м. Допустимый угол наклона прибора – 12° .

Программное устройство, помещенное в корпусе прибора, формирует сигнал опроса измерительных каналов, содержит кварцевые часы и счетчиковый делитель частоты. Сменный кварц позволяет установить следующую дискретность измерений: 0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 20; 30; 60 и 180 мин. Результаты измерений откладываются в магнитной памяти 10-разрядным двоичным кодом. Емкость памяти составляет 10 000 отсчетов. Вес прибора на воздухе – 27 кг. Прибор RSM-4 снабжен акустическим излучателем для дистанционной передачи результатов измерений.

Глава 15

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

15.1. Общие положения

Метеорологические наблюдения в прибрежной зоне моря необходимы для определения характеристик состояния атмосферы, слежения за динамикой атмосферных процессов и их взаимодействием с подстилающей водной поверхностью. Для выявления и учета влияния погоды и метеорологического режима на морские гидротехнические сооружения и на проведение работ по освоению шельфа необходимы достоверные сведения по широкому кругу метеорологических элементов.

Для выполнения метеорологических наблюдений в прибрежной зоне моря организуются гидрометеостанции, задачами которых являются:

- определение характеристик состояния атмосферы, слежение за развитием атмосферных процессов и их взаимодействием с подстилающей поверхностью. Все это необходимо для учета влияния погоды и метеорологического режима на прибрежные гидротехнические сооружения и на производство работ по освоению ресурсов шельфовой зоны;

- производство стандартных гидрометеорологических наблюдений в прибрежной зоне моря с целью: немедленной передачи по радио результатов наблюдений в органы службы прогнозов; увеличения фонда гидрометеорологических наблюдений для обобщения их при составлении атласов, справочников, карт, описаний и проведения исследований климата погоды и гидрологического режима морей и океанов;

- снабжение оперативной информацией о фактическом состоянии погоды и моря в районах производства работ, передача гидрометеорологических прогнозов (составление прогнозов, если в состав станции входят синоптики) и консультации по гидрометеорологическим вопросам;

К стандартным гидрометеорологическим наблюдениям относятся:

1. Наблюдения над облачностью: а) общее количество облаков; б) количество верхнего или среднего ярусов; в) формы облаков; г) высота основания верхнего или среднего ярусов.

2. Наблюдения над видимостью.

3. Наблюдения над атмосферными явлениями, текущей (*ww*) и прошедшей погодой (*W*).

4. Наблюдения над скоростью и направлением ветра.

5. Наблюдения над температурой и влажностью воздуха.

6. Наблюдения над температурой поверхностного слоя воды.

7. Наблюдения над атмосферным давлением: а) величина давления; б) характеристика барической тенденции; в) величина барической тенденции.

8. Наблюдения над волнением моря: а) тип волнения; б) форма волнения; в) направление распространения волн; г) высота наиболее крупных волн; д) средний период волн; е) длина волн и длина гребней волн; ж) балл состояния поверхности моря.

9. Наблюдения над ледяным покровом: а) густота плавучего льда; б) сплоченность неподвижного и дрейфующего льда; в) толщина льда; г) возрастные характеристики и формы льда; д) условия плавания судов во льдах; е) направление, в котором видна кромка льда; ж) расстояние от судна до кромки льда; з) ориентация кромки льда; и) торосистость, заснеженность и другие характеристики льда; к) число айсбергов, их положение, размеры и другие характеристики; л) дрейф льда (скорость и направление).

10. Наблюдения над опасными гидрометеорологическими явлениями и явлениями, имеющими важное значение (например, шторм).

11. Наблюдения над свечением моря.

12. Наблюдения над цветом и прозрачностью морской воды;

13. Фотографирование наиболее интересных гидрометеорологических явлений (форм облаков, видов, форм и распределения льдов, волнение и т.п.).

14. Обработка результатов наблюдений, лент самописцев, составление таблиц.

15. Кодирование результатов наблюдений и обеспечение их своевременной передачи.

К специальным наблюдениям относятся: аэрологические, актинометрические, дополнительные метеорологические, дополнительные ледовые, радиометрические (радиологические), озонметрические, синоптическая работа.

При проведении наблюдений необходимо точно и четко записывать время и место выполнения гидрометеонаблюдений. Время наблюдений записывают в целых часах по СГВ. Координаты места записывают с точностью до 1', с обозначением методики определения места (счисление или обсервация).

