

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

06  
Т78

ТРУДЫ  
ВЫПУСК 44

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ  
ДЛЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ

263278

Под редакцией  
канд. географ. наук, доцента  
К. К. Дерюгина

**БИБЛИОТЕКА**  
Ленинградского  
Гидрометеорологического  
Института

ЛЕНИНГРАД  
1971

УДК 551.460.18+551.508+621.175.3+628.113+  
+66.045.5

*Одобрено Ученым советом  
Ленинградского гидрометеорологического  
института*

Сборник посвящен некоторым вопросам разработки новых методов и приборов в области океанологии и гидрологии, осуществляемым на кафедрах института. Дается описание методов и приборов для регистрации температуры воды, различного вида и типа измерителей с установкой их на автономной буйковой станции. Освещаются вопросы использования гидроакустического канала связи с автономными гидрологическими постановками и системами. Приводится расчет водохранилищ-охладителей. Отражаются некоторые вопросы подводных исследований.

В целом сборник представляет интерес для широкого круга океанологов и гидрологов, проводящих экспедиционные исследования и изыскания.

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТОК МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ НА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОМ И ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТАХ ЛГМИ**

Настоящий сборник посвящен некоторым вопросам разработки новых методов и приборов в области океанологии и гидрологии, осуществляемой в последние годы на кафедре методов океанологических исследований океанологического факультета и на кафедрах динамики русловых потоков и водных исследований гидрологического факультета института.

Первый опыт работы этих кафедр в области усовершенствования существующих методов и приборов, а также конструирования и изготовления новых приборов позволил определить основные направления деятельности сотрудников кафедр.

Одним из важнейших и перспективных направлений в исследованиях основных гидрометеорологических характеристик за длительный период является разработка различного вида и типа измерителей с установкой их на автономно действующей буйковой станции. Этой проблеме посвящена статья бывшего аспиранта института А. А. Висневского. В статье дается классификация основных методов измерения и регистрации гидрометеорологических параметров водной среды, а также приводятся некоторые рекомендации по усовершенствованию буйковых станций.

В результате плодотворных работ, проводившихся в последние годы группой, возглавляемой сотрудниками кафедры методов океанологических исследований института И. А. Степанюком и В. А. Бубликом, наметилось второе направление, имеющее весьма широкое практическое применение — создание новых методов и приборов для регистрации температуры воды, в частности автономно действующих самописцев. К таким приборам относится термограф «Сигнал» с дискретной магнитной записью, разработанный на кафедре и испытанный в экспедиционных условиях. С целью длительного хранения получаемых материалов по температуре воды в настоящее время широкое распространение в океанологии получает частотный метод преобразования информации о измеряемом параметре благодаря значительным преимуществам при передаче данных по каналу связи или при регистрации на каком-либо носителе записи.

Разработке новых методов измерения температуры воды посвящена и статья В. А. Бублика, содержащая описание термографа с гидроакустическим каналом связи, созданного на кафедре методов океанологических исследований. Изложенный в статье метод перспективен тем, что при наличии простой схемы устройства термозонда и безотказности его работы позволяет осуществить вертикальное зондирование вод океана до глубины 500 м с необходимой точностью и непрерывностью измерений, а также надежностью передачи по каналу связи. Датчики температуры могут располагаться по вертикали на любом расстоянии друг от друга.

При разрешении ряда теоретических и практических задач в области океанологии и гидрологии, связанных с распределением коэффициента турбулентного обмена, крайне важно проводить мгновенную запись температурного поля с высокой точностью. Для этой цели сотрудниками кафедры водных исследований С. В. Завилейским и Т. Н. Юровской сконструирован и изготовлен образец релейного коммутатора, обеспечивающего одновременную запись на шлейфовый осциллограф необходимого количества измерений температуры воды с требуемой точностью. К этому же направлению—созданию новых методов и приборов для регистрации температуры воды—относится и статья сотрудника Ленинградского отделения Государственного океанографического института И. З. Ледера, выполнившего большую методическую работу по оценке погрешности дискретных измерений температуры воды. Рассматривая отдельно каждый источник погрешности, автор приходит к выводам, которые следует учитывать при производстве измерений температуры воды на гидрологических станциях, используя стандартные методы. Краткий обзор работ, сделанных в этом направлении, заключают две статьи И. А. Степанюка и В. А. Степанюка, в которых приведены результаты исследований различных типов РС-генераторов применительно к задаче выбора оптимального измерительного тракта автономного термографа с дискретной магнитной записью и описаны конструкции и основные схемы аппаратуры для дешифрирования записей на магнитной ленте.

Очень важные новые перспективные направления методических разработок, проводимых на кафедре методов океанологических исследований, изложены в статьях Е. И. Чверткина и Б. М. Поляшева. В них рассматриваются вопросы использования гидроакустического канала связи с автономными гидрологическими постановками и системами, находящимися в надводном или подводном положении, и проводится анализ возможности повышения помехозащищенности гидроакустического канала передачи информации.

Статьи И. А. Арбузова (кафедра динамики русловых потоков) и А. В. Мильштейна посвящены другому направлению методических исследований—наблюдениям над колебаниями уровня. В последнее время начали широко применяться уровнемеры, принцип действия которых основан на измерении гидростатического давления. В одной из статей дается детальный анализ методиче-

ских погрешностей в измерении уровня этими приборами, в другой — рассматриваются различные схемы гидростатических уровней, исследуются динамические свойства типичной для датчиков давления системы и находится связь между быстройдействующей системой и точностью ее работы при заданных параметрах.

В статье В. Ф. Псаломщикова приводятся обоснованные рекомендации к широкому использованию фотолокатора, смонтированного на основе стандартного электронного потенциометра ЭПП-09 или любого другого аналогичного типа, для автоматической регистрации сигналов с зеркального гальванометра любой чувствительности.

Ввиду отсутствия каких-либо приборов для измерения выносимой из градирни воды на кафедре водных исследований разработан, а затем испытан в натуральных условиях электропсихрометр с механической сепарацией капель. Электропсихрометр с каплеуловителем позволяет одновременно измерять количество воды, выносимой из градирни воздушным потоком, его температуру и влажность. Описание этого прибора, методику измерения количества воды, выносимой из градирни каплями и в виде пара, содержит статья С. Д. Винникова и И. П. Спицына.

В другой статье сотрудников кафедры водных исследований С. Д. Винникова и Т. Н. Юровской излагается методика расчета водохранилища-охладителя без применения понятий активной зоны и коэффициента использования. В предлагаемой авторами методике дается раздельно решение для гидравлической и термической частей задачи.

Пять статей сотрудников лаборатории подводных исследований кафедры методов океанологических исследований посвящены описанию совершенно особого, важного и нового направления, получившего в последние годы весьма широкое развитие, — конструированию, созданию и использованию подводных обитаемых лабораторий. В статьях приводится также описание методов гидрофизических, биологических и геологических наблюдений исследователем, находящимся непосредственно в водной среде, и применяемых при этом аппаратуры и установок.

В первой статье В. Е. Джус дает описание конструкций подводной лаборатории «Садко-3», схему ее постановки на грунт дна, а также кратко излагает проведенный осенью 1969 г. эксперимент с длительным пребыванием человека в водной толще без выхода на поверхность.

В статье В. С. Беззаботнова приведены данные наблюдений над процессами перемешивания в слое скачка методом подводной фотосъемки с применением красящего вещества (флюоресценна). В результате эксперимента, проведенного с нис «Нерей», удалось выработать методику наблюдений и проследить образование, а затем и развитие отдельных вихрей и микротурбулентного перемешивания на различных горизонтах, иногда очень тонких, например в слое скачка.

Следующая статья В. С. Беззаботнова посвящена очень важному вопросу, имеющему большое практическое значение, — влиянию гидрометеорологических условий на работу автономно действующих буйковых станций при наблюдениях над течениями и выяснению надежности получения данных в результате выполненных наблюдений. Опыт проводился в трех вариантах постановки самописцев течений, а также при различной степени волнения в районе исследований. Анализ материалов киносъемок поведения самописцев БПВ-2 под водой позволил получить интересные данные при работе автономно действующих станций с буквопечатающими вертушками.

В статье В. Х. Бурнашева приводятся результаты эксперимента, выполненного по наблюдениям над течениями, различными по скорости (три режима потока по скорости), в придонном слое толщиной 20 см. Процесс перемещения и диффузии столбика красителя фиксировался кинофотосъемкой. В результате исследований была апробирована методика натурных наблюдений течений в придонном слое, а также выполнена первая попытка определить кинематические характеристики в придонном слое.

В статье К. К. Дерюгина освещаются основные задачи, решенные в первых четырех рейсах-нис «Нерей», и дается краткий анализ результатов научно-исследовательских и методических работ, выполненных экспедиционным составом во время плавания судна в 1968—1970 гг.

В заключение следует отметить, что необходимо всячески приветствовать и поддерживать на океанологическом и гидрологическом факультетах совершенно новое направление в научно-исследовательской деятельности института — разработку новых современных методов исследования в области океанологии и гидрологии, конструирование и создание более совершенных в техническом отношении приборов, самописцев и различного рода установок.

Особо следует отметить все возрастающую роль студентов различных курсов океанологической специальности, участвующих в работах студенческого конструкторского бюро, созданного при кафедре методов океанологических исследований, и проявляющих большой интерес к приборостроению.

*Зав. кафедрой методов океанологических исследований  
доцент К. К. ДЕРЮГИН*

А. А. ВИСНЕВСКИЙ

## О ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБАХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ БУЙКОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В МОРЕ

### Введение

Нет необходимости доказывать перспективность автоматизации гидрометеорологических наблюдений. Значительные успехи в разработке теорий, объясняющих те или иные явления, широкие возможности, открывшиеся перед океанологией в связи с применением современной вычислительной техники, повысили роль и требования к экспериментам, проводимым в природных условиях. Видимо, этим и объясняется то, что морские экспедиции с узконаправленными задачами проводятся в настоящее время все чаще и чаще и что в этих экспедициях почти всегда испытываются и применяются новая аппаратура и новые методы наблюдений. В последнее десятилетие появились наиболее точные радиоэлектронные приборы для измерения почти всех гидрометеорологических элементов. Однако в большинстве случаев это единичные или экспериментальные образцы. Основное же оборудование океанографических судов остается почти всегда постоянным и из года в год мало меняется. Многое здесь объясняется трудностями создания, внедрения и организации малосерийного производства нового оборудования. Но в какой-то степени это, по-видимому, связано также с отсутствием окончательно установившихся требований к приборам не столько в отношении их точности, сколько с точки зрения методов их применения, их места в общем плане развития океанографических наблюдений. Проектирование и создание дорогостоящих установок и оборудования экспедиционных судов, организация их серийного производства являются важной проблемой, многочисленные и сложные вопросы которой могут быть предметом исследований. В данной же работе рассматриваются и предлагаются только способы установок якорных автономных буйковых станций. Для того чтобы были ясны положения, о которых здесь будет гово-

ряться, коротко изложим основные взгляды на общие тенденции в развитии методики океанографических наблюдений.

Прежде всего укажем, как последовательно меняются задачи экспедиции. Они заключаются: 1) в выявлении основных характеристик гидрометеорологического режима; 2) в изучении многолетних и сезонных изменений отдельных явлений; 3) в выявлении связей между отдельными явлениями и основными причинами, их вызывающими; 4) в детальном изучении всего механизма взаимодействия между атмосферой и океаном и между отдельными процессами.

Разделены эти задачи, разумеется, весьма условно, но внимательно исследуя историю экспедиций, можно увидеть, что на известном этапе какая-то из перечисленных задач являлась основной. Степень изученности Мирового океана различна, и в настоящее время для целого ряда его районов первые две задачи сохранили свою актуальность. Известно, что они достаточно успешно решаются на основе уже выработанных методов наблюдений: системы эпизодических и стандартных съемок и разрезов, выполняемых одиночными судами. А вот решение третьей, вернее четвертой, задачи обусловило пересмотр и появление ряда новых методов и средств наблюдений, так как изучение взаимодействия и взаимосвязей явлений заключается прежде всего в производстве одновременных наблюдений над многими элементами во многих точках и на больших площадях. Важнейшие из этих методов следующие:

- 1) синхронные съемки несколькими судами;
- 2) постановка автономных буйковых станций;
- 3) развитие «экспресс-методов» (буксируемые приборы, приборы для зондирования и т. д.);
- 4) развитие методов структурных измерений (изучение пульсаций);
- 5) применение радиолокации;
- 6) авиаметоды и производство измерений с помощью искусственных спутников Земли.

Далее отметим, что при распределении всего объема наблюдений между различными методами в качестве основного критерия должен быть взят период времени, необходимый для выявления всего спектра изменений величины. Так, если вызывает интерес изменение какой-либо величины (например, течения или перестройка поля плотности), которое может происходить с периодом от нескольких часов до 1—2 месяцев, наблюдения над ними целесообразнее выполнять с помощью автономных буйковых станций. Измерения же пульсаций, волнения, суточных колебаний интенсивности и положения слоя скачка и т. д. лучше всего проводить при непосредственном участии судов.

Для проведения коротких серий наблюдений (в пределах нескольких часов) могут быть использованы приборы с записывающей аппаратурой, т. е. такие, при помощи которых о результатах можно судить только после прекращения наблюдений и подъема

их на борт судна. Приборы для производства длительных серий наблюдений, в том числе и автономные буйковые станции, должны быть снабжены передающей аппаратурой.

Таким образом, сказанное позволяет: 1) сформулировать основные требования к автономным буйковым станциям; 2) оценить возможность использования уже разработанных методов электрических измерений основных гидрометеорологических элементов; 3) предложить конструкцию комплексной автоматической буйковой станции.

Следует отметить, что некоторые рассматриваемые здесь вопросы могут быть спорными, обсуждение их поможет безусловно найти правильное решение.

### **Основные требования к автономным измерениям гидрометеорологических элементов в море**

Прежде чем приступить к созданию прибора, нужно ясно представить, для каких целей будут проводиться наблюдения, что нужно измерять, с какой точностью, длительностью, каким периодом осреднения, какими методами целесообразнее осуществить передачу информации, в каком виде лучше представить результаты измерений.

Известно, что решение бесчисленного множества задач океанологических расчетов так или иначе связано с изучением энергетического взаимодействия между океаном и атмосферой и перераспределения энергии в океане. Для полной характеристики этих процессов необходимо вести, строго говоря, одновременные наблюдения над достаточно большим рядом элементов. Из комплекса метеорологических наблюдений сюда входят наблюдения над направлением и скоростью ветра, атмосферным давлением, температурой воздуха и поверхности моря, над влажностью, т. е. над составляющими радиационного баланса, облачностью, а также градиентные наблюдения в приповерхностном слое моря. Из комплекса гидрологических наблюдений входят наблюдения над направлением и скоростью течения на различных горизонтах, над температурой и соленостью воды, волнением, положением и интенсивностью слоя скачка, плотности, а также величинами, характеризующими турбулентный обмен (короткопериодные пульсации скорости течения, температуры и солености). Однако, рассмотрев природу этих явлений и возможные методы их измерения, можно сделать вывод, что наблюдения за некоторыми элементами можно и не производить. Ранее уже отмечалось, что данные наблюдений над элементами, изменение которых происходит в сравнительно небольшой промежуток времени (часы, сутки) и которые в одной точке достаточно обоснованы, можно отнести к большому району. Так, например, наблюдения за развитием и затуханием волнения в открытом море, пульсаций и т. д. целесообразнее производить с судов. Сюда же можно отнести измерения тех характеристик, представление об из-

менений которых лучше дают не данные измерений в точке, а вертикальное зондирование (положение и интенсивность слоя скачка, вертикальное распределение температуры и солёности в верхнем 200—300-метровом слое и т. д.), или те характеристики, которые в силу специфичности методов их измерений выгоднее изучать отдельно от других элементов либо с судна, либо со специально для этой цели созданной дрейфующей буйковой станции (градиентные наблюдения в приводном слое, составляющие радиационного баланса). Кроме того, о характере изменения ряда элементов в настоящее время более эффективно можно судить по данным наблюдений, полученным с помощью самолетов и искусственных спутников Земли (волнение, температура и течение на поверхности моря, облачность).

Таким образом, можно сказать, что в состав намеченного комплекса наблюдений с помощью автономных якорных буйковых станций следует включить наблюдения над скоростью и направлением ветра, атмосферным давлением, температурой поверхности воды, направлением и скоростью течения, температурой и солёностью на нескольких горизонтах, причем наблюдениями должны быть охвачены крупномасштабные изменения отмеченных характеристик (от нескольких часов до нескольких месяцев). Полученные данные измерений в сочетании с данными других методов измерений, о которых говорилось ранее, позволяют выявить достаточно полную картину развития и взаимодействия многих процессов, происходящих в океане.

Какая же должна быть точность этих наблюдений?

По-видимому, такая, которая предусматривается соответствующими инструкциями и наставлениями: определение направления ветра до румба, скорости ветра до 1 м/сек, температуры воздуха и температуры поверхности воды до 0,1°, атмосферного давления до 0,1 мм рт. ст., направления течения до 5°, скорости течения до 2 см/сек, температуры воды на глубинах до 0,2° и солёности воды на глубинах до 0,02‰. Известно, что существующие в настоящее время электрические методы позволяют измерять эти элементы со следующей точностью: атмосферное давление до 1 мм рт. ст., температуру воды до 0,1° и солёность до 0,1‰. Однако если принять, что наблюдения с автономных буйковых станций в основном должны охватывать крупномасштабные изменения, то эта точность является вполне приемлемой.

Другим важным следствием принятого основного назначения станций является характер самих измерений. Очевидно, измерения целесообразнее получать не в виде непрерывных записей, а в виде периодических дискретных измерений, интервал между которыми можно было бы менять в зависимости от поставленных задач, имея в виду, что основным фактором, лимитирующим длительность работы установки, является запас источников питания. Здесь существенное значение приобретает вопрос о необходимой дальности действия передающей радиостанции буя и о возможно-

сти ее работы по вызову. Решение этого вопроса тесно связано с использованием метода измерений при помощи автономной буйковой станции, который является наиболее перспективным. В данном случае целесообразно использовать одновременно несколько станций совместно с проводящим работы исследовательским судном, которое выполнит постановку этих станций, прием и обработку информации, поступающей со станции. При таком методе измерений вполне достаточный радиус действия 50—60 миль. Высота установленной антенны на буйковой станции не должна превышать 5—7 м, так как слишком длинная антенна вызывает целый ряд технических трудностей. В тех случаях, когда в связи с характером работ судно должно выйти за пределы радиуса действия, нужно иметь приставку для магнитной записи. По команде с судна сигналы от датчиков поступают не на передающую радиостанцию, а на приставку. По следующей команде пропущенные сроки наблюдений передаются с магнитной ленты по радиоканалу.

Для работы в труднодоступных же районах, например во льдах Арктики, следует устанавливать более мощную радиостанцию с длинной антенной, обеспечивая тем самым радиус действия 1500 км уже существующей дрейфующей автономной радиометеорологической станции.

Как известно, аппаратура автономной буйковой станции работает в довольно сложных условиях. Гидрологические датчики находятся в морской воде на большой глубине под большим давлением, надводная часть подвергается воздействию высокой влажности, штормовых волн. Учет влияния этих факторов обуславливает определенные трудности при конструировании приборов и определить влияние этих факторов — значит устранить существенную погрешность в результатах измерений. Опыт эксплуатации различных радиоэлектронных измерителей в море убедительно показал, что наиболее перспективной в морских условиях является частотная и частотно-импульсная система передачи информации. По-видимому, данные принципы являются наиболее приемлемыми и для автономной буйковой станции.

При конструировании автономной буйковой станции должны учитываться также различные варианты дальнейшего использования и хранения материалов наблюдений. С одной стороны, опыт подсказывает, что лучше всего, если данные измерений имеют вид кривых изменения элемента по времени. Широкие возможности в этом отношении открывает применение в качестве окончательных приборов однозаписных и многоточечных электронных самописцев типа ЭПП-09. При этом на одной ленте могут быть помещены кривые изменения нескольких элементов.

С другой стороны, необходимо, чтобы материалы наблюдений имели вид, удобный для обработки их на электронно-счетных машинах. В этом случае целесообразнее осуществить запись изменения наблюдаемых элементов отдельно, так как могут возникнуть решения различных задач. Вероятно, эти требования можно вы-

полнить, если установить окончательный прибор — регистратор-самописец с дискретной записью, а в качестве приставки к нему сделать устройство для получения перфокарт.

При автоматизации обработки результатов измерения должно быть учтено еще одно условие — линеаризация сигналов датчика. Дело в том, что связь между изменением величины и изменением ее сигнала-аналога не всегда может быть линейна (например, при измерении солености). Если при чтении записи такого сигнала это обстоятельство вызывает ряд неудобств, то при автоматизации обработки оно просто недопустимо. Очевидно, соответствующее устройство должно находиться на буйковой станции до выхода сигнала на радиоканал. При рассмотрении данного вопроса следует также учесть, что такелаж автономной буйковой станции для работы ее в условиях штормов средней силы и более должен быть достаточно надежным.

Опыт последнего времени показывает, в какой мере выполняются предъявленные требования.

### **Краткий обзор электрических методов измерения основных гидрометеорологических элементов**

Подробный обзор существующих электрических методов измерения гидрометеорологических элементов дан в специальных курсах и ряде статей. Поэтому в настоящей работе эти методы рассматриваются только с точки зрения возможности их использования при конструировании автономной буйковой станции. При этом, естественно, особый интерес представляют те методы, которые используются для измерения и передачи информации по радио. Наиболее разработанными в этом отношении являются методы измерений основных метеорологических элементов. Ознакомление с устройством и работой систем (станций), при помощи которых осуществляются эти методы, представляет большой интерес, хотя большинство этих систем применяется в береговых условиях. По способам передачи информации их можно разделить на две группы:

1. Системы, в которых чувствительные элементы датчиков с помощью рычагов управляют положением пера-контакта на поверхности кодового барабана. Барабан и перо играют роль ключа радиопередатчика. В зависимости от положения пера контакты замыкаются в определенной комбинации точек и тире. Как правило, большинство радиотелеметрических метеорологических станций работает по схеме кодово-импульсной манипуляции.

2. Системы, в которых измеряемые величины с помощью чувствительных элементов осуществляют модуляцию электрического сигнала по амплитуде (АМ), частоте (ЧМ), частоте следования импульсов (ЧИМ) или ширине импульсов (ШИМ). Пояснения и принципиальные схемы этих систем приведены в специальной ли-

температуре, поэтому нет надобности подробно на этом останавливаться. Отметим только, что в данном случае чувствительные элементы так или иначе действуют на органы настройки звуковых, ультразвуковых или импульсных генераторов.

К системам первой группы относится дрейфующая автономная радиометеорологическая станция (ДАРМС) конструкции Ю. К. Алексеева [12]. Устройство ее рассмотрим подробно.

Установленная на льду, станция предназначена для систематического изучения дрейфа льдов и морских течений в Арктическом бассейне и для дистанционных измерений скорости и направления ветра, температуры воздуха и атмосферного давления. Она работает автоматически и выполняет наблюдения в течение 10—12 месяцев, включаясь один раз в сутки. Местоположение станции, а следовательно и дрейф ледяных полей, определяется с помощью приема радиосигналов береговыми пеленгующими станциями. Ниже приведены пределы измерения элементов:

	От	До
Температура воздуха, °С . . . . .	+35	—55
Атмосферное давление, мб . . . . .	960	1050
Скорость ветра, м/сек . . . . .	1,5	25
Направление ветра, румбы . . . . .	1	16

Основные технические данные станции: вес 250 кг; снабжена двумя типами передатчиков РП-4 и РП-7; высота антенны 12 м; питание от батарей З-СЛ-30 и БАС-Г-60.

Управление работой передатчика и передача сигналов, присвоенных данной станции, осуществляются с помощью кодового механизма. Станция снабжена вызывающим устройством, которое дает возможность включать ее в действие путем посылки специальных радиосигналов с борта летящего самолета, корабля или береговой станции. Разработано несколько вариантов таких устройств («Вызов-1», «Вахтер-1»). На рис. 1 дана схема метеоблока станции. Измерение скорости ветра осуществляется с помощью динамического анемометра 1 (пластина с пружиной), который управляет положением стрелки 2 на кодовом барабане 6, температура определяется биметаллическим термометром 3, атмосферное давление — барометром с биметаллическим термокомпенсатором 4, направление — одним из 16 контактов 5, замыкающих магнитную стрелку.

Кроме ДАРМС конструкции Алексеева, существует ряд других электрических измерителей метеорологических элементов, в которых в том или ином виде используется «ключ», замыкающий и размыкающий цепь передатчика. В фотоэлектрических радиотелеметрических станциях с кодовой-импульсной манипуляцией кодовый барабан представляет собой фотоэлемент (или фотоспротивление) с вращающимся оптическим экраном, имеющим систему вы-

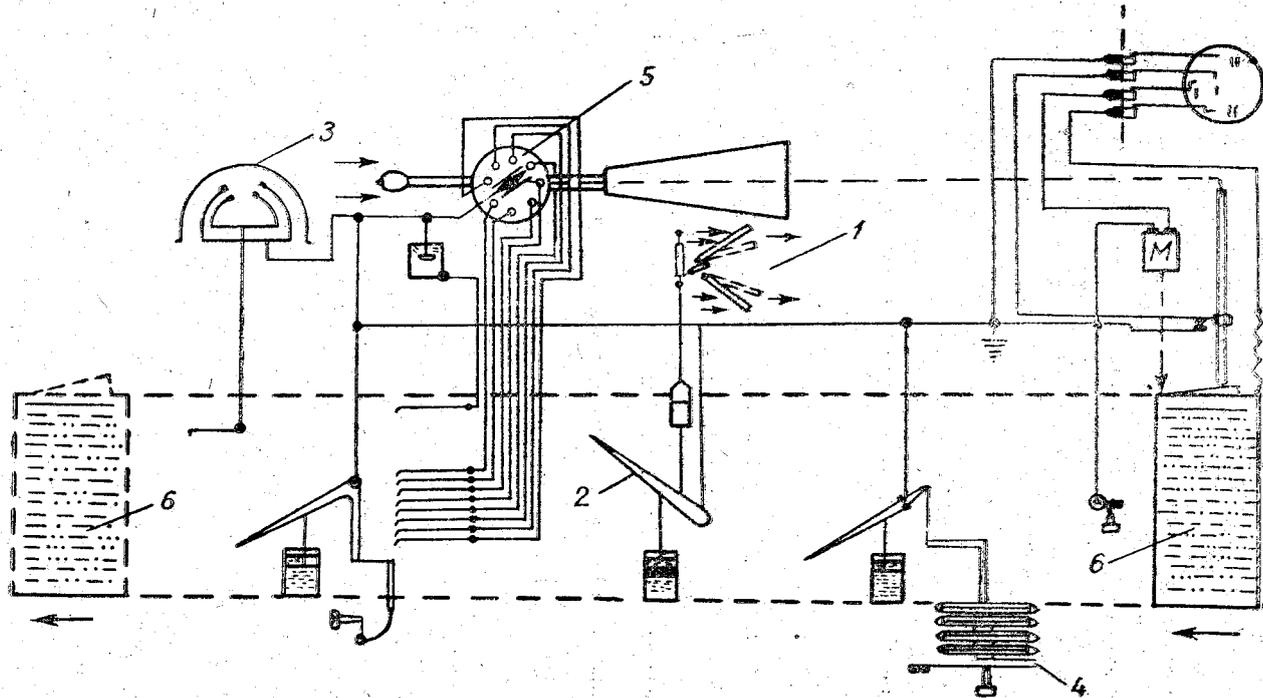


Рис. 1. Схема метеоблока станции ДАРМС.

Здесь и в рис. 2—6, 8—15 объяснения в тексте.

резов двух различных размеров (точки и тире). Механический ключ в этом случае заменен фотоэлектрическим. По существу, на принципе «ключа» основано устройство подавляющего большинства телеанемометров и некоторых измерителей скорости течения, в частности английская радиовертушка Робертса [8]. На рис. 2, а представлен фотоэлектрический анемометр с электронной пересчетной схемой. С ротором анемометра связан диск, имеющий прорезь, которая один раз за период полного оборота открывает для свето-

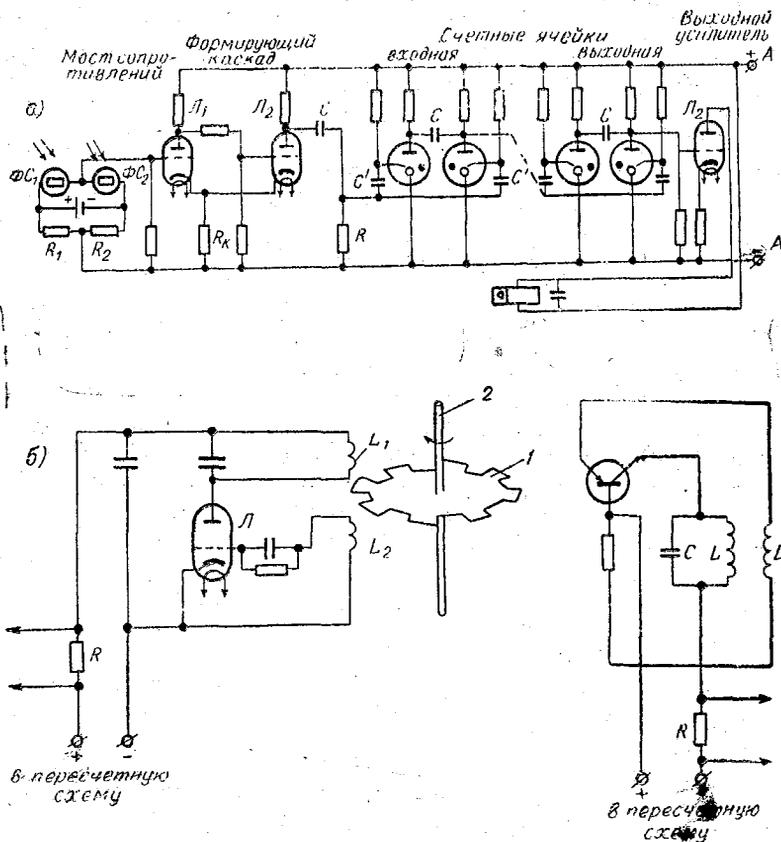


Рис. 2. Схемы фотоэлектрического анемометра (а) и анемометра с высокочастотным генератором (б).

вого потока фотосопротивление  $\Phi C_1$ . Импульс тока, возникающий в этом случае в измерительной диагонали моста сопротивлений, пройдя формирующий каскад, поступает на счетные ячейки. Эта схема также может осуществлять осреднение показаний анемометра за выбранный промежуток времени. На рис. 2, б показана принципиальная схема анемометра с высокочастотным генератором. Алюминиевый диск  $1$  с зубцами жестко связанными с рото-

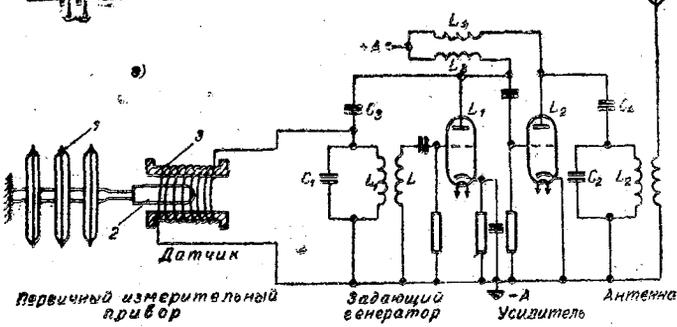
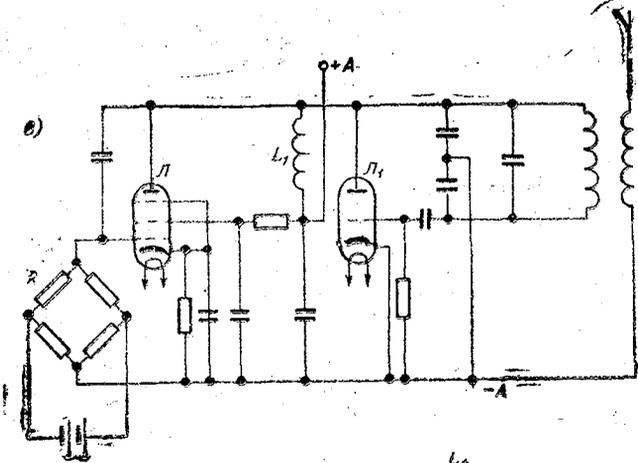
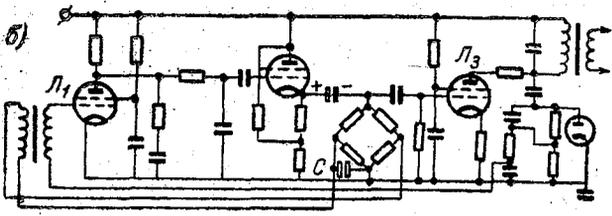
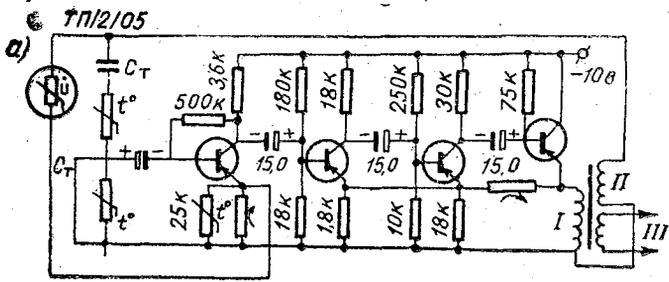
ром анемометра, дискретно меняет индуктивную связь между контурами. При входе в пространство между катушками зубцы экраняют их друг от друга, вызывая прекращение генерации. Появляющиеся при этом сигналы также могут поступать на пересчетную схему (рис. 2, б).

Наиболее современные электрические приборы для измерения гидрологических элементов в большинстве случаев относятся к системам второй группы, когда передача информации осуществляется по кабелю, радио или акустическому каналу модулированным сигналом. Устройства гидрологических и метеорологических приборов, относящихся ко второй группе систем, удобнее рассмотреть по методам измерения отдельных гидрометеорологических элементов. Однако вначале следует задержаться на наиболее интересных схемах генераторов, разработанных и применяемых в гидрометеорологическом приборостроении.

На рис. 3, а приводится схема  $RC$ -генератора, разработанного в Институте океанологии АН СССР в 1959 г. Органом настройки прибора является частотно-зависимый делитель напряжения, состоящий из последовательной и параллельной комбинации одинаковых емкостей и сопротивлений. Управление частотой генерации можно осуществлять как изменением сопротивлений, так и изменением емкостей. Приведенная схема применялась для измерения температуры воды в диапазоне от 0 до 25°C, частота при этом изменялась от 235 до 450 гц [3]. На рис. 3 б представлена принципиальная схема  $RC$ -генератора с фазовым сдвигом конструкции Хамона. Чувствительным элементом здесь является одно из плеч мостовой схемы. Генератор применялся для измерения температуры, солености и глубины.

Аналогичные схемы с частотной модуляцией сигнала применяются и в метеорологическом приборостроении. В принципиальной схеме телерадиотермометра с ЧМ для измерения температуры воздуха (рис. 3, в) сигнал разбаланса с моста поступает на управляющую сетку лампы  $L$ , меняет ее реактивное сопротивление и, следовательно, собственную частоту выходного контура передатчика, работающего на лампе  $L$ . Чувствительный элемент 1 телерадиобарометра (рис. 3, г) меняет положение сердечника 2 и тем самым индуктивность катушки 3. Катушка шунтирует колебательный контур  $L_1C_1$  и, таким образом, изменение ее индуктивности меняет собственную частоту контура.

Достижения импульсной техники позволили шире применять ее и в гидрометеорологическом приборостроении. Частотно-импульсная и широтно-импульсная система передачи информации является наиболее помехоустойчивой. Кроме того, она позволяет сравнительно просто применять на приеме уже разработанные блоки для записи результатов наблюдений в двоичной системе на перфокартах. Одним из достоинств этой системы является то, что большинство импульсных генераторов могут работать в ключевом режиме, позволяя уменьшить расход питания. На рис. 4, а представ-



А63 272

Рис. 3. Схемы RC-генератора (а); генератора с фазовым сдвигом (б); телерадиотермометра с ЧМ (v) и телерадиобарометра (z).

ВНЕМОТЕЛ

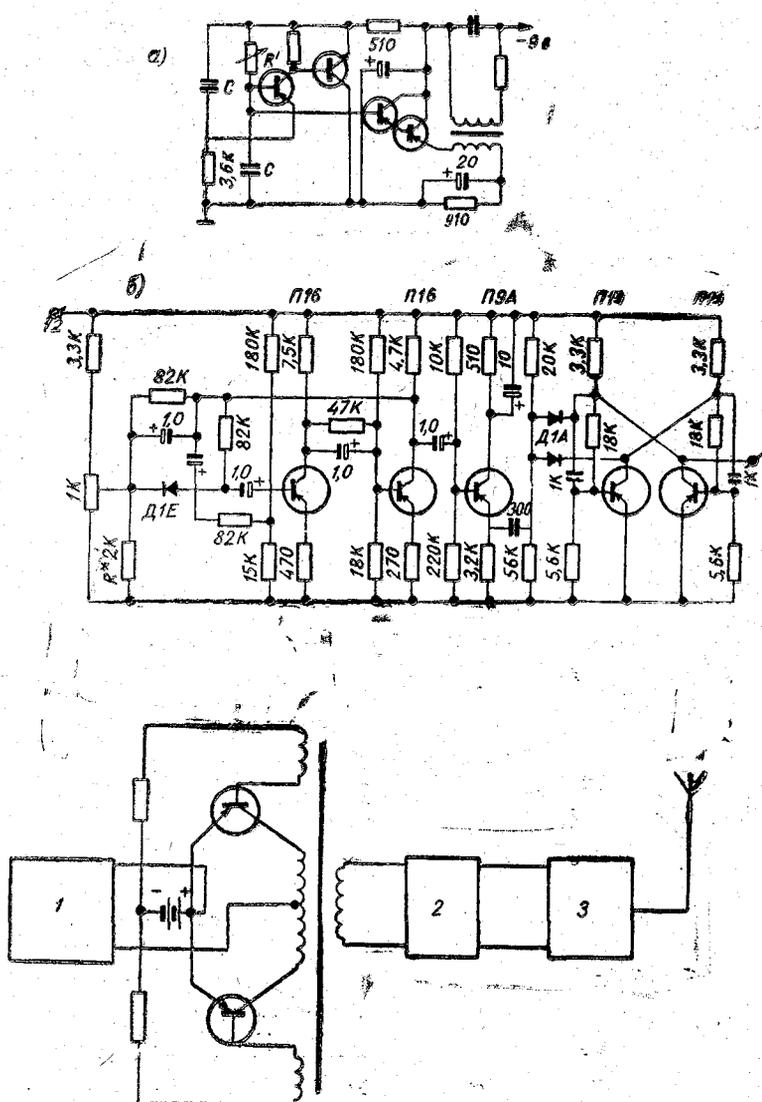


Рис. 4: Схемы импульсного генератора повышенной стабильности (а); датчика глубины (б) и системы частотно-импульсной манипуляции (в).

1 — датчик; 2 — усилитель; 3 — модулятор.

лена схема импульсного генератора повышенной стабильности, разработанного в Институте океанологии АН СССР [3]. Органом настройки является сопротивление  $R'$ , на выходе — узкие прямоугольные импульсы, частота следования которых является функцией указанного сопротивления. Генератор предназначен для частотного термографа, буксируемого кораблем на кабеле-тросе длиной более 1 км. Отношение высшей частоты к низшей равно 20. Изменение напряжения питания на 20% вызывает уход частоты до 0,25%. На рис. 4, б приведена схема генератора, в которой датчик предназначен для измерения глубины. Подробно эта схема дана в работе [9]. Особенностью генератора является управление частотой генерирования с помощью внутреннего сопротивления диода Д1Е. При понижении напряжения питания до уровня 0,7 в происходит уход частоты до 0,3%. Диапазон частот генератора при сопротивлении датчика 760 ом лежит в пределах 34—640 гц.

Другим примером устройства радиотелеметрической системы с частотно- или широтно-импульсной манипуляцией может быть генератор (рис. 4, в), представляющий собой мультивибратор, собранный на двух полупроводниковых триодах и трансформаторе из ферромагнитного материала с прямоугольной петлей гистерезиса. Период его колебаний определяется временем перемагничивания сердечника и практически линейно зависит от величины тока, поступающего в первичную трансформаторную обмотку от датчика. Если в коллекторную цепь включить два датчика сопротивления, то появится возможность менять длительность положительного и отрицательного полупериодов колебания независимо друг от друга, а следовательно, и осуществить передачу двух независимых функций одновременно. Эта схема проста и эффективна, но требует стабильных источников питания.

Таким образом, во всех рассмотренных схемах генераторов органами настройки могут быть омические или емкостные чувствительные элементы. В некоторых генераторах (рис. 3, б, в; 4, в) допускается использование сигнала разбаланса мостовых схем. Хотя при описании генераторов отмечалось, для каких измерений элементов они созданы, однако о самих методах измерений отдельных элементов следует сказать подробнее.

1. Измерения атмосферного давления. Для этой цели обычно применяются деформационные чувствительные элементы. Известно, что индукционный датчик давления (рис. 3, г) является чувствительным элементом, который также может менять емкость конденсатора. На рис. 5 представлены различные варианты такого решения вопроса. Особо интересен вариант б. В данном случае имеются два конденсатора (с пластинами 1, 2 и 2, 3). При деформации чувствительного элемента увеличение емкости одного из них приводит к уменьшению емкости другого. Если их включить в смежные плечи мостовой измерительной схемы, то чувствительность значительно повысится.