15.2. Основные понятия и определения

Важным элементом гидрометеорологического режима исследуемого района является *ветер*. Под ветром понимается только горизонтальная составляющая вектора скорости ветра. Скорость ветра измеряют в м/с, а направление – в угловых градусах или румбах (1 румб = 22,5 °). Сильные ветры со скоростями 30 – 35 м/с и более относятся к особо опасным явлениям. Штормовые ветры оказывают значительное силовое давление на надводную часть гидротехнических сооружений. Продолжительный штормовой ветер может вызвать не только исключительно сильное волнение, но и катастрофические по своим последствиям сгонно-нагонные колебания уровня, резкие изменения температуры воды, вызванные сгоном теплых поверхностных вод и подъемом холодных глубинных, а в устьях рек – проникновение в реку морских соленых вод. Сильные ветры способны создать напор морских льдов на гидротехнические сооружения.

Атмосферное давление является гидростатическим давлением столба воздуха, обусловленное массой его вышележащих слоев. Оно указывает на тенденцию изменения погоды и поэтому является прогностическим признаком. Основной единицей измерения атмосферного давления является гектопаскаль (гПа). 1 гПа равен 1,33 мм рт. ст.

Температура воздуха – одна из основных термодинамических характеристик его состояния. Она, особенно в северных районах, определяет выбор строительных материалов, которые используют для строительства гидротехнических сооружений: стали, бетона, железобетона и пр. Температура воздуха оказывает влияние на

режим эксплуатации оборудования, работу людей, планирование производственной деятельности. Она является одним из факторов, способствующих физической коррозии используемых материалов. Для получения устойчивых значений температуры воздуха на гидрометеорологических станциях измеряют ее среднее значение за 3 – 5 мин, получаемое за счет постоянной времени термометров.

От *влажности воздуха* зависит образование туманов, облачности, осадков, возникновение обледенения, принадлежащего к опасным явлениям погоды. Она определяется парциальным давлением водяного пара, дефицитом насыщения, относительной влажностью и точкой росы. Парциальным давлением водяного пара называется давление, которое имел бы водяной пар во влажном воздухе, если бы он один занимал весь объем, который занимает влажный воздух при той же температуре. При данной температуре воздуха парциальное давление водяного пара не превосходит некоторого его максимального значения – давления насыщенного водяного пара, под которым понимают парциальное давление водяного пара во влажном воздухе, находящимся в термодинамическом равновесии с плоской поверхностью чистой воды (или льда). Дефицит насыщения определяется как разность между парциальным давлением насыщенного водяного пара над водой (и при положительной и при отрицательной температурах) и фактическим парциальным давлением водяного пара во влажном воздухе. Относительная влажность воздуха есть отношение, выраженное в процентах, парциального давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара над водой при одних и тех же значениях давления и температуры воздуха. Под точкой росы понимают температуру, при которой парциальное давление водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, станет равно парциальному давлению насыщенного водяного пара над водой при том же давлении влажного воздуха.

Облачность означает количество облаков на небесном своде. Облака представляют собой системы взвешенных в атмосфере частиц воды в жидкокапельном и (или) твердом (кристаллическом) состоянии, которые являются продуктами конденсации водяного пара. Внешний вид облаков определяется характером и интенсив-

ностью процессов облакообразования, а также зависит от интенсивности освещения облаков.

Атмосферные явления, к которым относятся осадки, метели, туманы, пыльные бури, шквалы, смерчи, грозы, могут в значительной мере затруднять проведение работ в прибрежной зоне моря, ограничивать видимость и тем самым усложнять перевозки грузов и людей морем и по воздуху, а в некоторых случаях приводить к авариям.

Количество *атмосферных осадков* определяется как высота (мм) слоя воды, образовавшегося на горизонтальной поверхности от выпавшего дождя, мороси, тумана, обильных рос, растаявшего снега, крупы за указанный интервал времени при отсутствии стока, просачивания и испарения. Интенсивностью дождя называется количество осадков, выпавшее в единицу времени (10 мин).