2. Измерения воздушных и водных потоков. Здесь наиболее распространенным типом датчика в схемах является ротоанемометр и вертушка. Схема одного из анемометров представлена на рис. 2, а. Несмотря на простоту и широкое распростране-

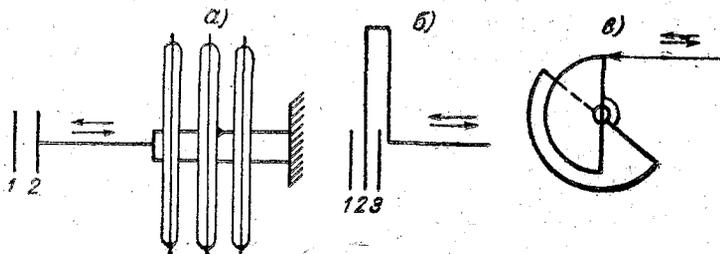


Рис. 5. Системы с деформационными чувствительными элементами.

ние датчики в этих схемах имеют и ряд недостатков. Наличие трущихся частей ограничивает начальную скорость прибора и его чувствительность, что особенно сказывается при измерении слабых глубинных течений. Это обуславливает их быстрый износ и изменение тарировочных характеристик. Загрязнение датчиков влекомыми наносами, водорослями, обрастание организмами также ведут к нарушению тарировки, а иногда и к полной остановке турбинки. Чтобы ликвидировать отмеченные недостатки, появилась необходимость создания приборов для измерения скорости ветра и течения и их пульсаций, основанных на иных принципах. К ним, в первую очередь, следует отнести большую группу термоэлектрических анемометров и измерителей пульсаций скорости течения. Достаточно широко в настоящее время применяется и электромагнитный метод, основанный на законах электромагнитной индукции, а вернее, на возникновении тока в проводнике—воде при ее движении в магнитном поле. При этом, в одних случаях используется естественное магнитное поле Земли, в других—искусственное переменное магнитное поле. Последнее обстоятельство учтено при создании электромагнитного измерителя вектора скорости ЭМК-1 (в табл. 1 приведены его основные технические данные). Приборы для измерения пульсаций могут быть снабжены интегрирующей приставкой.

Весьма перспективным для измерения скорости течения представляется акустический метод, основанный на эффекте Доплера. Два излучателя акустических импульсов и два приемника (или один излучатель и один приемник, но автоматически меняющиеся местами) устанавливаются вдоль потока и проводится сравнение фаз сигналов, направленных по потоку и против потока. Действительно, если период прохождения импульса по потоку равен

$$T_1 = \frac{l}{c_0 + v}, \quad (1)$$

а против потока

$$T_2 = \frac{l}{c_0 - v}, \quad (2)$$

т. е.

$$T_1 - T_2 = \frac{2lv}{c_0^2 - v^2}. \quad (3)$$

В этих выражениях  $l$  — расстояние между излучателем и приемником;  $v$  — скорость потока;  $c_0$  — скорость звука в среде.

Как видно, в выражения (1), (2) и (3) входит величина  $c_0$ , являющаяся непостоянной. Иначе будет, если сравнить разность частот серий импульсов, направленных по потоку и против потока. В этом случае

$$F_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{c_0 + v}{l}, \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{c_0 - v}{l}, \quad (5)$$

следовательно,

$$F_1 - F_2 = \frac{2v}{l}, \quad (6)$$

т. е. разность частот однозначно связана со скоростью потока.

На рис. 6 представлена принципиальная блок-схема рассматриваемого измерителя течения. Генератор опорных импульсов че-

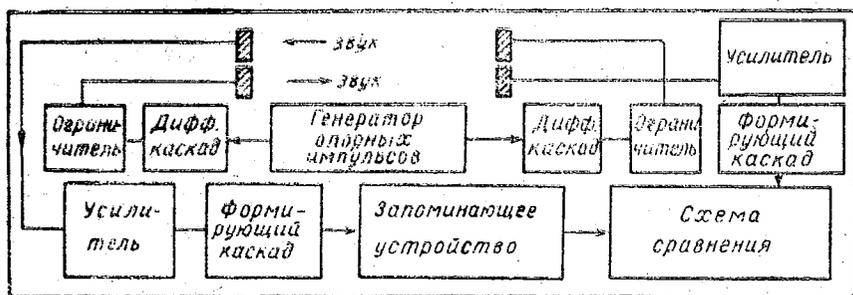


Рис. 6. Блок-схема акустического измерителя скорости течения.

рез коммутирующее устройство посылает серию импульсов по потоку и против потока. Импульсы, направленные по потоку, пройдя соответствующие формирующие каскады, поступают на запоминающее устройство, представляющее собой генератор, самона-

страивающийся на частоту импульсов, и далее на схему сравнения. Импульсы, направленные против потока, также через формирующие каскады поступают на эту же схему сравнения. Сигнал на выходе этой схемы является аналогом разности частот.

Одним из акустических измерителей течения является автономный самописец Мидлтона, принцип действия которого основан на измерении разности фаз сигналов по потоку и против потока [15]. Основные технические данные прибора даны в табл. 1.

3. Измерение направления воздушных и водных потоков. Большая часть электрических измерителей, применяемых для определения направления и скорости воздушных и водных потоков, относится к приборам первой группы, принятой в начале данной статьи. Там же в качестве примера на рис. 1 приведена схема устройства измерителя направления ветра (ДАРМС), из которой следует, что в дистанционных метеорологических станциях для передачи направления ветра чаще всего применяются различные варианты автосинхронизирующихся устройств (автосины, магнесины, телегоны). С помощью этих систем осуществляется передача направления ветра на переменном и постоянном токе с круговой шкалой. Однако для передачи информации по радио они неудобны и поэтому здесь не рассматриваются. Ниже, в разделе, посвященном предлоложенной конструкции автономной буйковой станции, приводится схема датчика направления, который может быть использован либо в мостовой схеме, либо в качестве органа настройки генератора.

4. Измерения солености морской воды. Известно, что принцип действия всех электрических солемеров основан на зависимости электропроводности морской воды от ее солености. Основная трудность метода заключается в том, что измеряемая величина зависит не только от солености, но и от температуры воды. В приборах, предназначенных для определений в лабораторных условиях, обеспечивается надежное термостатирование проб. В этом случае электропроводность однозначно связана с соленостью. При измерениях, проводимых непосредственно в море с борта судна, создается довольно сложное положение, когда поступают следующим образом:

1) применяется электрическая схема термокомпенсаций, когда в измерительную цепь включается элемент, зависимость сопротивления которого от температуры симметрична аналогичной зависимости для электропроводности;

2) определяются отдельно электропроводность и температура, и вычисляется соленость по формулам, связывающим эти величины.

Так как температурная компенсация одним элементом во всем диапазоне солености с достаточной степенью точности не может быть обеспечена, как сказано в работах [2], [5], то это может быть достигнуто, если принятый диапазон уменьшить, разделив его примерно на 6—8 частей (рис. 7, а).

На рис. 7, б дана схема солемера Джекобсена [13]. Известно, что зависимость электропроводности от температуры и солёности имеет вид сложного многочлена, в который последние две величины входят во второй и в третьей степени. Если эту зависимость аппроксимировать более простой формулой, куда данные величины войдут в виде произведения, то появится возможность рассчитать компен-

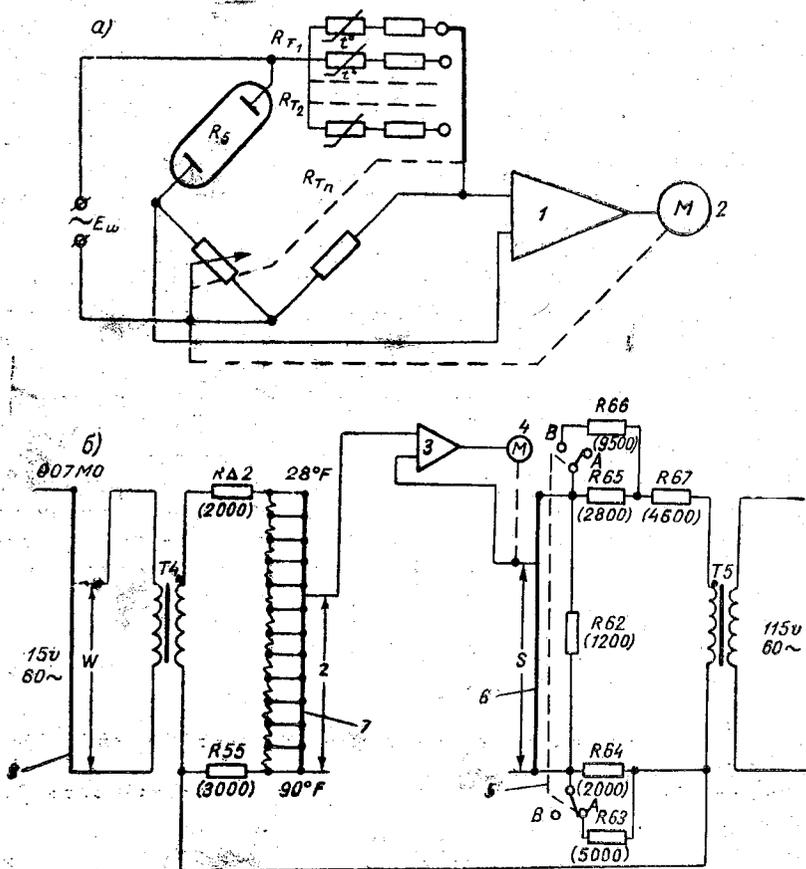


Рис. 7. Схемы электрического термокомпенсатора (а) и солемера Джекобсена (б).

1—усилитель напряжения; 2—двигатель; 3—усилитель; 4—вспомогательный мотор; 5—переключатель; 6—потенциометр R61 (10 000); 7—секционированный потенциометр R41 (10 000); 8—потенциометр R21 (1 000). Здесь и на рисунке цифры в скобках — приближенные величины сопротивлений. W—провод; z—температура; S—солёность; в солемере: положение переключателя А: диапазон солёности 20—32‰/00, 28—40‰/00.

сационную электрическую схему — аналог. Отношение солёности к электропроводности и температуре, входящее в основу принципа действия схемы солемера Джекобсена, выразится формулой

$$S = \left( \frac{100\,000}{25,661 + 0,73720T} - 348,87 \right) C^{1,0946}, \quad (7)$$

где  $T$  — температура в градусах Фаренгейта;  $C$  — удельная электропроводность,  $мо/см$ ;  $S$  — соленость, ‰.

В этом случае считается, что аппроксимация не дает ошибки более 0,2‰. По формуле (7) и была рассчитана схема счетно-решающего устройства (рис 7, б), которое по данным температуры и электропроводности автоматически показывает соленость.

Существенную роль в схеме солемера играет принцип устройства чувствительного элемента. Наиболее полно изучена работа таких конструкций, где в измерительной ячейке существует непосредственный контакт электродов, между которыми измеряется сопротивление морской воды (рис. 8, а). Эта система имеет существенный недостаток: загрязнение и изменение поверхности электродов значительно снижает точность работы прибора.

Бесконтактный принцип устройства чувствительного элемента находится в основе емкостного (рис. 8, б) и индуктивного (рис. 8, в) датчиков. Точность первого может быть довольно высокой, но требует применения ВЧ-генераторов. При работе же с токами высокой частоты, как правило, сильно сказывается влияние паразитной емкости конструкции. Поэтому емкостные датчики могут применяться только в стационарных лабораторных установках.

В общем случае индуктивный датчик состоит из двух трансформаторов с торридальными сердечниками, в которых вторичной обмоткой первого и первичной обмоткой второго является виток воды. Тогда ЭДС, наводимая во вторичной обмотке второго трансформатора, определяется соотношением

$$E_2 = \kappa \frac{\omega_2}{\omega_1} E_1, \quad (8)$$

где  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  — отношение числа витков;  $\kappa$  — коэффициент пропорциональности, величина которого и будет функцией электропроводности

$$\kappa = f(R_s). \quad (9)$$

Существенной проблемой телеизмерений в море является связь между датчиками, расположенными на глубине, и регистраторами или радиопередающими устройствами, находящимися на поверхности. По целому ряду причин для автономных буйковых станций кабельная связь не подходит. Но в настоящее время достаточно хорошо разработана система передачи информации при помощи акустических импульсов, которые воспринимаются гидрофоном надводного буя или судна и далее преобразуются в электрические сигналы. В частности, для рассматриваемых целей может быть с успехом использована аппаратура, предложенная Парамоновым [9].

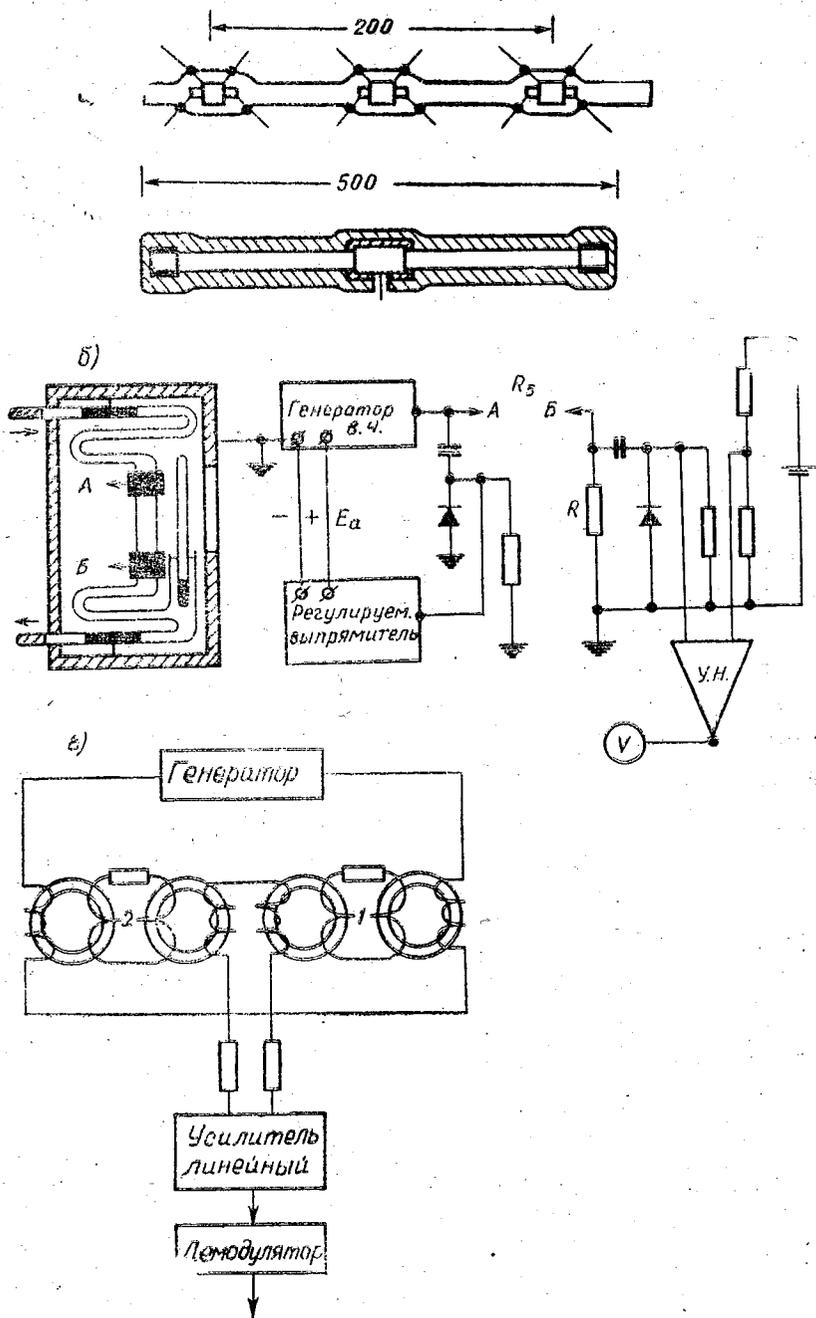


Рис. 8. Схемы измерительной ячейки с непосредственным контактом электродов (а); емкостного (б) и индуктивного (в) датчиков.

1—виток эталонной воды; 2—виток исследуемой воды.

С этой же точки зрения небезынтересен опыт использования еще одного прибора — сейсмоакустического радиобуя [7], разработанного в 1957—1958 гг. и предназначенного для приема по гидроканалу преломленных и отраженных от дна сейсмических, а также морских волн и передачи их на судно по радиоканалу. Буй снабжен программным часовым механизмом, обеспечивающим включение его в работу по заранее намеченному циклу, и вызывным устройством, включающим его по требованию с судна.

Специальные исследования оптимальных условий работы радиостанции сейсмоакустического радиобуя: выбор рабочего диапазона, частоты и мощности передатчика, изучение устройства антенны — показали, что данные этих исследований представляют интерес и могут быть широко использованы при разработке новой конструкции гидрометеорологического радиобуя.

Основные технические данные сейсмоакустического радиобуя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические данные приборов

Прибор	Основные технические данные	Единицы измерения	Величина
Электромагнитный измеритель вектора скорости ЭМК-1	Минимально регистрируемая скорость потока	<i>м/сек</i>	0,35
	Максимальная частота пульсаций скорости потока	<i>гц</i>	8
	Частота генератора	<i>гц</i>	16
	Вес датчика	<i>кг</i>	6
Акустический измеритель течения Мидлтона	Диапазон измерения скорости	<i>см/сек</i>	24—153
	Погрешности в измерениях скорости	<i>%</i>	От измеренной величины
	Автономность	<i>сутки</i>	8
	Частота измерений	<i>мин</i>	30
	Продолжительность регистрации	<i>мин</i>	1
Интервал между импульсами по течению и против течения (регистратором является осциллограф с фотоаппаратом)	<i>сек</i>	6	
Сейсмоакустический радиобуй	Полоса пропускания частот (гидрофона)	<i>гц</i>	5—1000
	Диапазон УКВ радиостанции	<i>мгц</i>	34—45
	Мощность передатчика	<i>вт</i>	2
	Продолжительность автономной непрерывной работы	<i>часы</i>	24
	Высота антенны	<i>м</i>	4
Дальность действия	<i>км</i>	30—50	

## Оборудование и методы постановок якорных автономных буйковых станций в море

Надежность и сохранность автономных буйковых станций во многом зависит от такелажа, методов постановки и подъема ее, а также от сигнальных устройств. В этом отношении полезно рассмотреть имеющийся большой опыт постановок измерителей течений, широко вошедший в практику океанографических исследований и довольно подробно обобщенный в работах [12, 14]. Опыт постановок измерителей течений показал, что в основном применяются две схемы (рис. 9) с притопленным поддерживающим бумом

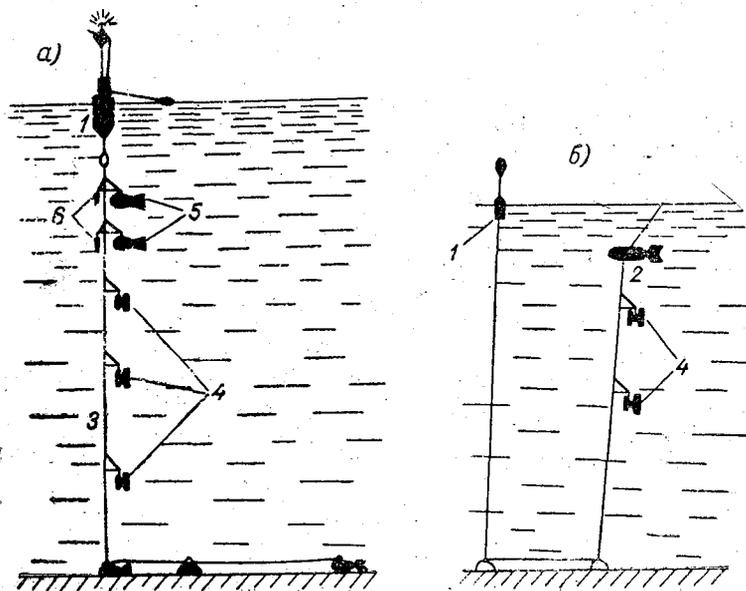


Рис. 9. Схемы постановок измерителей течений.

2 (до глубин 250 м) и с надводным 1 (более 250 м). В первом случае во время работы в районах с интенсивным движением судов или наличием дрейфующих льдов рекомендуется применять акустический размыкатель троса [4], [10], который позволяет «вызывать» поддерживающий или сигнальный буй на поверхность кодированным акустическим сигналом с судна. Во втором случае в целях сохранения приборов используется ступенчатый трос 3 наиболее тонкий у дна. В обоих случаях самописцы БПВ 4, «Океан», АФС 5, фототермограф 6 и др. подвешиваются на специальных кронштейнах.

В табл. 2 приведены данные о длине и диаметре тросов, весе якорей и величине притравок, наиболее часто применяемых для постановок надводных буйковых станций.

Параметры, необходимые для постановки надводных буйковых станций

Длина троса, м	Диаметр троса, мм	Глубина места постановки, м	Общий вес якорей, кг	Глубина постановки, м	Притравка к глубине, ‰
0—500	8,0	100—500	400—350	100—200	15—12
500—1500	6,5—6,2	500—3000	350—300	200—500	12—10
1500—3100	4,8	3000—5000	275—250	500—1200	10—9
3100	3,5—3,6	5000	275—175	1200—1600	8—7
				1600—5000	6—5

При постановке таких станций, как правило, применяют цилиндрические пенопластовые или металлические буи, на которых, или внутри которых, устанавливается аппаратура для обнаружения и поиска и дополнительные приспособления для подъема и постановки. Однако использование цилиндрических буйев связано с некоторыми неудобствами. Вращение вокруг вертикальной оси приводит к запутыванию дополнительных приспособлений, а иногда, несмотря на применение вертлюгов, к скручиванию и ослаблению тросов. Если это обстоятельство не будет учтено при постановках простых поддерживающих буйев, то в показаниях размещенной на них метеорологической аппаратуры может быть существенная ошибка. Более удобной в этом отношении является форма металлического буя радиовертушки Робертса. Этот буй, имеющий форму лодки, обычно под воздействием волнения и течения верхнего слоя устанавливается по направлению основного ветрового потока.