Метели – перенос снега с поверхности снежного покрова под влиянием сильного порывистого ветра, в результате чего происходит перераспределение снежного покрова (выдувание и наметание снега возле препятствий), а также уплотнение снега. В зависимости от высоты, на которую ветер поднимает снег, поднятый с поверхности, различают метель общую, низовую и поземок. Общая метель не позволяет видеть небо и не дает возможности разобрать выпадает ли снег из облаков или только переносится снег, поднятый с поверхности. Видимость значительно уменьшена и по горизонтали и по вертикали. При низовой метели перенос снега с поверхности снежного покрова до высоты 2 – 3 м, а горизонтальная видимость значительно хуже вертикальной. Во время поземки перенос снега ветром происходит до высоты 1,5 – 2 м, а движение снега почти параллельно поверхности. Видимость уменьшается незначительно. Обычно до или после метели (особенно в арктических районах) может наблюдаться снежная мгла – помутнение воздуха от взвешенных частиц снега. При этом видимость иногда снижается до 50 м.

Туман определяется скоплением в воздухе мелких капель воды, образующихся при охлаждении влажного воздуха. Туман вызывает помутнение белесоватого цвета, снижающего прозрачность нижних слоев атмосферы и доводящего метеорологическую дальность видимости до величины менее 1000 м. Дымка – сильно раз-

реженный туман, при котором видимость бывает в пределах от 1 до 10 км, а относительная влажность обычно равна 85 – 97 %. Парение моря – туман, иногда довольно густой, над незамерзающим морем при большой разности температур воды и воздуха в виде клубов пара.

Гроза – электрические разряды в атмосфере, которые сопровождаются вспышкой света (молнией) и резкими звуковыми раскатами (громом). Гроза обычно сопровождается сильным ветром, ливневыми осадками, иногда градом.

Обледенение – процесс образования льда на предметах при замерзании на них дождя, брызг морской воды или тумана при отрицательной температуре воздуха. Корка образовавшегося льда может быть достаточно толстой. Быстрое обледенение судов, пирсов, эстакад, буровых установок и других гидротехнических сооружений при скорости нарастания льда до 2 см/ч и более относится к особо опасным явлениям.

15.3. Обоснования необходимости исследований

Обычно государственные Гидрометслужбы во всем мире не в состоянии в полной мере удовлетворить требованиям КУПЗ. Для решения подобных задач организуется дополнительная сеть ГМС и ГМП, в том числе и на морских платформах, плавучих буровых установках, судах и т.д. Проведение наблюдений на этих ГМС и ГМП необходимо:

- для получения ориентировочных или предварительных данных о ветровых условиях, температуре воздуха, колебаниях атмосферного давления, осадках и т.д. при отсутствии стационарных наблюдений;
- снабжения оперативной метеорологической информацией организаций, осуществляющих КУПЗ на стадиях проектирования, строительства и проведения работ;
- оповещения заинтересованных организаций и органов Росгидромета об опасных и особо опасных атмосферных явлениях в районе работ;
- передачи сведений в прогностические органы Росгидромета для составления прогнозов погоды и предупреждений о возможных неблагоприятных условиях погоды;

– накопления и обобщения данных для получения информации о метеорологическом режиме района работ и учета его местных особенностей. Многолетние ряды наблюдений необходимы для исследования функций распределения, а также сезонной, межгодовой и многолетней изменчивости метеорологических элементов;

– проверки методов расчета ветра (а следовательно, и методов расчета волн, течений, колебаний уровня и дрейфа льдов), так как они не апробированы в штормовых условиях, которые могут наблюдаться в районе работ.

В естественных условиях воздействие метеорологических элементов на сооружения, оборудование, приборы и людей происходит в комплексном виде, когда неблагоприятное влияние одного из них может усиливаться влиянием других. Наибольшее значение имеют комплексы температура – ветер и температура – влажность. Сочетание низкой температуры воздуха с большой скоростью ветра обуславливает большую суровость погоды, ограничивающей пребывание и возможности работы человека на открытом воздухе. Сочетание положительной температуры с высокой влажностью влияет на эксплуатационные качества и долговечность оборудования и сооружений, приводит в ряде случаев к ухудшению структуры строительных материалов, образованию микротрещин, коррозии и, в конечном счете, – к их разрушению. Комплекс метеорологических наблюдений должен обязательно сопровождаться океанографическими наблюдениями.

15.4. Методика производства наблюдений

Метеорологические наблюдения должны отвечать требованиям репрезентативности, однородности и достоверности. Для достижения репрезентативности наблюдений рационально размещают ГМС и ГМП в районе исследований, поддерживают неизменность условий наблюдений и устраняют помехи, затрудняющие их проведение. Однородность и достоверность результатов наблюдений достигают проведением их в соответствии с требованиями специальных наставлений. Измерения должны производиться лицензированными и проверенными приборами.

Наблюдения за облачностью заключаются в выполнении следующих видов определений:

– количество облаков, т.е. степень покрытия облаками неба свода (общей облачности) и количества облаков нижнего яруса (нижней облачности). Количество облаков выражается в баллах по 11-балльной шкале от 0 до 10 баллов. С этой целью на глаз оценивается, на сколько десятых долей небо покрыто облаками. При отсутствии облаков или если они закрывают менее 0,05 части неба, облачность оценивается баллом 0, если небо покрыто облаками – 10 баллов, если имеются незначительные просветы – записывается **10**;

– формы облаков (форма, виды и разновидности) и наличие солнечного или лунного сияния в момент наблюдения. Форму облаков записывают сокращенно латинскими буквами. Определяют, по возможности, формы облаков всех классов Международной классификации: облака нижнего, среднего, верхнего ярусов и облака вертикального развития. Пособием для определения форм облачности может служить «Атлас облаков». При этом всегда надо отмечать наличие и интенсивность солнечного и лунного сияний;

– высота нижней границы облаков оценивается приблизительно, на глаз, стремясь к точности до 50 – 200 м, а в самом худшем случае до 500 м.

Наблюдения за видимостью. Метеорологической видимостью называется то наибольшее расстояние, дальше которого при данной прозрачности атмосферы абсолютно черный предмет больших угловых размеров, проектирующийся на фоне неба вблизи горизонта, сливается с фоном и вследствие этого становится невидимым. Задача наблюдателя – определять, записывать и включать в синоптическую радиограмму в каждый срок наблюдений дальность метеорологической видимости. Определение метеорологической видимости днем производится визуально, а ночью – с помощью измерителя видимости М-71 или визуально. Дальность видимости оценивается по Международной 10-балльной шкале от 0 до 9 баллов. Каждый балл этой шкалы обозначает интервал, в пределах которого в момент наблюдений лежит дальность видимости. Например, при видимости в 6 баллов видны объекты, расположенные на расстоянии более 4 км, но менее 10 км.

Объектами для определения видимости в море служат появляющиеся на горизонте плавающие суда, очертания берегов, гор,

лесов и строений на берегу; ночью огни маяков и плавающих судов. При отсутствии каких-либо объектов видимость определяется по четкости линии горизонта. Ночью же при неизменности атмосферных явлений видимость можно принимать по предыдущему сроку, а в случае появления новых атмосферных явлений (туман, морось и т.д.), принимая во внимание интенсивность этого явления, ее определяют с помощью соответствующих таблиц, имеющих в наставлениях и руководствах.

Наблюдения за атмосферными явлениями, к которым относятся осадки, туманы, грозы и различные оптические, электрические и другие явления, происходящие в атмосфере, а также за состоянием погоды в срок и между сроками наблюдений, выполняются круглосуточно и записываются в книжки наблюдений цифрами кода по КН-01 или соответствующими условными обозначениями. Необходимо отмечать явления, происходящие не только в месте проведения наблюдений, но и в поле зрения.

Наблюдения за скоростью и направлением ветра среди всех явлений погоды в море по своей важности занимают первое место. Основная задача наблюдателя на судне – определить истинное направление ветра (откуда дует ветер) и истинную скорость ветра над морем. Для измерения скорости ветра обычно используют ручной анеометр или различного типа автоматическими измерителями.

При использовании ручного анеометра, который дает среднюю скорость ветра в м/с, направление ветра определяют по компасу с помощью «колдунчика» (мешочек, сшитый из легкой ткани в виде сильно вытянутого конуса), вытягивающемуся вымпелу, флагам на мачтах, дыму из трубы и т.п. Наблюдатель по компасу определяет направление ветра, сообразуясь с направлением «вытягивания» подручных средств. Затем, вводя в полученное направление поправку компаса (наклонение и девиацию), получают истинное направление ветра, которое и записывают в книжку наблюдений в десятках градусов.