К средствам обнаружения и поиска относится радиолокационный отражатель, проблесковый огонь и радиостанция для пеленгации. Последняя устанавливается в том случае, если буй пассивен, т. е. не передает по радиоканалу никакой информации. Проблесковый огонь служит для предотвращения наваливания судов и для подхода к станции в ночных условиях, дальность видимости его редко превышает 3 мили. Но применение проблескового огня весьма нецелесообразно, потому что существующее устройство не всегда обеспечивает полную гарантию его работы. Кроме того, он может препятствовать работе судоводителей в том случае, если его период близок к периоду работы огней навигационных знаков. Кстати сказать, этот важный вопрос неоднократно обсуждался в международных организациях мореплавания.

Сказанное позволяет сделать вывод, что хотя создание комплексной автоматической буйковой станции является задачей весьма сложной, но вполне разрешимой уже в ближайшее время.

\* \* \*

Предлагаемый вариант конструкции автономной буйковой станции предназначен для наблюдений над скоростью и направлением ветра, температурой воздуха и температурой поверхности воды, атмосферным давлением (метеоэлементами). Наблюдения над скоростью и направлением течения, температурой и соленостью морской воды с помощью станций могут выполняться не менее чем на пяти горизонтах до глубины 1000 м и передаваться по радио по системе частотно-импульсной модуляции. Измерение всех характеристик производится поочередно с помощью опрашивающего устройства, осуществляющего последовательное автоматическое подключение датчиков к импульсному генератору, частота колебаний которого линейно связана с величиной сигнала-аналога измеряемого элемента. Частота включения прибора определяется в каждом конкретном случае и может меняться от одного цикла в час до одного цикла в месяц. Автономность станции — от 10 суток до 6—8 месяцев. Заданная точность измерений: направление ветра до румба; скорость ветра до 1 м/сек; температура воды и воздуха до 0,1°, соленость до 0,1 ‰; направление течения до 5°, скорость течения до 1 см/сек; атмосферное давление до 1 мм рт. ст. Продолжительность измерения каждого элемента 20 сек. В конструкции станции предусмотрена возможность перевода на магнитную запись с последующим воспроизведением по соответствующим командам с судна. На рис. 10, а дан общий вид станции, состоящей из следующих основных частей:

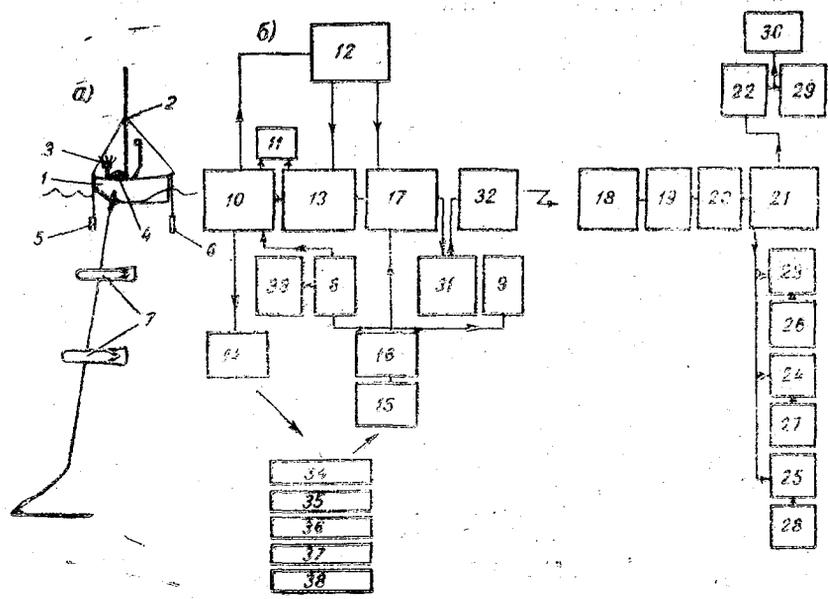


Рис. 10. Общий вид и блок-схема автономной буйковой станции.

1) поддерживающего металлического буя положительной плавучестью около 2000 кг с размещенными на нем антенной 1, метеомачтой с датчиками 2, сигнальным огнем 3, приспособлением для подъема и постановки станции 4, акустическим излучателем опрашивающего устройства 5, гидрофоном — приемником сигналов гидрологических приборов 6;

2) пяти каплевидных корпусов гидрологических станций, прикрепленных «в разрыв» троса на различных горизонтах (показано только два корпуса 7);

3) двухступенчатого троса с двумя якорями;

4) приемного устройства с приемником, усилительным и формирующим каскадами, дешифратора и регистрирующей аппаратуры.

Принцип работы блок-схемы подробно показан на рис. 10, б. Программное устройство 8 первым контактом подключает блок питания 33 к всей измерительной, промежуточной, передающей аппаратуре и вызывной радиостанции 9. Через две минуты следующим контактом включается опрашивающее устройство 10, и если не поступает команда с судна «запись», то выключается вызывная радиостанция. Каждая нечетная команда опрашивающего устройства подключает на вход передающей радиостанции стандартный сигнал 11, который служит для разделения информации от различных датчиков. Каждая четная команда отключает стандартный сигнал и подключает очередной датчик. Так, первый импульс опрашивающего устройства включает стандартный сигнал, второй подключает измерительную схему первого датчика метеостанции 12 к импульсному генератору 13, частота колебаний которого зависит от величины сигнала этой схемы. Третий импульс является очередным стандартным сигналом, четвертый — подключателем датчика следующего элемента и т. д. После «опроса» всех датчиков метеостанции очередным импульсом опрашивающего устройства включается генератор акустического вызова 14 гидрологических станций 34—38. После поступления информации от всех четырех датчиков первой гидрологической станции опять включается генератор акустического вызова и на него отвечает вторая станция и т. д. Отличие данной схемы от существующих заключается в том, что в данной схеме информация поступает от гидрологических станций уже в виде импульсов, частота следования которых является функцией измеряемых величин. Через гидрофон 15 и усилитель 16 импульсы поступают на формирующее устройство 17 и далее на радиостанцию. После прохождения радиоканала все сигналы поступают на приемник 18, усиливаются усилителем 19, проходят формирующий каскад 20 и попадают в дешифратор 21. Далее после прохождения через блоки счета скорости поступления импульсов 22—25 импульсы уже в виде сигналов постоянного тока, амплитуда которых зависит от измеряемой величины, попадают на регистраторы-самописцы 26—29 и устройство для записи на перфокарты 30 по отдельным элементам.

Если вызывная радиостанция приняла команду о переводе на запись, то путь прохождения информации несколько меняется. Этот сигнал подключает на выход формирующего устройства вместо передающей радиостанции приставку для магнитной записи. В таком положении схема будет находиться до тех пор, пока вновь не поступит точно такой же сигнал-команда. Последний включает систему магнитной записи 31, на которой осуществляется запись через передающую радиостанцию 32. После окончания работы системы 31 схема остается в первоначальном положении до поступления очередного сигнала.

Более подробное устройство отдельных блоков представлено на рис. 11, б, где дана блок-схема метеостанции. Как известно, большинство измерительных схем станции основано на принципах неуравновешенного моста, сигнал разбаланса которого управляет работой импульсного генератора. Описание такого устройства для измерения магнитного направления потоков в специальной литературе отсутствует. Поэтому в данной конструкции предлагается применить новый емкостный датчик для определения направления воздушных и водных потоков (рис. 11, а). Он представляет собой магнитный компас, помещенный в герметический корпус из немагнитного материала, заполненный маслом. Чувствительным элементом является плоский конденсатор с диэлектриком в виде кольца-картушки компаса, диэлектрическая проницаемость которого однозначно изменяется по его окружности. Пластины конденсатора жестко связаны с корпусом прибора и устанавливаются вместе с ним по потоку. Кольцо-картушка также жестко связано с магнитными стрелками и, следовательно, по отношению к магнитному меридиану неподвижно. Так как диэлектрическая проницаемость кольца на различных участках различна, емкость конденсатора однозначно связана с направлением потока.

Конструктивно кольцо состоит из двух пластин материала с одинаковой плотностью, но существенно различными диэлектрическими характеристиками (керамика—слода), из двух выточенных колец сечение которых равномерно изменяется по спирали. Магниты компаса устанавливаются так, чтобы направление на север совпадало со ступенькой на образующей ступеньке кольца, затем склеиваются. Полученная таким образом катушка компаса представляет собой цилиндрическое кольцо с равномерно распределенной массой, но переменным диэлектрическим заполнением. Датчик является плечом неуравновешенного моста. Сигнал разбаланса в измерительной диагонали после усиления и выпрямления поступает к импульсному генератору. Аналогично строится схема датчика атмосферного давления. Чувствительным элементом в этом случае является пара конденсаторов, собранных по схеме, представленной на рис. 5, б. Для измерения температуры воздуха и температуры воды применяется неуравновешенный мост постоянного тока с проволочными сопротивлениями — чувствительными элементами. Измерение скорости ветра осуществляется с помощью

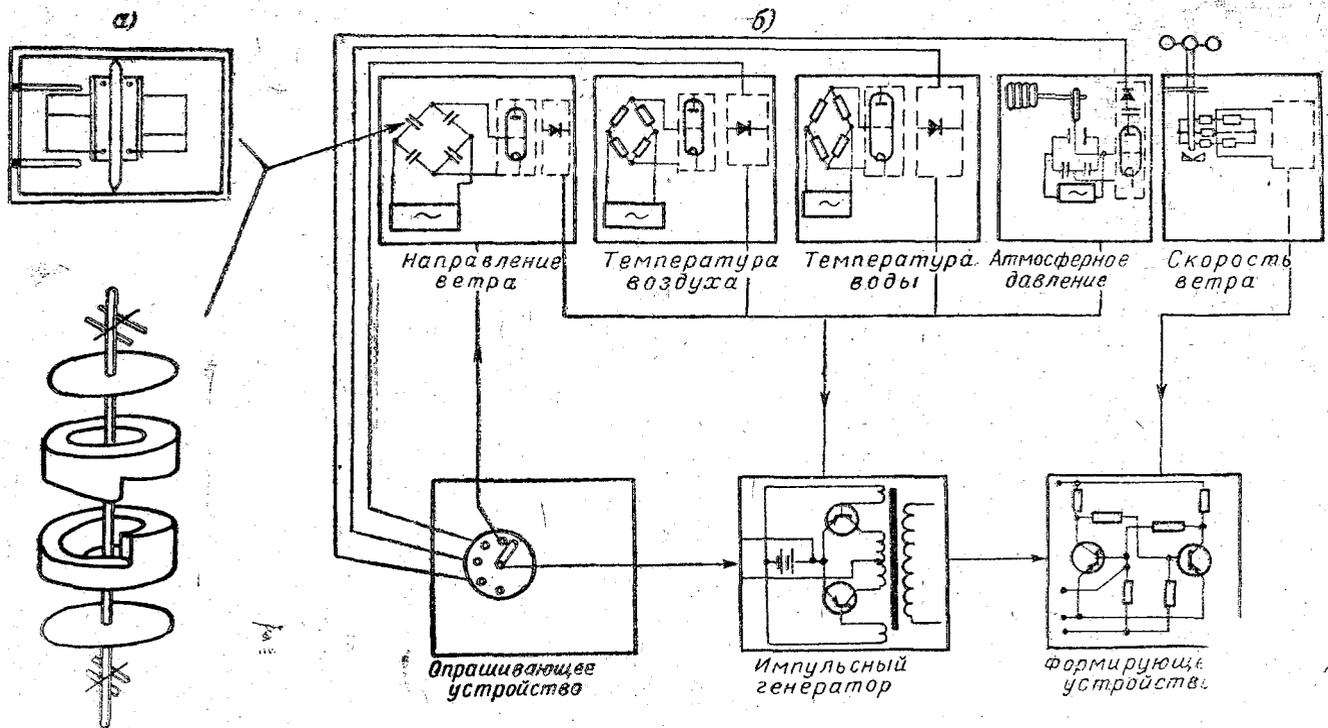


Рис. 11. Емкостный датчик для измерения направления воздушных и водных потоков (а) и блок-схема метеостанции (б).

фотоэлектрического анемометра (рис. 2 а), сигналы которого поступают непосредственно на формирующее устройство, минуя импульсный генератор.

Прежде чем говорить об устройстве всех узлов, следует рассмотреть принцип работы гидрологической станции и измерительных схем. На рис. 12, б приведена блок-схема гидрологической станции, состоящая из следующих основных узлов: программного механизма, блока приема акустического вызова, иначе говоря, ключа, опрашивающего устройства гидрологической станции, импульсного генератора, формирующего каскада, излучателя акустических импульсов, блоков измерения температуры и солености, акустического измерителя скорости течения, блока измерения направления течения. С помощью программного механизма осуществляется включение блока приема акустического вызова и питание всей аппаратуры станции. Все эти устройства остаются включенными до поступления акустического вызова от надводного буйа. Последний воспринимается блоком акустического вызова (ключом) и состоит из гидрофона, усилителя и счетных ячеек. Этот блок включает станцию в работу только после поступления определенного числа импульсов вызова. Так как соответствующее устройство надводного буйа каждый раз посылает одно и то же число сигналов, то последовательность в работе гидрологических станций обеспечивается тем, что каждая из пяти станций имеет различное количество счетных ячеек. Допустим, установлено, что первая станция включается после 10 импульсов, следующих с определенной частотой. За время работы на вызов надводный буй посылает несколько большее число импульсов, примерно 11—12. В этом случае после первого запроса включается только первая станция, а остальные «запоминают» эти 11—12 сигналов. Опрашивающее устройство гидрологической станции с последней командой выключает питание всей аппаратуры. Таким образом, первая станция уже не может «отозваться» на вторые 11—12 импульсов вызова, но зато включается вторая станция, для которой необходимое для этой цели число посылок равно 20. Для третьей станции это число равно уже 30 и т. д.

Опрашивающее устройство представляет собой обычное электронное реле времени на тиратроне, управляющее многопозиционным реле-шаговым искателем, производящим последовательное подключение измерительных схем к импульсному генератору. Для гидрологической станции период колебания релаксатора устанавливается несколько большим, чем для опрашивающего устройства надводного буйа (30 сек), для того, чтобы обеспечить перекрытие времени приема.

Импульсный генератор представляет собой мультивибратор, собранный на полупроводниковых триодах и трансформаторе с сердечником из ферромагнитного материала (рис. 4, в), частота колебаний которого зависит от величин сигнала измерительных схем. Излучатель и приемник акустических импульсов собраны по

схеме, разработанной Парамоновым. Схема датчика температуры аналогична схеме датчика, установленного на дрейфующих автономных радиометеорологических станциях (ДАРМС). Для измерения солености принята дифференциальная схема индуктивного датчика (см. рис. 8, в). Сопротивление левого плеча зависит от солености морской воды, правого — от известной солености нормальной воды в запаянной колбе. Сигнал разбаланса моста, вызванный разностью этих величин, поступает в усилитель, выпрямитель, затем на линейаризирующее устройство и далее на импульсный генератор. По такой схеме довольно трудно точно определить термокомпенсацию, так как колба с нормальной водой имеет температуру, близкую к температуре окружающей воды. Более точная термокомпенсация может быть определена термистором, включенным в цепь солемера. Линейаризация сигнала солености осуществляется с помощью лампы «варимю». Схема акустического измерителя скорости течения такая же, как и на рис. 6. Датчик направления течения собран по схеме емкостного датчика, схема которого аналогична схеме датчика, используемого для измерения направления ветра (рис. 11, а).

На рис. 12, а дана конструкция гидрологической станции. Корпус представляет собой толстостенную бронзовую трубу 1, разделенную на два отсека 2 и 3. В одном из них размещается измерительная аппаратура, в другом — блок питания. С обеих сторон труба закрывается толстыми крышками 4 и 5 на шести болтах. К крышке крепятся обтекатели 6 и 7. Нагрузка при подъеме станции направлена вдоль сквозной оси 8, вокруг которой корпус свободно вращается на подшипниках 9. На внешней стороне корпуса размещены: излучатель и приемник акустического измерителя скорости течения 10 и 11, датчики температуры и солености 12 и 13, излучатель системы передачи информации 14 и приемник акустического вызова 15.

Далее подробно остановимся на устройстве некоторых узлов гидрометеорологического радиобуя. Принцип работы программных механизмов надводного буя и гидрологических станций аналогичен принципу работы часов с электроподзаводом АЧП. Выполнение заданной программы надводного буя обеспечивается двумя управляющими дисками. Первый включает питание и через 2—3 мин. — опрашивающее устройство, второй — вызывную радиостанцию. Различные циклы работы определяются установкой сменных управляющих дисков.

Конструкцией гидрологической станции предусматривается применение двух типов передающей радиостанции. В первом случае, когда учитывается работа корабля совместно с работой радиостанции и кратковременные переходы на магнитную запись, очевидно, выгоднее всего использовать УКВ, диапазон которых будет от 30 до 70 мГц. В целях упрощения работы с несколькими станциями одновременно следует применять передатчики с кварцевой стабилизацией частоты, определенной для каждого буя. Во

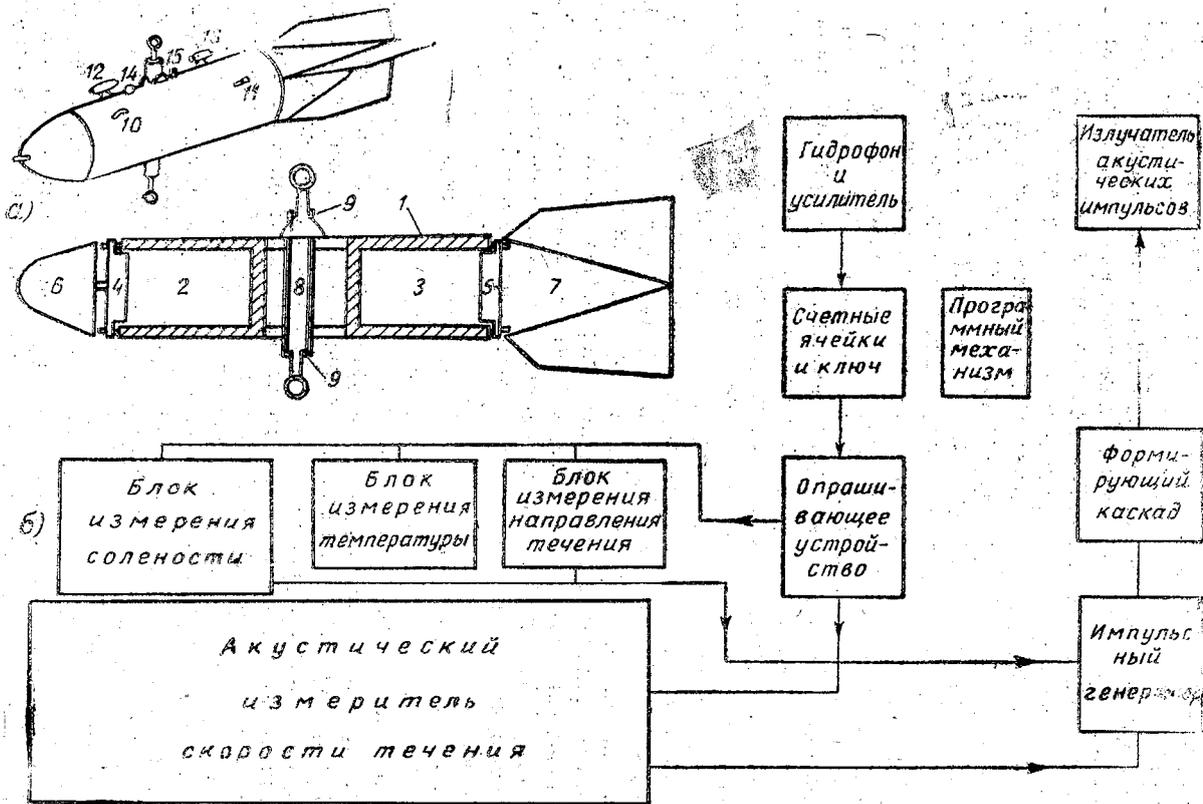


Рис. 12. Конструкция (а) и блок-схема (б) гидрологической станции.