Некоторую сложность представляет определение истинных скорости и направления ветра на ходу судна, так как в этом случае наблюдатель измеряет кажущийся ветер, ибо на результаты измерений значительное влияние оказывает движение самого судна.

Истинные направления и скорость ветра над морем на движущемся судне определяют с использованием правила параллелограмма скоростей. Эти определения производятся графически или с помощью несложного устройства – ветрочета КСМО-1М с учетом скорости и направления движения судна.

В настоящее время существует большое количество различных автоматических устройств для измерения характеристик ветра в судовых условиях. В качестве примера можно привести *«Корабельный измеритель ветра»* (КИВ), разработанный в ЦКБ ГМП, предназначенный для дистанционного определения скорости и направления ветра, измеренного на уровне установки датчика ветра. Для измерения скорости ветра используется зависимость между скоростью ветра и числом оборотов лопастного винта вертушки, а для направления – зависимость между направлением ветра и положением свободно ориентированной флюгарки датчика ветра. Получаемая информация при помощи сельсинной передачи по кабелю подается на пульт – центральный прибор, в котором происходит осреднение значений скорости ветра с помощью программно-наборного механизма и сглаживание значений направления ветра демпфирующим устройством. Режим работы прибора – непрерывный с дискретной выдачей данных средней скорости наблюдаемого ветра через каждые 120 с.

Диапазон измерений скорости ветра 2 – 40 м/с; направления ветра 0 – 360°. Абсолютная погрешность измерения: средней скорости ветра $\pm(0,3 + 0,03 V)$, где V – скорость наблюдаемого ветра; направления ветра $\pm 10^\circ$. Абсолютная погрешность установки и снятия отсчетов на построителе: скорости ветра $\pm 0,2$ м/с; направления ветра $\pm 0,3^\circ$. Масса всего комплекса – 53 кг (при этом датчик ветра – 3,5 кг, центральный прибор – 16 кг, респитер – 3,5 кг, трансформатор – 5,8 кг, построитель – 2 кг). Габаритные размеры: датчика ветра 360×640 мм, центрального прибора 418×296×190 мм, респитера 253×174×129 мм, трансформатора 306×178×172 мм, построителя 250×278×65 мм.

Наблюдения за температурой и влажностью воздуха производятся обычно аспирационным психрометром (большая модель), который при проведении наблюдений на борту судна выносится с палубы судна за наветренный борт и должен быть защищен от

солнечных лучей, теплового воздействия палубы и корпуса судна, от атмосферных осадков и забрызгивания морской водой. По отсчетам сухого и смоченного термометров психрометра (они снимаются с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$), используя «Психрометрические таблицы», определяют абсолютную влажность (количество или упругость водяного пара, содержащегося в атмосфере в момент наблюдений, мм ртутного столба или мб), относительную влажность (процентное соотношение имеющегося в атмосфере, количества водяного пара к количеству водяного пара, которое требуется при данной температуре для насыщения атмосферы, %) и точки росы (температура, при которой имеющееся в данный момент в воздухе количество водяного пара было бы достаточным для полного его насыщения).

Наблюдения за атмосферным давлением осуществляется с помощью барометра-анероида. По значению наблюдаемого давления, по его суточному ходу (ход изменения атмосферного давления за сутки) можно предсказать усиление или ослабление ветра, появление или исчезновение облачности, выпадение или прекращение осадков и другие изменения погоды в районе нахождения судна. После снятия отсчетов в показания барометра-анероида необходимо ввести соответствующие поправки:

1) температурную поправку, которая дается в паспорте прибора, а температура самого прибора во время измерения снимается с дугообразного термометра, встроенного в барометр, или с термометра, положенного на барометр сверху;

2) добавочную поправку, вызванную погрешностями самого механизма барометра. Так как срабатываемость различных деталей механизма прибора меняется со временем, то и добавочная поправка не остается постоянной, поэтому барометр-анероид необходимо регулярно проверять;

3) шкаловую поправку, которая дается в паспорте прибора. Обычно она незначительна по значению и не изменяется со временем;

4) поправку на приведение показаний барометра к уровню моря. Приведение давления к уровню моря достигается простым прибавлением к исправленному отсчету $0,1$ мм рт. ст. На каждый метр возвышения барометра-анероида над уровнем моря, для чего всегда необходимо знать это превышение.