втором случае должна предусматриваться возможность работы радиостанции со льда. В этих условиях отпадают столь жесткие требования к габаритам блока питания и устройству антенны, но существенно возрастают к дальности передачи и автономности. Здесь можно полностью позаимствовать опыт эксплуатации средневолновых передатчиков РП-4 и РП-7 ДАРМС. Вызывное устройство станции представляет собой радиостанцию 1 с резонансным реле, настроенную на фиксированную волну и реагирующую на радиосигналы, имеющие определенную частоту повторения. Устройство магнитной записи состоит из приставки, производящей эти записи, и автоматического переключателя (рис. 13). Первый сигнал — команда с судна — подключает на выход формирующего устройства приставку и происходит запись информации. После окончания цикла измерений последний импульс опрашивающего устройства выключает блок записи. Если за период между измерениями новой команды не поступит, то запись устройства. При переключении шагового искателя вызывного устройства включается перемотка ленты с барабана 4 на барабан 5 и загорается лампочка  $L_1$ . Между ней и фотоспротивлением  $\Phi C_1$  помещена намотанная на барабан лента. Однако в процессе перемотки наступает такой момент, когда луч от лампочки попадает на фотоспротивление. Импульс тока в мостовой схеме поступает на формирующее устройство, собранное по схеме реостатного триггера, на многопозиционное реле 3 автоматического переключателя работ 2. Реле срабатывает, выключает перемотку, затем включает воспроизведение, гасит лампу  $L_1$  и зажигает лампу  $L_2$ . В это же время стирается запись. После окончания воспроизведения (световой луч попадает на  $\Phi C_2$ ) многопозиционное реле 3 опять включает перемотку и зажигает лампу  $L_1$ . После срабатывания ее схемы выключается питание, и система магнитной записи готова повторить весь цикл по очередной команде с судна.

Далее рассмотрим работу приемной аппаратуры. Остановимся более подробно на дешифраторе и принципах разделения информации. Заранее определенная последовательность измерения всех элементов облегчает решение этого вопроса, однако необходимо, чтобы были жестко связаны первые точки, в противном случае может получиться «сдвиг». Эта задача решается с помощью трех различных по продолжительности групп посылок стандартного сигнала: 1) начало работ, передается в течение 60 сек; 2) смена датчиков, передается 20 сек; 3) смена гидрологических станций, происходит в течение 40 сек. Каждой команде соответствует определенное число импульсов.

Дешифратор состоит: из резонансного реле, реагирующего на сигналы определенной частоты; блока счета импульсов и двух шаговых искателей. Один из искателей управляет количеством счетных ячеек, подключаемых на выход резонансного реле, другой — распределением сигналов информации о различных элементах по своим регистраторам. После прихода первой команды (на-

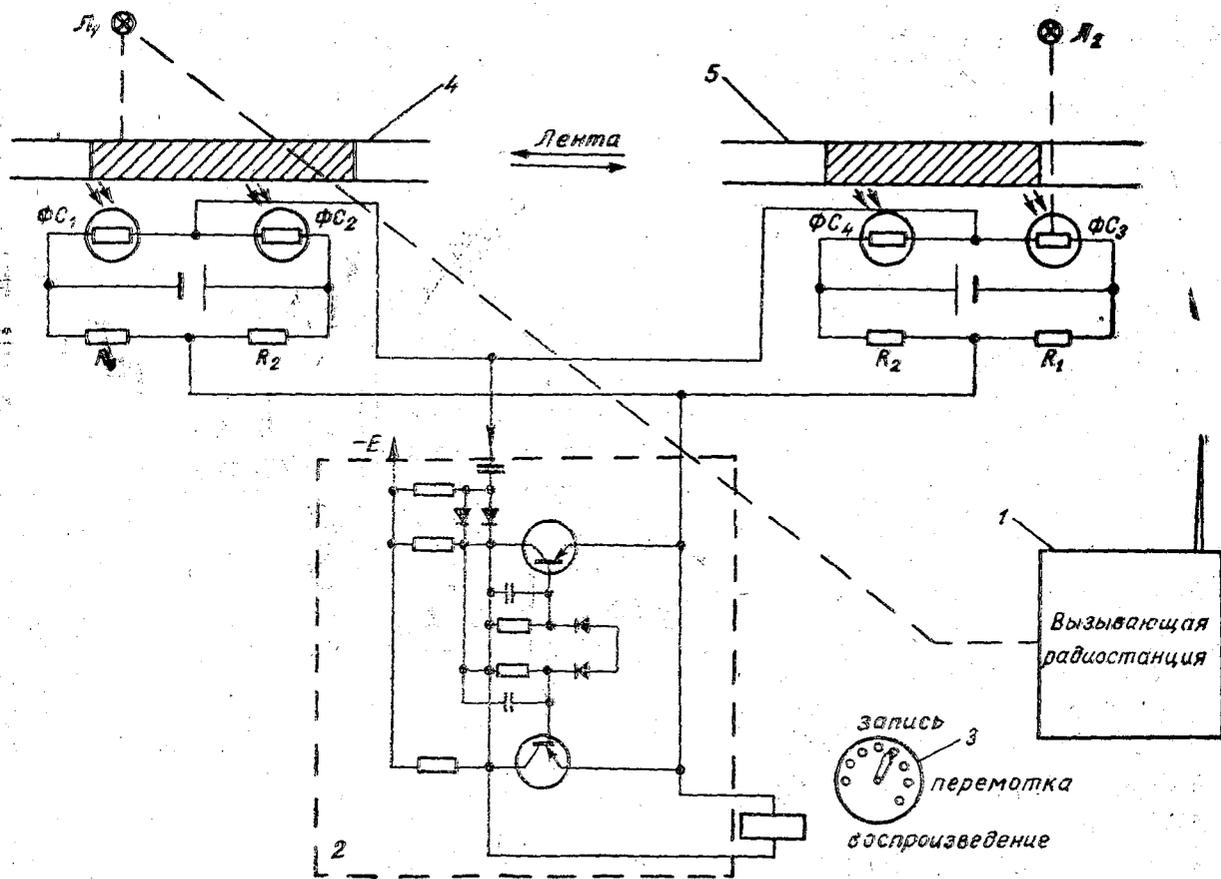


Рис. 13. Устройство магнитной записи.

чало работ) сигнал с пересчетной схемы поступает на оба искателя. Первый переключает схему для счета импульсов второй команды, второй подключает регистратор первого элемента.

Измерение скорости поступления импульсов происходит по схеме, широко применяемой для этих же целей в различных радиометрах. Здесь используется метод разряда накопительного конденсатора на сопротивление.

Методика постановок гидрологических станций в основном мало отличается от постановок обычных буйковых станций. Некоторые отличия заключаются в том, что гидрологические станции предлагается крепить не на кронштейнах, а «в разрыв» троса. Для этой цели рабочая часть троса (1000 м) должна состоять из отдельных смычек различной длины. На концах каждой из них заделаны по два разрезных звена. Такие же звенья укреплены на оси гидрологической станции и на конце толстого стопорного троса (рис. 14). Когда при постановке к борту подойдет место соединения смычек, между которыми нужно поставить станцию, барабан лебедки останавливается, к одному из звеньев нижней смычки крепится стопорный конец, закрепленный вторым концом на палубе.

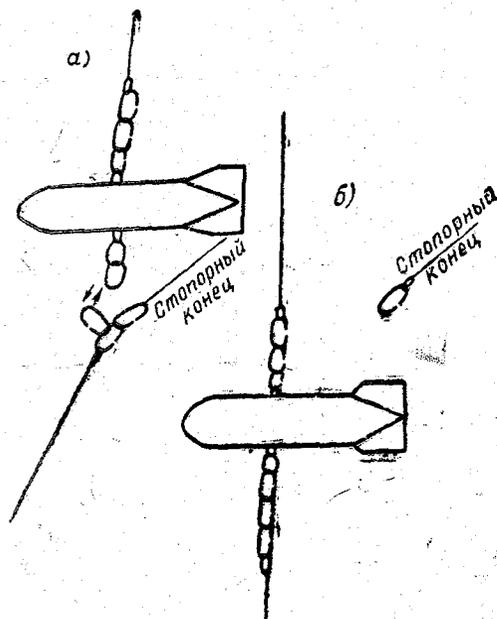


Рис. 14. Методика постановок гидрологических станций.

Далее, потравливая трос, всю нагрузку передают на стопорный конец. Верхнюю часть троса отсоединяют, крепят к ней гидрологическую станцию и подводят ее к месту соединения (рис. 14, а). Прикрепив прибор к нижней части троса, подтягивают его, сни-

мая тем самым нагрузку со стопорного конца, отсоединяют и опускают до подхода следующего места подвески (рис. 14, б).

На морях с ледовым режимом целесообразней применять два способа постановок гидрологических станций. Первый способ — с дрейфующих льдов в районах с большими глубинами (рис. 15, а). В этом случае станция становится также дрейфующей,

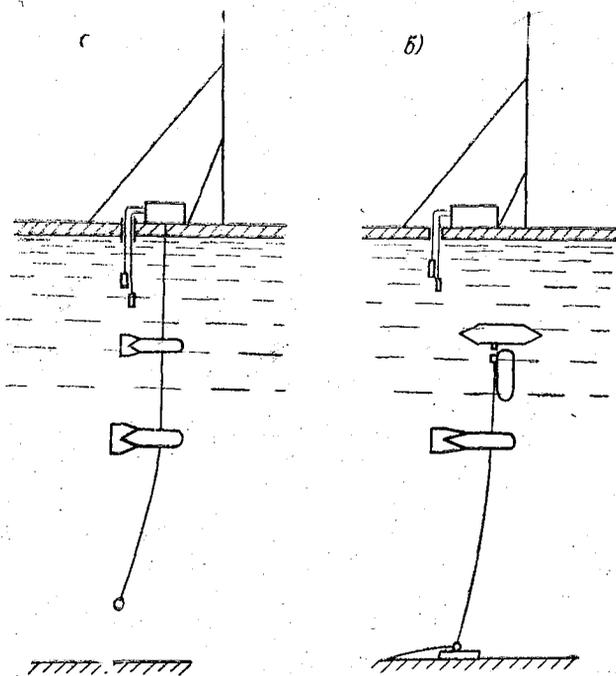


Рис. 15. Способ постановок гидрологических станций на морях с ледовым режимом.

и элементы течения могут быть определены методом различия (Макарова—Нансена). Собственные движения станции определяются по радиопеленгам, а при повышенных требованиях к точности наблюдений следует использовать радиодальномерные системы. Второй способ постановки станции рекомендуется при работах с неподвижным льдом и в районах с пересеченным рельефом. В этом случае учитывается, что опасно связывать вместе надводную и подводную части станции, так как при подвижках льда приборы, достигнув грунта, могут оборваться. На рис. 15, б показано, как производить раздельно постановку надводной и подводной частей станции. Последняя устанавливается на отдельном поддерживающем буйе с акустическим размыкателем троса. Обе части связаны между собой акустическим каналом, что при небольших подвижках не влияет на работу станции, и если все-

таки произойдет существенное смещение частей станций, то подъем можно осуществить в два приема: сначала надводной части со льда, а затем, после вскрытия льда, подводной части станции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В. А., Богданов К. Т., Ширей В. А. Методика гидрологических работ в открытом море. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 24, 1957.
2. Волков В. Г. Схемные и конструктивные особенности электросолемеров. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 35, 1959.
3. Волков В. Г. Частотные и частотно-импульсные датчики температуры и давления для телеметрических измерений в море. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 55, 1962.
4. Волков В. Г., Сосновский И. А. Помехоустойчивая система акустического вызова для притапливаемых буйковых станций. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 39, 1960.
5. Висневский А. А. Опыт применения электросолемера ЭС-57. Метеорология и гидрология, № 9, 1960.
6. Качурин Л. Г. Электрические измерения аэрофизических величин. Изд-во ЛГУ, 1962.
7. Лунарский Г. Н. Сейсмо-акустический радиобуй. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 55, 1962.
8. Масленникова Т. К. Новые приборы. Бюлл. Океанографической комиссии, т. 4, 1960.
9. Парамонов А. П. Использование принципов дискретного счета для передачи данных глубоководных измерений. Океанология, т. 1, вып. 4, 1961.
10. Сосновский И. А. Аппаратура для поиска автономных буйковых станций. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 47, 1961.
11. Чаплыгин Е. И. Руководство по наблюдениям над течениями на полярных станциях и обсерваториях. Изд-во «Морской транспорт», 1957.
12. Ширей В. А. Методика работ с якорными буйковыми станциями. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 55, 1962.
13. Джекобсен А. Прибор для непрерывной записи солености, температуры глубины. В сб. «Проблемы современной физики». Вып. 5 — Гидроакустика. М., 1954.
14. Мидлтон У. Акустический измеритель течения. Journal of Marine Research, v. 14, № 2, 1955.
15. Хинкельман Г. Прибор для быстрой регистрации в океанографии. Zs. für angew. Phys., Bd. 9, H. 10, 1957.

## АВТОНОМНЫЙ ТЕРМОГРАФ С ДИСКРЕТНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ

В практике океанографических исследований наряду с автономными регистраторами направления и скорости течения БПВ-2 все большее значение начинают приобретать автономные приборы для регистрации температуры. Однако применяющийся в настоящее время фототермограф ФТГ-64 обладает рядом существенных недостатков, основным из которых является фоторегистрация информации. При массовых наблюдениях это затрудняет оперативную обработку данных и исключает возможность непосредственного ввода информации в ЭВМ.

Более удобна для целей автоматической обработки данных магнитная запись, широко практикующаяся в различных устройствах автоматики [2, 3]. Этот принцип регистрации положен в основу автономного термографа «Сигнал», разработанного на кафедре методов океанологических исследований ЛГМИ.

Для записи информации используется широко распространенный ЧМ-способ с пространственно разделенной несущей. Подобный способ уже использовался в океанографической практике в автономном регистраторе скорости звука [1]. Сущность ЧМ-способа заключается в том, что запись производится синхронно на двух параллельных дорожках ленты: на одной дорожке записывается несущая (или опорная) частота, относительно которой впоследствии производится отсчет, на второй дорожке информационная частота, смещенная сигналом в ту или иную сторону относительно несущей.

ЧМ-способ дает возможность устранить влияние нестабильности скорости движения магнитной ленты типа «плавание», которая механическими средствами в автономных устройствах устраняется с большим трудом. Нестабильность типа «флаттер» при ЧМ-способе по-прежнему может исказить запись, хотя и в гораздо меньшей степени.

Еще одно преимущество ЧМ-способа заключается в возможности записи с переменной скоростью. Это особенно важно для авто-

номных устройств, так как упрощает кинематику записывающего блока.

В термографе «Сигнал» реализована система с динамической несущей, когда схемы измерительного генератора и генератора несущей идентичны. В этом случае корректируется влияние собственной нестабильности измерительных схем, снижая общую погрешность измерений. Такой способ выгодно отличается от использованного ранее [1], при котором несущая частота стабилизировалась кварцем. Кварцевая стабилизация несущей не только устраняет возможность коррекции, но и усложняет схему и, помимо того, не дает возможности оперативно управлять масштабом записи, согласуя его с масштабом дешифрирующей аппаратуры.

Кроме того, немаловажное значение в практике имеет соответствие выходной цифры и значения измеренного параметра. Например, гораздо удобнее при измерении температуры 30°C иметь после дешифрирования записи цифру 3000, чтобы не пользоваться переводными таблицами или коэффициентами. При использовании в цифровой дешифрирующей аппаратуре счетной схемы с базой в 1000 импульсов опорного сигнала такое соответствие в простейшем виде реализуется при следующем соотношении: несущая — 1 *кГц*, информационная — 3 *кГц*. Однако при тех малых скоростях движения магнитной ленты, которые имеют место в автономной аппаратуре (2—3 *см/сек*), частота 3 *кГц* записывается со значительными искажениями, и желательно верхним пределом иметь частоту не более 2,5 *кГц*. Соответствия выходной цифры и значения параметра можно добиться уменьшением несущей частоты. Подбором же характеристики измерительного тракта это соответствие осуществляется для всего диапазона измерений.

Применение в измерительном генераторе в качестве датчика температуры термистора, имеющего, как известно, экспоненциальную характеристику, динамической несущей дает возможность скорректировать влияние нелинейности. В этом случае в задающую цепь генератора несущей включается элемент тоже с экспоненциальной характеристикой и таким коэффициентом преобразования, чтобы отношение информационной частоты к несущей оставалось линейным во всем диапазоне в пределах заданной точности измерений.

Измерительный генератор и генератор несущей термографа имеют повышенную стабильность и выполнены на импульсных мостовых элементах. Связь между задающими каскадами и последующей схемой осуществляется через каскадные эмиттерные повторители для минимизации обратного влияния (рис. 1). Сигналы с эмиттерных повторителей подаются на модифицированные триггеры Шмидта, которые формируют импульсы ИМЭ в прямоугольные импульсы со скважностью 2. После усиления оба сигнала подаются на двухканальную универсальную головку «Яуза-10». Запись сигналов производится без подмагничивания.

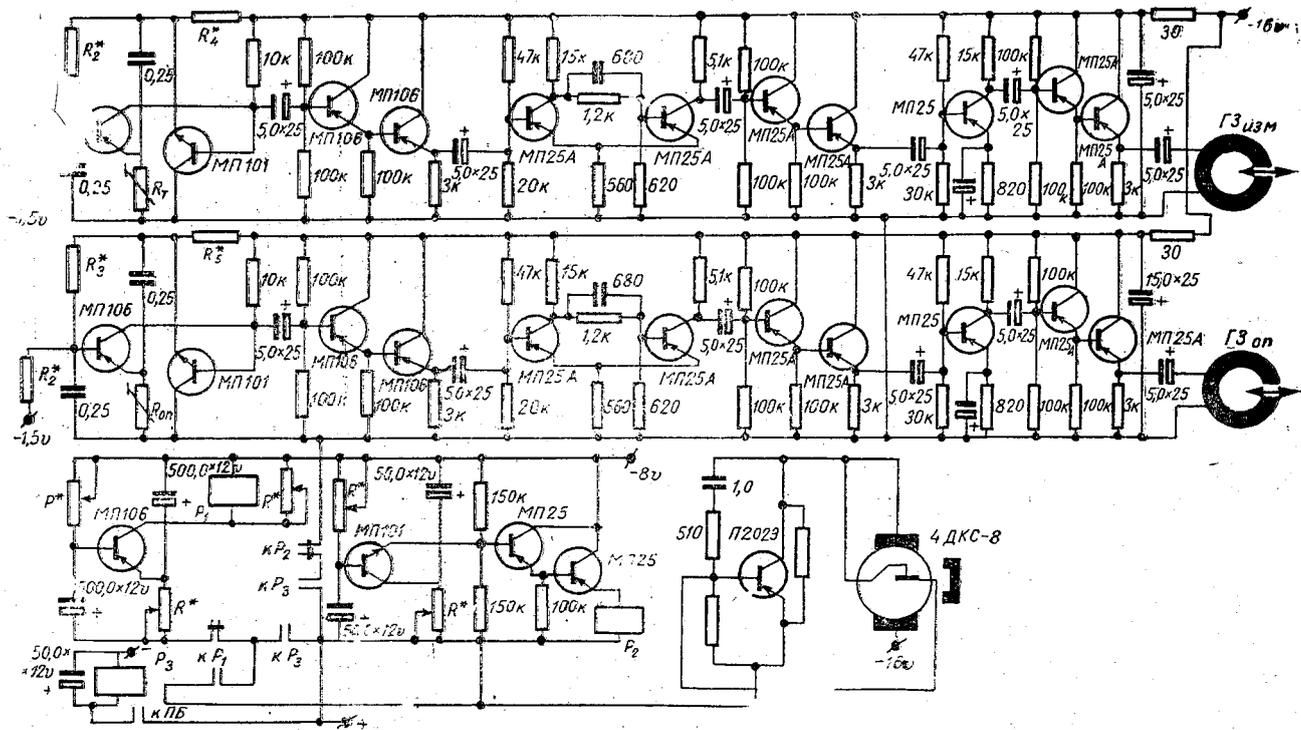


Рис. 1. Принципиальная схема термографа.

Кинематика блока записи в термографе значительно упрощена по сравнению с существующими схемами кинематики. Привод осуществляется от электродвигателя 4ДКС-8 с рекомендованным стабилизатором скорости вращения на транзисторе П201. От вала двигателя с помощью простой червячной передачи приводится в движение ведущая кассета. Таким образом, скорость движения ленты переменна, что, однако, при применяемом способе записи не сказывается на результате. Объем кассет рассчитан на 15 суток автономности при дискретности 30 мин. Запись информации и несущей производится короткими пакетами длительностью 2,5 сек. Пакеты разделяются «холостыми» промежутками длительностью в 1 сек.

В промежутках между записями питание от всех схем термографа отключено. При включении в режим измерения за 30 сек до начала записи подается питание на измерительные генераторы. После этого на 3,5 сек включается протяжка блока записи, и за 1 сек до окончания протяжки генераторы отключаются (рис. 2).