Для непрерывной регистрации всех изменений атмосферного давления служат барографы, которые могут быть с суточным или недельным заводом. С помощью барографов определяют также характеристику барической тенденции, под которой понимают форму кривой, начерченной пером барографа за последние 3 ч до срока наблюдений. Значение барической тенденции – изменение атмосферного давления за последние 3 ч до срока наблюдений – при регулярном производстве наблюдений лучше определять по барометру.

Сразу же после наблюдений в основные синоптические сроки составляется синоптическая метеорадиограмма для передачи в органы службы прогнозов. Данные, включаемые в радиограмму, кодируются цифрами по коду КН-01 или КН-01С.

Кроме стандартных наблюдений иногда по индивидуальным программам выполняются и дополнительные наблюдения. К ним относятся:

- актинометрические наблюдения;
- непрерывная регистрация температуры и влажности воздуха самописцами и наблюдения экстремальных температур воздуха по максимальному и минимальному термометрам;
- наблюдения за количеством осадков;
- наблюдения за порывистостью ветра;
- наблюдения за движением облаков;
- наблюдения за общим содержанием атмосферного озона;
- градиентные наблюдения за скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха;
- наблюдения за атмосферным электричеством;
- отбор проб осадков для их химического исследования;
- испытание новых метеорологических приборов в морских условиях и т.п.

Одним из основных видов специальных дополнительных наблюдений являются актинометрические. Большая часть земной поверхности покрыта водой, поэтому для познания процессов и явлений, происходящих в атмосфере, водах морей и океанов, для расчета теплового баланса необходимо знать, какое количество солнечной энергии поступает на водные поверхности. При выполнении морских актинометрических измерений в настоящее время

используются актинометрические приборы, предназначенные для сухопутных условий. Эти приборы на судне необходимо разместить и приспособить так, чтобы факторы, вносящие ошибки в результаты наблюдений (качка, вибрация), были по возможности исключены или в достаточной степени уменьшены. Для этой цели приборы чаще всего размещают в кардановом подвесе. На судах производят следующие виды актинометрических наблюдений:

- измерение прямой солнечной радиации (S) на водную поверхность выполняют актинометром;
- измерение суммарной радиации (Q) выполняют пиранометром;
- измерения отраженной коротковолновой радиации (R_k) выполняют с помощью альбедометра;
- измерение радиационного баланса выполняют балансометром;
- рассеянная радиация вычисляется по формуле $D = Q - S$.

Устройство актинометрических приборов приведено в учебниках и монографиях по метеорологическим приборам. Все актинометрические наблюдения производятся 8 раз в сутки (0^{30} , 3^{30} , 6^{30} , 9^{30} , 12^{30} , 15^{30} , 18^{30} и 21^{30}) по среднегринвичскому времени. Для записи наблюдений используются книжки КГМ-12.

Наблюдения за экстремальными температурами, за количеством осадков, регистрация температуры и влажности воздуха самописцами и некоторые виды дополнительных метеорологических наблюдений при проведении наблюдений в судовых условиях несмотря на то, что временами при сильной качке судна результаты их будут получаться искаженными или приборы не будут срабатывать, целесообразно включать в программу работ судовой гидрометстанции как постоянные наблюдения. Другие виды дополнительных наблюдений могут включаться на один или несколько рейсов судна, т.е. на определенный срок, а также в опытным порядке.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Коровин В. П., Тимец В. М. Методы и средства гидрометеорологических измерений. – СПб.: Гидрометеониздат, 2000. – 310 с.
2. Коровин В. П., Четверкин Е. И. Морская гидрометрия. – Л.: Гидрометеониздат, 1988. – 264 с.
3. Коровин В. П. История океанографических исследований. – СПб.: Гидрометеониздат, 1999. – 156 с.
4. Руководство по гидрометеорологическим работам в океанах и морях. – Л.: Гидрометеониздат, 1977. – 555 с.