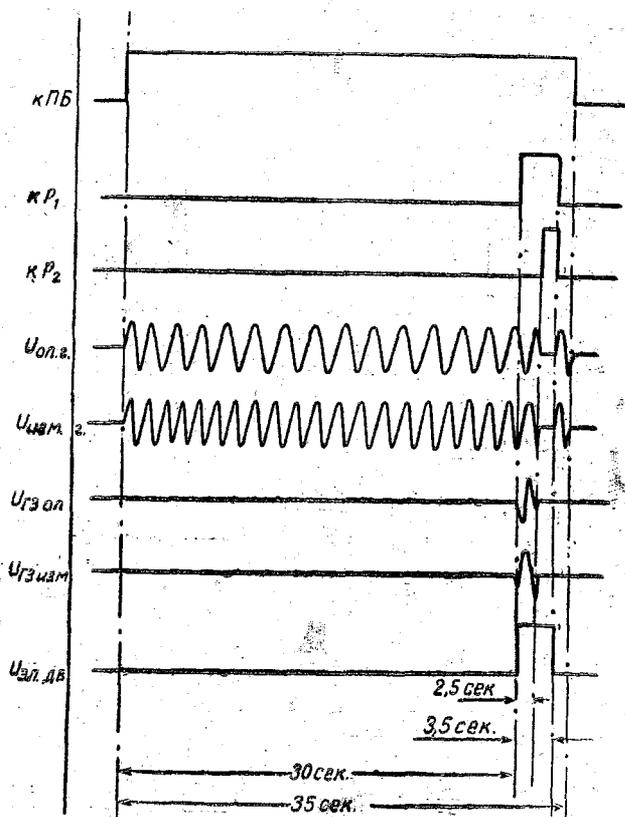


Рис. 2. Временные диаграммы термографа.

Включение термографа, формирование временных промежутков, необходимых для нормальной записи, осуществляется схемой управления — СУ (рис. 1).

Немаловажным требованием для СУ является сравнительно высокая стабильность узлов, формирующих промежутки 3,5 и 2,5 сек. Для снижения зависимости от питания узлы выполнены на импульсных мостовых элементах, использующих заряд конденсаторов моста до состояния баланса, а для уменьшения влияния внешних факторов, в основном температуры, нелинейным элементом, отмечающим равновесие моста, выбраны кремниевые транзисторы МП106 и МП101.

В целях экономии габаритов и энергии функции узлов формирования расширены. В каждом ИМЭ используются оба процесса: и заряд и разряд конденсаторов моста. В первом ИМЭ (транзистор МП 106) заряд конденсаторов формирует промежуток 30 сек, после чего транзистор в диагонали открывается и конденсаторы разряжаются через реле  $P_1$ , формируя промежуток 3,5 сек.

Реле  $P_1$  включает протяжку блока записи и одновременно подает питание на второй узел формирования на транзисторе МП101. Здесь заряд конденсаторов формирует 2,5 сек, после чего открывается транзистор и конденсаторы разряжаются на каскадный эмиттерный повторитель, включая реле  $P_2$ .

Во втором узле формирования умышленно не выполняется одно из основных требований ИМЭ — отключение моста от питания во время разряда конденсаторов. Это дает возможность так настроить узел, чтобы после 2,5 сек реле  $P_2$  оставалось включенным вплоть до окончания промежутка 3,5 сек. Таким образом исключается возможность ложной записи даже при отклонениях СУ от режима, так как нормально замкнутые контакты реле  $P_2$  разрывают цепь питания измерительного тракта.

Общее включение и выключение термографа с заданной дискретностью осуществляется с помощью программного часового механизма с электроподзагодом. На циферблате механизма через каждые 10 мин установлены контакты, которые могут коммутироваться переключателем для установления нужной дискретности.

Питание всех узлов прибора осуществляется от сухих элементов типа «Сатурн».

Технические параметры прибора: автономность — до 15 суток при дискретности 30 мин; глубина постановки — до 500 м; диапазон регистрируемых температур —  $8 \pm 28^\circ\text{C}$ ; точность регистрации — не хуже  $0,02^\circ\text{C}$ ; дискретность регистрации — 10, 20, 30 и 60 мин.

Прибор «Сигнал» был изготовлен в ЛГМИ и испытан в полевых условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В. И., Бабий В. И., Куприянов В. К. Система записи и воспроизведения на магнитной ленте методом частотной модуляции. Тр. МГИ, т. 36, Киев, 1966.
  2. Дэвис Г. Л. Применение точной магнитной записи. «Энергия», М., 1967.
  3. Шадрин В. Н. Магнитная запись в автоматике. Госэнергоиздат, М., 1962.
-

В. А. СТЕПАНЮК, И. А. СТЕПАНЮК

## АППАРАТУРА ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЗАПИСЕЙ НА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ

Аппаратура предназначена для считывания информации с магнитной ленты, записанной ЧМ-способом с пространственным разделением несущей. Такой способ записи зачастую используется в океанографической практике [1, 2]. Заключается он в том, что запись ведется синхронно на двух параллельных дорожках ленты: на одной дорожке записывается частота, несущая информацию о измеряемом параметре, на второй дорожке — несущая или опорная частота, относительно которой впоследствии может быть произведен отсчет. При применении этого способа в дискретных регистрирующих устройствах с большой автономностью [2] запись представлена в виде коротких пакетов, отделенных друг от друга «холостыми» промежутками. Минимальная длительность пакета, необходимая для нормального считывания рассматриваемой аппаратурой, при опорной частоте 1000 гц должна быть не менее 1,6 сек. С уменьшением опорной частоты минимальная необходимая длительность увеличивается.

Принцип отсчета записанной информации заключается в том, что из 1000 импульсов опорной частоты формируется опорный интервал времени, в течение которого декадным триггерным счетчиком считаются импульсы пакета, несущего информацию. Результат счета фиксируется в десятичном коде на бумажную ленту.

Конструктивно аппаратура для дешифрирования выполнена в виде двух отдельных блоков. В одном из них размещены: устройство для воспроизведения записи и непосредственно дешифратор, во втором — цифропечатающее устройство.

Функциональная схема аппаратуры для дешифрирования приведена на рис. 1.

Аппаратура содержит: RC-усилители воспроизведения 1 и 19, формирователи импульсов 2 и 20 (ФИ) с выходными каскадами 3 и 21, декадный счетчик канала информационных сигналов 4—7, входные ключи 10 цифропечатающего устройства 11 (ЦПУ), схему включения выходных каскадов 8, схемы блокировки выходных кас-



кадов 9 и 16, схему подготовки печати 12, ключ 13, схему управления печатью 14, элемент задержки 15, схему «И» 17 и 18, бинарный счетчик канала опорных сигналов 22—32.

Устройство для воспроизведения записи включает в себя кинематическую схему с электродвигателем 4 ДКС-8 и рекомендованным к нему стабилизатором скорости вращения, универсальную магнитную головку «Яуза-10», стирающую головку «Яуза-10», два параллельных канала усиления и формирования воспроизведенного сигнала и генератор стирания. Территориально устройство воспроизведения размещено в отдельном экранированном отсеке в передней части дешифратора.

Усилители воспроизведения 1 и 19 представляют собой RC-усилители с частотной коррекцией и малошумящими входными каскадами. С усилителей опорный и информационный сигналы поступают на схемы формирования 2 и 20, выходные каскады которых 3 и 21 могут блокироваться закорачиванием на «землю» с помощью транзисторного ключа, управляемого внешним сигналом. Благодаря этому в аппаратуре осуществляется выделение из воспроизведенных импульсных пакетов интервалов отсчета, а также записанной информации.

Элемент задержки 15 состоит из транзисторного ключа, нагруженного на RC-цепочку с постоянной времени  $\approx 0,1$  сек. Для уменьшения влияния на длительность задержки в качестве пороговой схемы используется эмиттерный повторитель. Элемент задержки предназначен для того, чтобы исключить попадание первых импульсов из пакетов на счетчики; это дает возможность скорректировать влияние переходных процессов при записи, а также возможную несинхронность опорного и информационного пакетов.

Схема включения выходных каскадов представляет собой релейно-транзисторный ключ, управляемый сигналом с элемента задержки 15.

Входные ключи 10 цифropечатающего устройства 11 выполнены на транзисторах МП25А и реле РЭС-10 и предназначены для управления включением электромагнитов набора кода в ЦПУ. Непосредственно ЦПУ является модифицированной цифropечатающей машиной ЦПМ-1, в которой заменены схема управления и входные каналы.

С помощью диодных логических схем «И» 17 и 18 и транзисторного ключа 13 осуществляется управление всеми устройствами системы в зависимости от сигналов, получаемых с бинарного счетчика канала опорных сигналов 22—32.

Бинарный счетчик канала опорных сигналов С40 состоит из одиннадцати последовательно включенных феррит-транзисторных триггеров (ФТТ). Схема каждого триггера включает в себя четыре транзистора и два малогабаритных трансформатора на ферритовых кольцах. Основные преимущества ФТТ по сравнению с транзисторными заключаются в следующем:

1. В результате того, что динамическая положительная обратная связь в ФТТ действует не через «ускоряющие» емкости, как в транзисторном триггере, а через трансформатор на ферритовом сердечнике с прямоугольной петлей гистерезиса, имеется возможность реализации сильно насыщенных и устойчивых к помехам и нагрузке схем с сохранением надежности запуска.

2. «Пороговая» чувствительность схемы к запуску, определяемая ампервитками смещения феррита или его коэрцитивным током, практически не зависит от коэффициента усиления триодов. Поэтому в ФТТ возможно использование транзисторов с  $\beta_{min} \leq \beta \leq \infty$ , т. е. практически без отбора.

3. Явления «засыпания» на малых частотах в ФТТ практически отсутствуют.

Исходное состояние счетчика опорных сигналов следующее: триггера  $22 \div 25$  — «0»;  $26 \div 27$  — «1»;  $28 \div 32$  — «0». Последний (старший) разряд выдает сигнал «1» после подсчета  $2^{10} - (2^3 + 2^4) = 1000$  импульсов.

Счетчик канала информационных сигналов СЧИ на декадах 4—7 выполнен на аналогичных феррит-транзисторных триггерах. Чтобы избежать дополнительных преобразований сигналов со счетчика, последний выполнен в полном соответствии с теми требованиями, которые налагает цифropечатающий блок на форму представления входного числа, а именно: информация с каждой декады выдается в двоично-десятичном коде вида 8—4—2—1.

СЧИ представляет собой четырехразрядный десятичный счетчик, выходные сигналы с каждого его разряда параллельным кодом поступают на входные ключи цифropечатающего устройства. Необходимое представление каждого разряда двоичной формой вида 8—4—2—1 обеспечивается тем, что каждый десятичный разряд (декада) счетчика является отдельным последовательным двоичным счетчиком с четырьмя двоичными разрядами и специальной триггерной схемой, формирующей импульс переноса в следующий десятичный разряд и возвращающей декаду в исходное состояние после поступления на нее десяти импульсов.

Обработка записи в дешифрирующей аппаратуре происходит следующим образом. Пакеты переменного напряжения после усиления поступают на формирователи импульсов 2 и 20. Опорный сигнал с формирователя 20 поступает на схему задержки 0,1 сек, выходное реле которой, срабатывая, подает питание на выходные каскады ФИ через соответствующие входные обмотки счетчиков, т. е. через контакты реле схемы задержки токовые сигналы с ФИ поступают на счетчики. Счетчик канала информационных сигналов начинает считать импульсы пакета, поступающие по информационному входу дешифратора и несущие информацию о измеренном параметре. Одновременно счетчик опорного канала считает импульсы несущей частоты, формируя отсчетный интервал. Через 1000 импульсов после включения последний (старший) разряд СЧО устанавливается в «1» и по входу  $2^{10}$  — «0» на ключ 13 поступает

низкий потенциал; транзистор ключа закрывается, и высокое напряжение, выделяющееся на его коллекторе, поступает на следующие схемы:

- 1) диодные логические элементы «И» 17 и 18;
- 2) вход схемы блокировки выходного каскада ФИ информационного канала для остановки счетчика информационных сигналов;
- 3) вход схемы подготовки печати 12, выходное реле которой срабатывая подает питание на входные ключи цифропечатающего устройства.

Остановленный счетчик информационных сигналов содержит в себе закодированное число, соответствующее записанному на ленте значению измеренного параметра; в виде параллельных потенциальных сигналов число со СчИ поступает на входы ключей 10, питание на которые подано схемой 12. Таким образом, система подготовлена к печати результата.

Счетчик канала опорных сигналов, продолжая считать поступающие импульсы, после 1064-го импульса выдает на схему «И» 18 по всем входам высокие потенциальные сигналы с соответствующих плеч триггеров (по входу с ключа 13 высокий потенциал подан после 1000-го импульса). Сигнал совпадения, выдаваемый схемой «И» 18, поступает на схему управления печатью 14, выходное реле которой срабатывая подает питание на исполнительные механизмы цифропечатающего устройства 11, осуществляя печать результата. Дешифрирование закодированного числа производится механическим путем непосредственно в печатающем устройстве.

Для нормальной печати необходима выдержка исполнительных электромагнитов ЦПУ в притянутом состоянии около 60 мсек. Это обеспечивается тем, что еще через 64 импульса (т. е. всего через 1128) высокие отрицательные сигналы со входов 2<sup>6</sup>—«0» и 2<sup>7</sup>—«1» схемы «И» 18 снимаются, выходное напряжение схемы снижается до нуля, вследствие чего выходное реле схемы 14 отключает питание исполнительных электромагнитов, и последние возвращаются в исходное состояние.

Продолжая считать импульсы СчО через 1512 импульсов от начала пакета выдает высокий отрицательный потенциал по входу 2<sup>9</sup>—«0» на схему «И» 17 (по второму входу высокое напряжение поступило с ключа 13 после 1000-го импульса); диоды схемы «И» закрываются, и она выдает управляющий сигнал на схему блокировки выходного каскада ФИ 16, останавливая тем самым счетчик опорного сигнала. Таким образом, СчО через схемы 17 и 16 блокирует сам себя. В этом состоянии система остается до окончания пакетов напряжения, поступающих с блока воспроизведения, т. е. до тех пор, пока включено реле схемы задержки. После окончания пакетов реле выключается и своими нормально-замкнутыми контактами устанавливает все блоки системы в исходное состояние.

Временные диаграммы основных процессов одного цикла приведены на рис. 2.

Аппаратура для дешифрирования записей на магнитной ленте разрабатывалась применительно к автономному термографу с дискретной магнитной записью [2], но может быть использована для обработки записей любого другого дискретного измерительного

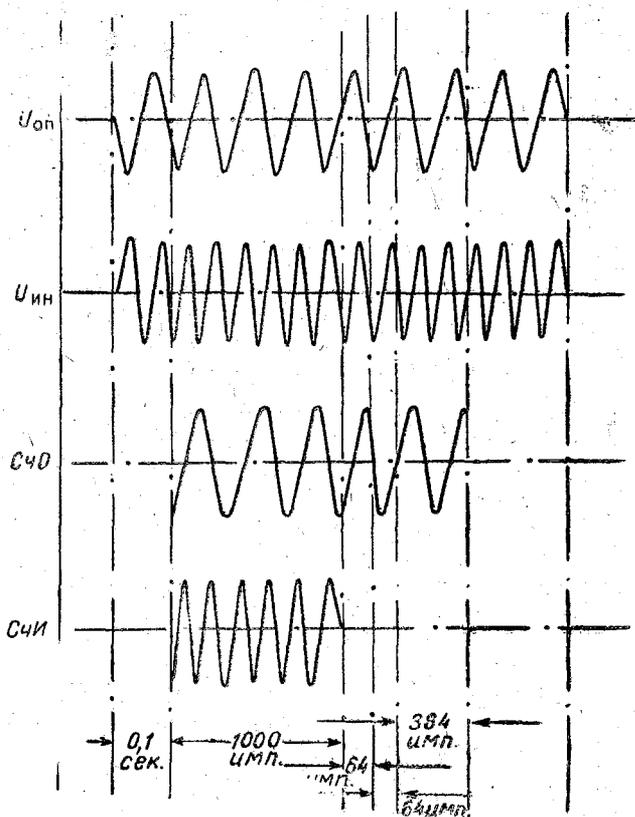


Рис. 2. Временные диаграммы одного цикла работы дешифратора.

устройства, способ регистрации в котором соответствует рассмотренному. Для работы с многоканальными устройствами необходимо добавление счетчиков информационных каналов без каких-либо принципиальных изменений аппаратуры в целом.

Технические параметры аппаратуры следующие: скорость обработки — переменная, в среднем  $3,5$  см/сек; погрешность обработки —  $\pm 1$  последнего знака; питание —  $220$  в,  $50$  гц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В. И., Бабий В. И., Куприянов В. К. Система записи и воспроизведения информации на магнитной ленте методом частотной модуляции. Труды МГИ, т. 36, Киев, 1966.
  2. Степанюк И. А. Автономный термограф с дискретной магнитной записью. Наст. сб.
-

## ТЕРМОЗОНД С ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СВЯЗИ

В настоящее время одной из главных задач океанологического приборостроения является решение проблемы регулярного вертикального зондирования водной толщи морей и океанов. Экспедиционные исследования отдельных районов Мирового океана носят эпизодический характер. Осуществляемые наблюдения на кораблях погоды экономически мало эффективны и не могут решить всей задачи. Аналогичная проблема — проблема вертикального зондирования атмосферы — была частично решена благодаря изобретению радиозонда и разработке метода вертикального зондирования. Во многом этому способствовало освоение надежного канала связи — радиоканала. При исследовании океанов наиболее перспективным в этом отношении является гидроакустический канал связи.

При разработке аквазонда — прибора разового действия для измерения параметров морской воды с последующей передачей данных по каналу связи — должны предъявляться следующие требования:

- 1) точность и непрерывность измерения;
- 2) простота схемы и безотказность работы;
- 3) надежность передачи данных по каналу связи;
- 4) малая стоимость при серийном производстве.

Известны некоторые конструкции приборов с гидроакустическим каналом связи [1, 2]. Не все они отвечают в полной мере предъявленным требованиям. В целях создания прибора разового действия, отвечающего этим требованиям, на кафедре океанологических методов исследований ЛГМИ разработан термозонд с гидроакустическим каналом связи.

Для обеспечения точности и непрерывности измерения температуры морской воды в основу был положен частотный метод преобразования. В качестве датчиков температуры (первичных преобразователей) обычно применяют термометры сопротивления или термисторы, а в качестве вторичных преобразователей для получения частотного преобразования информации используют различные модификации RC-генераторов. В термозонде применен RC-генератор на импульсных мостовых элементах ИМЭ. Неста-

бильность генератора, собранного на кремниевых транзисторах, в диапазоне температур от  $+8^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  С не больше 0,5%. Управляющим элементом генератора является датчик-термистор КМТ-14. Коэффициент преобразования при этом составляет 100 *гц/град*. На рис. 1 приведена зависимость частоты колебаний генератора от

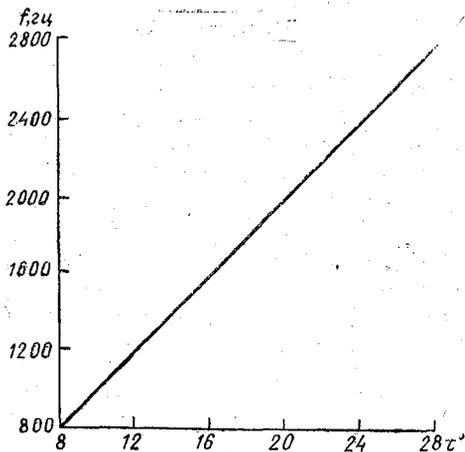


Рис. 1.- Частотная характеристика генератора.

температуры в диапазоне от  $+8^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  С, нелинейность не превышает 0,5%. Точность измерения выбрана равной  $0,1^{\circ}$  С.

Блок-схема термозонда показана на рис. 2. Сигнал от измерительного генератора поступает на предварительный усилитель, за-

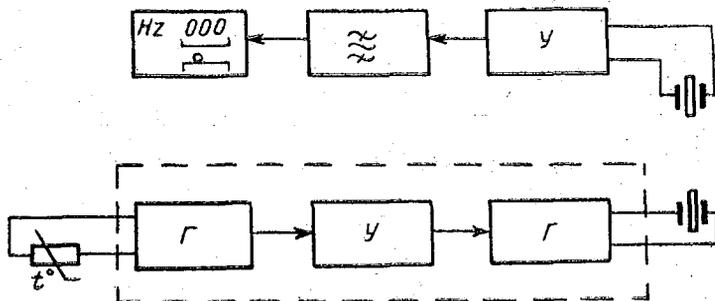


Рис. 2. Блок-схема термозонда.

тем на генератор с контуром ударного возбуждения, который состоит из индуктивности и цилиндрического титанат-бариевого излучателя. Импульсы возбуждения с амплитудой  $U_{изм}$  вызывают

в контуре затухающие колебания  $U_{\kappa}$ . Резонансная частота канала связи [3] выбрана равной 30 кгц.

Конструктивно измерительно-передающий блок термозонда собран в корпусе из плексигласа с внешним диаметром 60 мм, высотой 250 мм и внутренним диаметром 30 мм. В качестве источника питания применены ртутно-цинковые батареи 7РЦ-63.

Приемно-регистрающая часть состоит из приемно-усилительного блока и регистратора. Приемником служит гидрофон, включенный на вход усилителя. Регистратором является цифровой частотомер, имеющий выход на цифропечатающую машину ЦПМ-2. Так как зависимость частоты колебаний измерительного генератора от температуры  $f(t)$  аппроксимирована в пределах заданной точности измерения линейной функцией, а диапазон рабочих частот выбран от 800 до 3000 гц, то получаем отпечаток непосредственно измеренной температуры. Это значительно облегчает обработку полученной информации.

Основные технические данные термозонда с гидроакустическим каналом связи следующие: диапазон измеряемых температур от  $\pm 8^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  С; точность измерения  $0,1^{\circ}$  С; глубина погружения до 500 м; скорость погружения 120 м/мин; тепловая инерция датчика не более 3 сек.

Данный прибор можно использовать как прибор разового действия при измерении температуры на ходу корабля, а также при опускании на тросе. Возможно применение нескольких термозондов с разнесенными по частоте каналами связи для одновременного измерения температуры морской воды на различных горизонтах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы и приборы для исследования физических процессов в океане. Труды МГИ, т. 36, 1966.
2. Волков В. Г., Шехватов Б. В. Быстродействующий дистанционный электробатитермограф с акустической связью. Труды Ин-та океанологии АН СССР, № 24, 1957.
3. Чверткин Е. И. Исследование и выбор основных параметров гидроакустического канала связи для автономных гидрологических систем. Автореф. канд. дисс., 1968.

*С. В. ЗАВИЛЕЙСКИЙ, Т. Н. ЮРОВСКАЯ*

## **ИЗМЕРЕНИЕ И ЗАПИСЬ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР В ВОДНОМ ПОТОКЕ**

Распределение коэффициента турбулентного обмена по вертикали является одним из наиболее важных вопросов при изучении ряда практических и теоретических задач.

Как в области океанологии, так и в области гидрологии в настоящее время можно говорить о двух путях разрешения этого вопроса — об оценке распределения коэффициента турбулентного обмена по вертикали прямыми и косвенными методами.

Прямые методы определения коэффициента турбулентного обмена, заключающиеся в одновременном измерении полей температур и скоростей течения и последующей соответствующей обработке данных, развиты слабо ввиду недостатка высокочувствительной и малоинерционной аппаратуры, необходимой для измерений. К прямым методам следует отнести также специальные методы непосредственного измерения коэффициента турбулентного обмена, основанные на регистрации интенсивности рассеивания облака индикатора и также еще не нашедшие широкого применения.

Наиболее распространены в практике исследовательских работ косвенные методы определения коэффициента турбулентного обмена, т. е. оценка его распределения по различным уравнениям вертикального профиля скоростей, либо с использованием частного решения дифференциальных уравнений движения [1].

При решении вопроса о распределении коэффициента турбулентного обмена по вертикали в поле взаимодействия двух различных по температуре объемов воды (один из фрагментов решения задачи о распространении транзитной струи в водохранилищах-охладителях) авторами был выбран один из прямых методов, заключающийся в одновременном измерении температурных и скоростных полей и дающий, по их мнению, более точное решение вопроса.

Температурное поле рассматриваемого процесса является относительно быстро меняющимся по времени, поэтому для более точной его оценки возникла необходимость в измерении и регистрации мгновенных значений температур.

Существующие в настоящее время датчики позволяют измерять значения температур с достаточной степенью точности. В частности, были использованы малоинерционные, обладающие достаточной стабильностью характеристик микротермосопротивления типа МКМТ-16, заключенные в специальные изолирующие корпуса.

Задаваясь целью измерения температур одновременно в целом ряде точек, пришлось столкнуться с проблемой регистрации показаний применяемых датчиков температуры. Широко распространенные в настоящее время электронные автоматические потенциометры с записью на ленточной диаграмме рассчитаны на ограниченное число датчиков и дают возможность снимать показания с переключением датчиков лишь через 3 сек. Существующие электронные коммутаторы на большое количество точек имеют очень громоздкие схемы с неустойчивыми характеристиками. Автоматические коммутаторы с шаговыми искателями из-за несовершенства контактов, потеря на которых равна 5—20 ом, не обеспечивают точного и постоянного замера сопротивлений термисторов, что в свою очередь не обеспечивает снятия значений температуры с высокой точностью [2].

Рассматриваемый процесс, кроме высокой точности снятия значений температуры, требовал обеспечения возможности производства оперативных измерений, т. е. почти мгновенной записи температурного поля. Поэтому, пользуясь существующими методами регистрации данных, нельзя было удовлетворительно характеризовать температурное поле нестационарного процесса распространения тепловой струи по объему холодной воды. Для получения приемлемых данных был сконструирован и изготовлен опытный образец релейного коммутатора, обеспечивающего запись температуры на шлейфовый осциллограф одновременно для 20 точек в течение 1,5 сек с точностью 0,05° С. Принципиальная схема релейного коммутатора при увеличении количества точек измерений не изменяется.

Общая измерительная схема прибора представлена на рис. 1. Для регулирования скорости переключения шагового искателя ШИ-11 служит реле времени, диод  $D$  выпрямляет переменное напряжение сети, конденсатор  $C_1$  сглаживает пульсации выпрямленного напряжения. Полученный таким образом постоянный ток через ограничительное сопротивление  $R_1$  и потенциометр  $R_2$  заряжает конденсатор  $C_2$  до напряжения зажигания газоразрядной лампы. При действии лампы конденсатор  $C_2$  разряжается через нее и обмотку реле  $P_1$ . Такой процесс периодически повторяется. Потенциометром  $R_2$  можно регулировать время зарядки конденсатора  $C_1$  в пределах от 0,1 до 3,5 сек. В схеме применен тиратрон типа МТХ-90, имеющий малые размеры и обладающий большим (по сравнению с неоновыми лампами) пропускным током электродов. Последнее преимущество особенно важно тем, что дает возможность применять реле различных типов, в том числе и малочувствительные. В схеме использовано реле типа РЭС-10 с сопро-

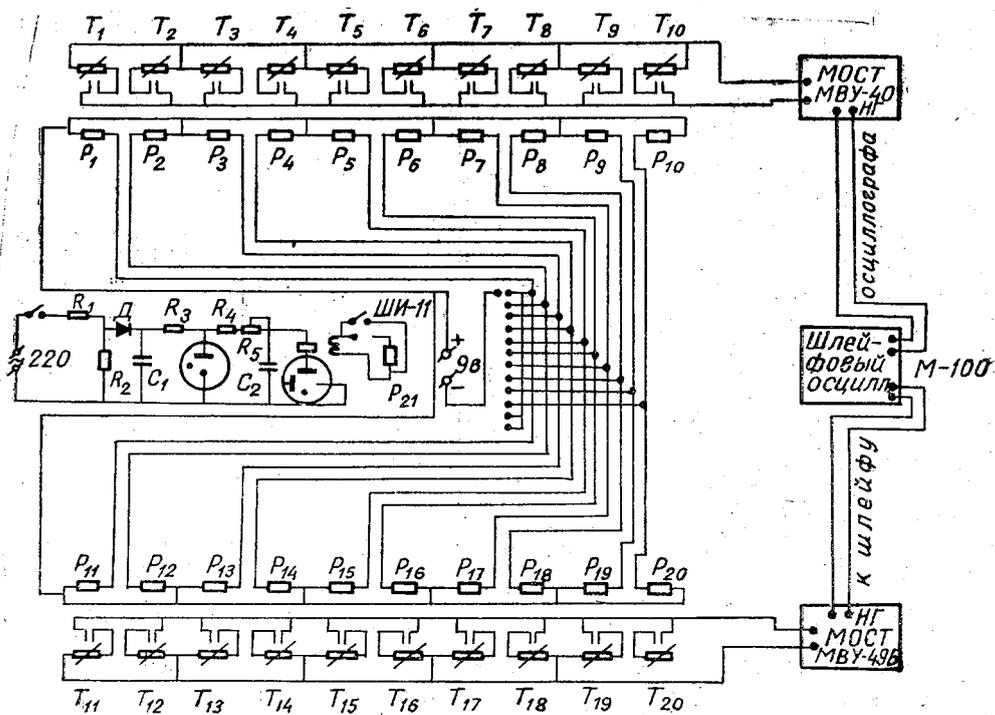


Рис. 1. Общая измерительная схема прибора.

тивлением обмотки в  $20 \text{ ом}$  и током срабатывания  $22 \text{ ма}$ . Питание схемы стабилизировано лампой СГ2П. Реле посылает импульсы на шаговый искатель ШИ-11, который, в свою очередь, переключает реле  $P_1—P_{20}$ .

Термисторы соединены по 10 штук. Общий конец каждого термистора и свободная клемма  $R_x$  моста подводятся к нормально разомкнутым контактам реле  $P_1—P_{20}$ .

Ввиду того, что характеристики термисторов значительно различаются друг от друга, для данного прибора необходима тщательная подборка термисторов с близкими параметрами. В противном случае необходима корректировка характеристик термисторов с помощью переменных сопротивлений. Проведенный эксперимент показал, что такой вид корректировки не внес больших изменений в чувствительность прибора, но значительно облегчил быструю смену датчиков с различными характеристиками.

В качестве регистрирующего прибора был применен шлейфовый осциллограф Н-700 (шлейфы чувствительностью  $0,3 \text{ мв}$ ). Запись осуществлялась на фотобумагу шириной  $12 \text{ см}$ . На регистрацию показаний каждого шлейфа отводилась полоса шириной  $6 \text{ см}$ , что обеспечивало запись разности температуры в  $6^\circ \text{ С}$  (точность в данном случае равна  $0,05^\circ \text{ С}$ ).

В результате проведенных опытов были получены осциллограммы для 20 точек на четырех вертикальных створах. Запись осуществлялась при скорости протяжки ленты фотобумаги, равной  $4 \text{ см/сек}$ . На рис. 2 приведена одна из частей осциллограммы опы-

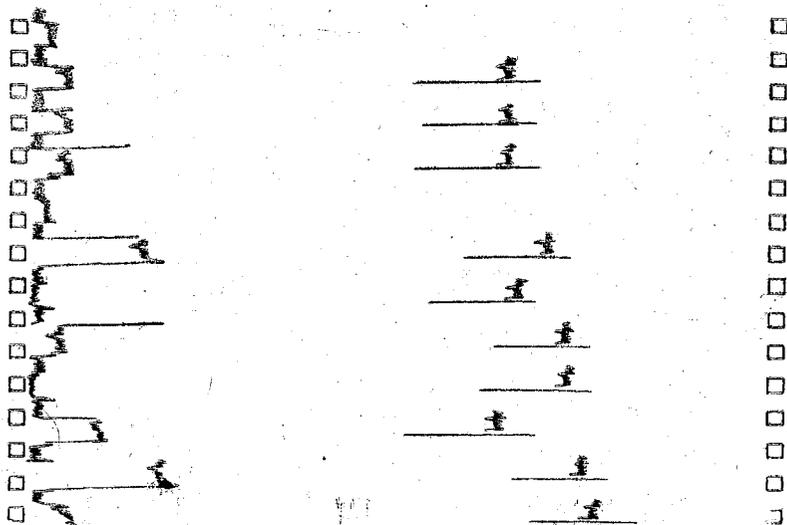


Рис. 2. Образец осциллограммы опыта.

та. Для облегчения обработки данных эксперимента последовательно с термисторами были включены три стандартных сопротивления. Линия, соединяющая концы ординат записи этих сопротивлений, служила начальной осью отсчета ординат осциллограммы.

Таким образом, получена почти непрерывная запись температур в каждой выбранной точке поля. Полученные, помимо того, измерения составляющих скорости в этих точках дали возможность вычислить коэффициент турбулентного обмена непосредственно уравнения энергии, характеризующего данный процесс, а также выявить изменение коэффициента турбулентного обмена во времени.

Проведенные эксперименты позволили получить достаточно высокую точность данного метода регистрации показаний, а следовательно, и большую возможность его использования для изучения нестационарных процессов малой продолжительности.

С помощью предлагаемой схемы можно почти мгновенно измерить температурное поле, проследить распределение температур по площади, т. е. имеется возможность видеть развитие и характер температурного поля в условиях нестационарного процесса. Измерительная схема, кроме того, может быть использована при регистрации практически любых других значений, интересующих исследователя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Караушев А. В. Проблемы динамики естественных водных потоков. Гидрометеоздат, Л., 1960.
2. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, М., 1959.

## ОБ ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ

Результаты измерений температуры воды в море получаются, как известно, с некоторыми погрешностями. Возникновение ошибок часто происходит как за счет приборов, измеряющих температуру, так и из-за несовершенства методики наблюдений над указанным элементом.

Так, при работе на судах с глубоководными термометрами погрешность в измерениях температуры может возникнуть за счет:

- 1) неточности показаний (ошибки в отсчете);
- 2) наличия инерционности;
- 3) неточного выхода на заданный горизонт;
- 4) удаления от исходной точки наблюдения (дрейф судна);
- 5) непостоянства нахождения на заданном горизонте (качка судна).

О первых двух источниках ошибок говорится в работах [1, 5, 8]. Влияние остальных ошибок до настоящего времени в литературе не освещено. Кроме того, отсутствуют рекомендации по методике расчета случайных ошибок, возникающих при определении температуры воды.

Между тем при обработке гидрологических материалов важно знать, насколько достоверны полученные результаты наблюдений. В особенности это относится к средним статистическим показателям, представляющим наибольший физический интерес при изучении закономерности гидрологического процесса.

Точность средней величины зависит от объема выборки и повышается с увеличением ряда. Кроме того, средняя величина содержит дополнительную ошибку в связи с тем, что она получается не из истинных значений, а определяется по данным измерений, содержащих случайные ошибки. Учитывая это, в работе сделана попытка оценить величину случайной ошибки, возникающей при измерениях температуры воды.

Полученные результаты позволяют ответить на вопрос, какова точность исходных данных и полученных на их основе параметров изменчивости.

В соответствии с принятой терминологией, в зависимости от характера изменения измеряемой величины погрешности разделяют на статистические и динамические. К первым относятся погрешности, возникающие при измерении постоянных во времени величин. В свою очередь, они разделяются на погрешности систематические и случайные. Что касается динамических погрешностей, то они обычно возникают вследствие искажения прибором измеряемой величины, являющейся некоторой функцией времени. Причиной последних является наличие так называемой инерционности прибора.

Применительно к температуре воды ошибки 1), 3), 4) можно отнести к статистическим, а остальные — к динамическим.

Рассмотрим каждый источник погрешности в отдельности и найдем выражение для его определения.

Допустим:  $\Delta_1$  — погрешность за счет неточности показаний термометра;  $\Delta_2$  — погрешность из-за несовпадения измеренной глубины с истинной глубиной (горизонтом);  $\Delta_3$  — погрешность за счет горизонтального удаления термометров от исходной точки;  $\Delta_4$  — погрешность из-за вертикального смещения термометров (качки);  $\Delta_5$  — погрешность за счет инерции приборов.

Согласно руководства [6], точность наблюдений опрокидываемыми термометрами определяется погрешностями:  $\Delta t_n$  — проверки термометра (шкалы, места нуля);  $\Delta t_p$  — непостоянства отрыва ртути у глухого отростка;  $\Delta t_o$  — отсчета показаний температуры;  $\Delta t_v$  — редуцированной поправки.

Отсюда первая погрешность равна

$$\Delta_1 = f(\Delta t_n; \Delta t_p; \Delta t_o; \Delta t_v); \quad (1)$$

$\Delta_2$  — зависит от разности между измеренной и истинной глубиной наблюдения  $\Delta h$  и термической структуры воды, определяемой вертикальным градиентом температуры воды  $\partial t / \partial h$ ,

$$\Delta_2 = \frac{\partial t}{\partial h} \cdot \Delta h. \quad (2)$$

По аналогии с выражением (2) можно записать

$$\Delta_3 = \frac{\partial t}{\partial l} \Delta l, \quad (3)$$

где  $\frac{\partial t}{\partial l}$  — горизонтальный градиент температуры;  $\Delta l$  — величина смещения судна от исходной точки наблюдения.

Из выражений (2) и (3) видно, что в случае однородной стратификации, отсутствия дрейфа судна ошибка в приведении температуры к заданному горизонту или месту наблюдения равна нулю.

Для определения погрешности, возникающей из-за вертикальной качки судна, использована формула из теории динамических ошибок измерений [9] вида

$$\Delta_4 = \frac{x_m}{t_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_f \tau)^2}} \quad (4)$$

Аналитическим выражением (4) эффект качки корабля интерпретируется как периодическая (синусоидальная) составляющая измеряемой величины, в данном случае температуры воды. Эта периодическая составляющая как входная величина  $t_m$  вызывает появление выходной величины как результата измерения  $x_m$ .

Последняя также имеет вид периодической величины, но с ослабленной амплитудой. Следовательно,  $\frac{x_m}{t_m}$  — степень ослабления входной величины устройства, измеряющего заданный параметр в динамическом режиме.

Применительно к приведенным расчетам,  $a$  является отношением амплитуды показаний глубоководного термометра  $t_m$ , следящего за периодическим изменением температуры к амплитуде изменения температуры среды  $x_m$ .

Из выражения (4), видно, что

$$a = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_f \tau)^2}}, \quad (5)$$

где  $\omega_f$  — круговая частота;  $\tau$  — постоянная времени термометра.

Наконец, для определения  $\Delta_5$  может быть использована формула вида (5)

$$\Delta_5 = \frac{1}{2T} \int_0^{\infty} e^{-\frac{\tau}{T} \tau} B(\tau) d\tau + \sigma_1^2 \quad (6)$$

Последняя дает возможность вычислить дисперсию погрешности средней температуры относительно ее истинных мгновенных значений за время осреднения. В формуле (6):  $\tau$  — время записи мгновенных значений температуры;  $T$  — постоянная времени прибора;  $B(\tau)$  — значение структурной функции температуры воды;  $\sigma_1^2$  — дисперсия погрешности, вычисляемая по показаниям приборов. Формула применима для небольших промежутков времени.

При периоде осреднения  $\tau$ , достаточно большом по сравнению с постоянной времени  $T$ , показания прибора практически совпадают с истинным значением измеряемой величины. Поэтому ошибка за счет инерции прибора близка к нулю.

В качестве примера отметим, что для метеорологических приборов оптимальный период осреднения в установившемся режиме при  $B(\tau)$ , подчиняющийся «закону 2/3», приблизительно в 1,7 раза больше постоянной времени прибора. Для батитермографов так называемый переходный процесс (т. е. восприятие температуры окружающей среды) заканчивается через промежуток времени, приблизительно равный  $3T$ , где  $T=0,3$  сек.

У современных глубоководных термометров постоянная времени  $T$  составляет около 40 сек. При выдержке термометров порядка 6—7 мин среднее значение измеряемой величины практически соответствует истинной температуре.

При наличии погрешностей, происходящих от нескольких независимых источников, общая погрешность должна быть равна сумме отдельных погрешностей. Поэтому можно записать

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{\Delta_1}^2 + \sigma_{\Delta_2}^2 + \sigma_{\Delta_3}^2 + \sigma_{\Delta_4}^2 + \sigma_{\Delta_5}^2. \quad (7)$$

Здесь  $\sigma_{\Delta}^2$  — дисперсия суммарной погрешности;  $\sigma_{\Delta_i}^2$  ( $i=1, \dots, 5$ ) — дисперсия погрешности от каждого в отдельности источника.

Это свойство суммы характерно для нормального и биномиального распределения, распределения Пуассона и др.

Используя формулы (1)—(7), определим величину погрешности в наблюдениях над температурой воды на отдельных многосуточных станциях.

В качестве примера воспользуемся данными э/с «Океанограф» (станции 3948 и 154) и э/с «Михаил Ломоносов» (станция 677).

Первые две станции выполнены в районе банки Рокколл в северо-восточной части Атлантики, а последняя — в районе Саргассова моря.

1. Точность определения опрокидывающимися термометрами, согласно [7], определяется суммой систематических и случайных погрешностей  $\Delta t_n$ ;  $\Delta t_p$ ;  $\Delta t_o$ ;  $\Delta t_v$ . При этом величину случайной ошибки примем равной  $\Delta_1=0,01^\circ$ .

Заметим, что, по данным испытаний в Лаборатории поверки метеорологических и гидрологических приборов, случайная погрешность глубоководного термометра с ценой деления  $1/10^\circ$  в 95% случаев не превышает  $0,014^\circ$  [1].

2. Погрешность в определении глубин погружения приборов на стандартных горизонтах  $\Delta h$  согласно [8] и данных э/с «Океанограф» составляет:

Глубина погружения, м . . . . .	0	10	20	30	50	75	100	200	300	500
Средняя погрешность, м (±) . . . . .	0,0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,1	3,5

3. Величина смещения судна от исходной точки  $\Delta l$  принимается около 1 мили, а максимальная — порядка 2 миль. Указанные зна-

чения  $\Delta'$  установлены, исходя из практически допустимой величины удаления судов от мест установки якорных буйковых станций, вблизи которых выполнялись наблюдения.

Горизонтальные градиенты температуры воды получены в результате обработки материалов синхронных парных станций, гидрологических наблюдений на микроразрезах и отдельных глубоководных станциях.

4. Для оценки  $\Delta_4$  находились:  $t_m$  — амплитуда (вычислялась по значениям вертикальных градиентов температуры и величине вертикальной качки судна);  $\omega$  — круговая частота (определена из выражения  $\frac{2\pi}{T}$ , где  $T$  — период бортовой качки судна);  $\tau$  — постоянная времени глубоководного термометра (принята равной 40 сек).