Дополнительная

1. Балакин Р. А. и др. Опыт измерения уровня моря при помощи АЦИТ. // Метеорология и гидрология, 1982, № 8, с. 115–117.
2. Баласюк Б. А. и др. Комплекс первичных измерительных преобразователей для гидрофизических исследований. / В кн.: Физическая гидродинамика. – Донецк, 1990, с. 123–127.
3. Бирюков И. В. и др. Радиолокационный волномер-профилометр. – М., 1990, – 14 с.
4. Богданов К. Т. и др. Мареограф прибрежный МП-1. – Океанология, 1993, т. 3, № 1, с. 153–155.
5. Бушуев А. В., Волков Н. А., Грищенко В. Д. Наблюдения за морскими льдами и их исследование, создание автоматизированной ледово-информационной системы. – Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, № 70, с. 104–119.
6. Гостев О. Ф., Трубкин И. П., Чиквиладзе Г. Н. Автономный волноизмерительный буй. – Тр. ГОИН, 1988, вып. 184, с. 15–22.
7. Долотов Ю. С. Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления. – М.: Наука, 1989. – 148 с.
8. Дроздов А. Е. и др. Комплекс гидрофизический зондирующий для океанографических исследовательских судов. // Записки по гидрографии, 1991, № 226, с. 49–57.
9. Зори А. А. Автоматизация контактных методов зондирования океана. – Владивосток, 1991. – 256 с.
10. Зотин М. И. Современные методы и приборы измерения уровня моря. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1982. – 40 с.
11. Ильиных Ю. С. и др. Прицизионный гидрологический зонд для океанологических исследований. // Измерительная техника, 1995, № 8, с. 39–42.
12. Инженерно-гидрометеорологические изыскания на континентальном шельфе. – М.: Гидрометеониздат. – 377 с.
13. Ковчин И. С. Автономные океанографические средства измерений. – Л.: Гидрометеониздат, 1991. – 326 с.
14. Ковчин И. С., Степанюк И. А. Методы специальных океанологических измерений. – СПб.: РГГМУ, 2002. – 270 с.

15. Коровин В. П. Зарубежные технические средства в океанологии. – СПб.: РГГМИ, 1994. – 196 с.
16. Кушнир В. М. Зонд для вертикального профилирования течений и гидрологических элементов. // Океанология, 1994, т. 34, № 2, с. 303–305.
17. Левашов Д. Е. и др. Современная океанологическая аппаратура для рыбопромысловых исследований. // Рыбное хозяйство, 1997, № 1, с. 23–29.
18. Левашов Д. Е. Техника экспедиционных исследований. – М.: ВНИРО, 2003. – 400 с.
19. Матушевский Г. В. Современные методы измерения ветровых волн. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1982. – 30 с.
20. Монин А. С. Каменкович В. М., Корт В. Г. Изменчивость Мирового океана. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 262 с.
21. Нелепо Б. А., Смирнов Г. В., Шадрин А. Б. Интегрированные системы для гидрофизических исследований. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 237 с.
22. Парамонов Л. Н., Кушнир В. М., Заикин В. М. Автоматизация гидрофизического эксперимента. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 224 с.
23. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 186 с.
24. Сафьянов Г. А. Геоморфология морских берегов. М.: Наука, 1996. – 256 с.
25. Смирнов Г. В., Кухарчик А. В. Буксируемые, зондирующие и автономные информационно-измерительные комплексы океанографических параметров модульной конструкции. – Севастополь, 1986. – 42 с.
26. Смирнов Г. В. Первичные измерительные преобразователи океанографических параметров. – Владивосток, 1991. – 205 с.
27. Степанюк И. А. Океанологические измерительные преобразователи. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 272 с.
28. Трохан А. М. Гидрофизические измерения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 335 с.
29. Фомин Л. М., Кушнир В. М., Тутов В. Б. Измерение океанских течений. – М.: Наука, 1989. – 396 с.
30. Brown J., Brander K., Fernand L., Hill A. E. Skanfish: High performance towed undulator. – Sea Technol., 1996, vol. 37, № 9, p. 35–40.
31. Clarke R. A., Dessureault J., Ledaus G. Upper-ocean profiling from vessels underway. – Sea Technol., 1996, vol. 37, № 2, p. 35–40.
32. De Srobel F., Gualdes L. High resolution towed oscillating system / Sea Technol., 1995, vol. 35, № 7, p. 37–40.
33. Kery S. Recent developments in instruments bottom mountings. / Sea Technol., 1996, vol. 37, № 6, p. 74–80.
34. Me Coyk. Autonomies profiling vehicles. / Sea Technol., 1996, vol. 37, № 2, p. 17–25.