Для удобства расчета  $x_m$  на основании формулы (5) составлен график зависимости  $x_m$  от  $t_m$  при различных значениях  $T$  (рис. 1). Для получения амплитуды и периода вертикальной качки

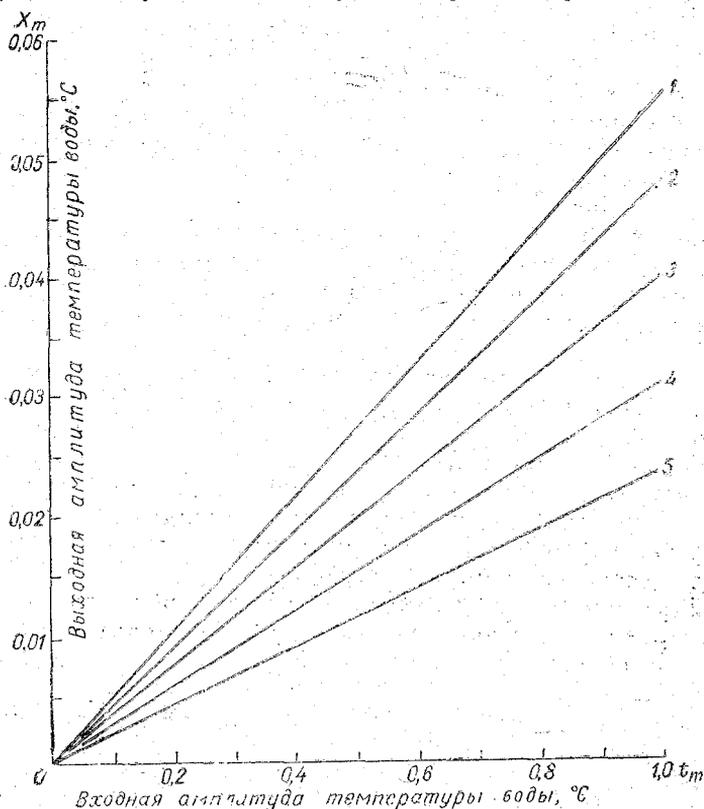


Рис. 1. Величина погрешности  $x_m$  в зависимости от амплитуды температуры воды  $t_m$  и периода качки судна  $T$ .  
Периоды качки: 1—14 сек; 2—12 сек; 3—10 сек; 4—8 сек; 5—6 сек.

судна в зависимости от элементов волн, необходимых для расчета, проведены специальные инструментальные измерения на э/с «Океанограф». Результаты измерений представлены на рис. 2.

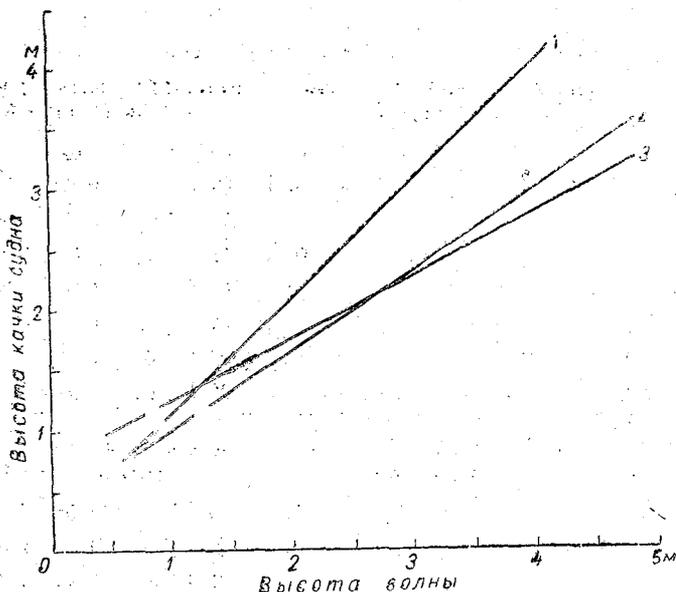


Рис. 2. Зависимость между высотой вертикальной качки э/с «Океанограф» («Айсберг») и высотой волны.

По инструментальным наблюдениям на Балтике (октябрь—ноябрь 1965 г.) и Атлантическом океане (апрель 1964 г.);  $T$  — периоды качки судна: 1—11,25—14,25 сек; 2—6 сек; 3—8,3 сек.

Для судов типа «Михаил Ломоносов» (ст. 677) амплитуда вертикальной качки судна определена по таблицам, составленным С. П. Левченко [5].

В таблице приведены результаты расчета погрешности для отдельных станций. Максимальные погрешности, в отличие от средних, вычислены по значениям наибольших наблюдаемых градиентов температуры и предельным значениям  $\Delta h$ , полученным расчетным путем.

При расчете максимальной  $\Delta h$  допускалось, что ошибки в измерениях глубин (так же как и ошибки за счет качки и дрейфа судна) имеют случайный характер и близко подчиняются нормальному закону. Поэтому  $\Delta h_{\max}$  определялось отношением

$$\Delta h_{\max} = \Delta h_{\text{cp}} \cdot 1,25 \cdot 1,96, \quad (8)$$

где  $\Delta h_{\max}$  — предельная средняя квадратическая погрешность горизонта наблюдения;  $\Delta h_{\text{cp}}$  — средняя арифметическая погрешность горизонта наблюдения; 1,25 — коэффициент соответствия между

Значения погрешностей температуры воды от различных источников, °С

Станция	Глубина H, м	Средние					Максимальные				
		$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\sigma_{\Delta}$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\sigma_{\Delta}$
Ст. 3948 7-22/VI 1964 г., э/с „Айс- берг“		Ветер SSE—NNW 6,1 м/сек высота волны 1,3 м					Ветер SSE—NNW 15,8 м/сек высота волны 4,0 м				
	0	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0	0,02	0	0,05
	20	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0,10	0,01	0,004	0,16
	30	0,01	0,02	0	0	0,04	0,02	0,17	0,02	0,004	0,26
	50	0,01	0,02	0,01	0	0,05	0,02	0,13	0,03	0,003	0,22
	75	0,01	0,02	0	0	0,04	0,02	0,17	0,03	0,003	0,28
	100	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0,15	0,01	0,002	0,22
	300	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0,05
500	0,01	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,05	
Ст. 154, 15-28/VIII 1965 г., э/с „Оке- анограф“		Ветер S—WNW 12,6 м/сек высота волны 4,4 м					Ветер S—WNW 19,0 м/сек высота волны 7,8 м				
	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0,02	0	0,04	0	0,08
	20	0,01	0	0,01	0	0,02	0,02	0,01	0,11	0,001	0,18
	30	0,01	0,01	0,02	0	0,05	0,02	0,10	0,11	0,005	0,29
	50	0,01	0,05	0,04	0,003	0,13	0,02	0,26	0,19	0,014	0,60
	75	0,01	0,06	0,02	0,002	0,12	0,02	0,27	0,08	0,011	0,48
	100	0,01	0,04	0,01	0,001	0,04	0,02	0,25	0,06	0,009	0,42
	300	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0,03	0,02	0	0,09
500	0,01	0,01	0,01	0	0,04	0,02	0,05	0,03	0	0,13	
Ст. 677, 19-25/VII 1960 г., э/с „М. Ломоно- сов“		Ветер E—NE 6,0 м/сек высота волны 1,4 м					Ветер E—NE 10,0 м/сек высота волны 4,6 м				
	0	0,01	0	0	0	0,01	0,02	0	0,01	0	0,04
	10	0,01	0,03	0	0	0,05	0,02	0,24	0,02	0,014	0,38
	20	0,01	0,12	0	0	0,16	0,02	0,43	0,02	0,025	0,62
	30	0,01	0,22	0,01	0	0,30	0,02	0,96	0,04	0,023	1,31
	50	0,01	0,09	0	0	0,12	0,02	0,60	0,02	0,018	0,82
	80	0,01	0,05	0	0	0,08	0,02	0,21	0,01	0,005	0,30
	100	0,01	0,03	0	0	0,05	0,02	0,17	0,01	0,003	0,25
300	0,01	0,01	0	0	0,02	0,02	0	0	0	0,02	
500	0,01	0,05	0	0	0,08	0,02	0,16	0,02	0,001	0,25	

средней абсолютной и средней квадратической величиной при нормальном распределении; 1,96—доверительный интервал для 5% предела ошибки.

Следует иметь в виду, что переход от суммарной средней арифметической ошибки  $\Delta$  к средней квадратической величине  $\sigma_{\Delta}$  осуществляется также с помощью коэффициента 1,25<sup>1)</sup> на основании предположения о нормальности распределения случайных ошибок измерения.

Наибольшие погрешности имеют место за счет  $\Delta_2$ , причем, как правило, они приходятся на горизонты, связанные со слоем скачка температуры.

Уместно отметить, что погрешность из-за вертикальной качки корабля  $\Delta_4$  практически равна нулю. Лишь на ст. 154 и 677, где градиенты температуры значительны, предельная ошибка  $\Delta_4$  составляет 0,01—0,03°.

Величину случайной ошибки можно приближенно определить, имея графики структурных функций температуры воды. Для этого нужно экстраполировать кривую  $B(\tau)$  на ординату, тогда ордината точки, в которой  $\tau=0$ , даст удвоенный средний квадрат ошибки. Однако часто бывает затруднительно определить таким путем ошибку, так как при малых значениях  $\tau$  может иметь место иная кривизна функции  $B(\tau)$ . Проиллюстрируем это на примере ст. 154 и 677.

На рис. 3 видно, что на горизонтах 20 м (ст. 154) и 100 м (ст. 677) значения средних квадратических ошибок, полученных экстраполяцией, почти совпадают с данными таблицы. На остальных горизонтах (50 и 30 м) экстраполировать затруднительно, так как вид функции  $B(\tau)$  в интервале <3 часов может отличаться от основной части кривой. Это видно на рис. 3, например, при сопоставлении кривых структурных функций, полученных для горизонта 50 м (ст. 154 по 10-минутным и 3-часовым интервалам времени).

Для выяснения вопроса, насколько случайная ошибка может влиять на результаты измерения, приведен рис. 4, данные которого свидетельствуют о том, что величина случайной ошибки на большинстве горизонтов составляет 15—30% величины параметра изменчивости ( $\sigma$  и  $B$ ).

Влияние случайных ошибок сказывается преимущественно на горизонтах, характеризующихся малой изменчивостью. Так, при значениях  $\sigma=0,02—0,06$  (300 м — ст. 3948 и 30 м — ст. 154) относительная погрешность величин изменчивости достигает 33—80%. В данном случае источниками погрешностей являются случайные ошибки  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ . Практически величина изменчивости на указанных горизонтах находится в пределах точности методов наблюдения, либо завышена за счет отмеченных ошибок на 30—80%.

<sup>1)</sup> В дальнейшем необходима постановка специальных наблюдений для уточнения коэффициента.

Данные таблицы и рис. 4 показывают, что случайные ошибки накладываются и завышают значения изменчивости. Следовательно, чтобы получить естественную изменчивость нужно из суммар-

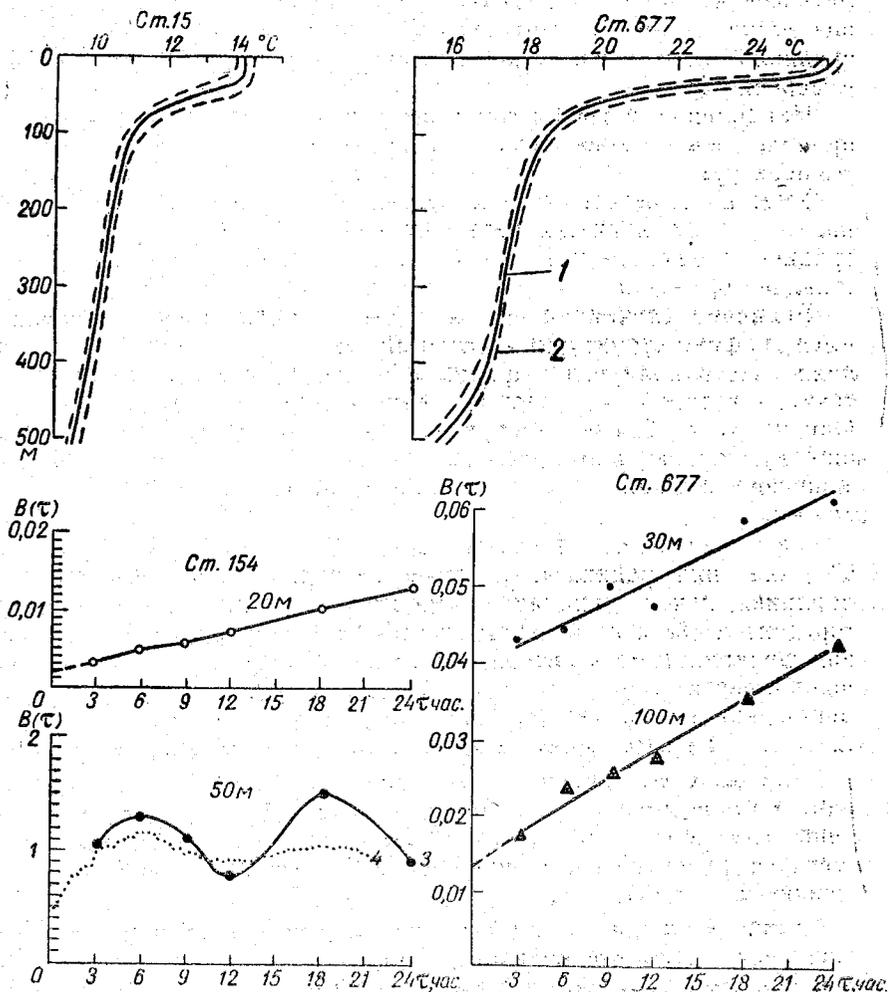


Рис. 3. Графики вертикального распределения и хода структурных функций температуры воды на многосуточных станциях.

1—средняя температура; 2—среднее квадратическое отклонение; 3—структурная функция по данным опрокидывающихся термометров; 4—структурная функция по данным фототермометра.

ных величин изменчивости вычесть случайную составляющую. Однако на приведенных выше станциях точность вычисления  $\sigma$  и  $V$  из-за малости выборок ( $N=30-100$ ) составляет 10—30%. Учитывая это обстоятельство, следует иметь в виду, что величина слу-

чайной ошибки на большинстве горизонтов, по-видимому, лежит в пределах точности вычисления средних показателей изменчивости.

Таким образом, в результате выполненного исследования можно отметить:

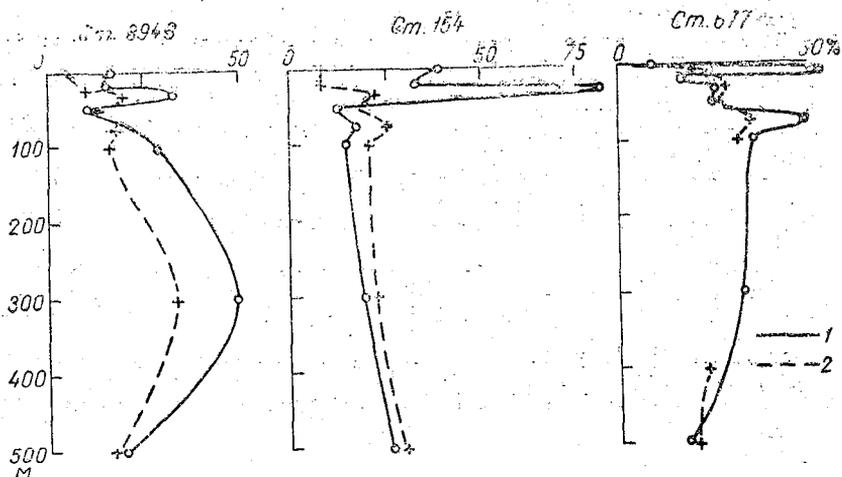


Рис. 4. Относительная погрешность параметров изменчивости температуры воды (в %).

1—относительная погрешность средних квадратических отклонений; 2—относительная погрешность структурных функций (3-часовой интервал).

1. Погрешность в измерениях температуры воды возникает в основном за счет неточности выхода батометров на заданные горизонты. Качка судна на средних показаниях термометров практически не сказывается.

2. Величина случайной ошибки измерения колеблется от  $0,01^{\circ}$ — $0,02^{\circ}$  при градиентах температуры  $0,026^{\circ}$  до  $0,2^{\circ}$ — $0,3^{\circ}$  при градиентах, равных  $0,22^{\circ}$ — $0,26^{\circ}$ . Предельная погрешность разовых измерений изменяется от  $0,02^{\circ}$ — $0,05^{\circ}$  до  $1,3^{\circ}$  (при градиентах  $0,009^{\circ}$ — $0,40^{\circ}$ ). Как правило, с увеличением градиента температуры воды ошибки возрастают.

3. При градиентах температуры порядка  $0,01^{\circ}$  и  $0,005^{\circ}$  суммарная ошибка перекрывается точностью методов наблюдения.

4. При наличии развитой стратификации относительная погрешность параметров изменчивости  $\sigma$  и  $B$ , обусловленная случайными ошибками, достигает 10—20%. По-видимому, на большинстве станций эта погрешность лежит в пределах точности вычисления средних показателей изменчивости.

5. Несмотря на наличие ошибок в измерениях, их влияние не сказывается на закономерном ходе температуры. Доказательством

этого может служить различие значений дисперсий температур на горизонтах, закономерный рост временных структурных функций на горизонтах и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Н. Д. Испытания глубоководных термометров на точность измерения. Тр. ГОИН, № 63, 1961.
2. Длинн А. М. Математическая статистика в технике. Изд-во «Наука», М., 1958.
3. Иванов Ю. А., Павлов В. М. О повышении точности выхода батометров на заданные горизонты. Тр. ИО АН СССР, т. 39, 1960.
4. Методика расчета качки корабля на нерегулярном волнении. Тр. ЦНИИ им. Крылова, вып. 103, 1956.
5. Левченко С. П. Некоторые результаты наблюдений над качкой судов в море. Тр. ВМА им. Ленина, 1964.
6. Поздынин В. Д. Об измерениях температуры воды в море. Океанология, № 1, 1964.
7. Руководство по тарированию и поверке морских гидрометеорологических приборов. Гидрометеониздат, Л., 1959.
8. Руководство по производству работ на стандартных гидрологических разрезах. Гидрометеониздат, Л., 1954.
9. Яглом А. М. Об учете инерции метеорологических приборов. Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, № 24 (151), 1954.
10. Cook N. H., Rabinowicz E. Physical Measurement and Analysis Reading 1963.

## РАСЧЕТ НЕНАПРАВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Существующая методика расчета цилиндрических пьезопреобразователей [1, 2] позволяет выбирать различные соотношения линейных размеров цилиндра для обеспечения заданных значений электрических и механических параметров преобразователя. В то же время методика не обеспечивает возможности определения наивыгоднейших соотношений линейных размеров. Между тем такая возможность существует и может быть показана на примере расчета ненаправленных пьезопреобразователей, работающих в режиме приема и излучения.

Размеры цилиндра — наружный радиус  $r_a$  внутренний радиус  $r_i$  и высота  $h$  — определяются электрическими и механическими параметрами, но не все одинаково влияют на выбор размеров. Известно, что при возбуждении в кольцевом цилиндре возникают два вида радиальных колебаний растяжения—сжатия как вследствие продольного, так и вследствие поперечного пьезоэффекта [3, 4]. При поперечных колебаниях собственная частота определяется выражением

$$f_{rt} = \frac{1}{2\pi \left( \frac{r_a + r_i}{2} \right)} \sqrt{\frac{1}{S_{hk} \rho_1}} = \frac{A_2}{r_a + r_i} \quad (1)$$

При продольных колебаниях собственная частота определяется формулой

$$f_{r,d} = \frac{1}{2(r_a - r_i)} \sqrt{\frac{C_{hk}}{\rho_1}} = \frac{A_2}{r_a - r_i} \quad (2)$$

Здесь  $C_{hk}$  — модуль упругости;  $S_{hk}$  — постоянная гибкости;  $\rho_1$  — плотность пьезокерамики;

$$A_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_{hk}}{\rho_1}} \quad \text{и} \quad A_2 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1}{S_{hk} \rho_1}}$$

Ограничим рассмотрение вопроса случаем расчета вибраторов, работающих на основной частоте поперечных колебаний. Из выражений (1) и (2) следует

$$\left. \begin{aligned} r_a - r_i &= \frac{A_1}{f_{rД}} = \varphi_1(f_{rД}), \\ 2r_a &= \frac{A_1}{f_{rД}} + \frac{A_2}{f_{rт}} = \varphi_2(f_{rД}, f_{rт}), \\ 2r_i &= \frac{A_2}{f_{rт}} - \frac{A_1}{f_{rД}} = \varphi_3(f_{rД}, f_{rт}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Зададимся основными зависимостями, влияющими на выбор линейных размеров цилиндра. Обычно бывает известен или задан диапазон рабочих частот канала связи и поэтому можно записать

$$f_1 \leq f_{rт} \leq f_2, \quad (4)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  — граничные частоты рабочего диапазона.

Максимальное значение отношения толщины стенки цилиндра к его наружному диаметру также ограничено и не должно превышать определенной величины (5, 6), и так как это отношение существенно положительно, то будет справедливо выражение

$$0 \leq \frac{\varphi_1(f_{rД})}{\varphi_2(f_{rД}, f_{rт})} \leq \beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  — допустимая величина отношения  $d$  к  $D$ .

Преобразуя это неравенство относительно  $f_{rД}$ , получаем

$$\frac{\varphi_1(f_{rД})}{\varphi_2(f_{rД}, f_{rт})} = \frac{1}{1 + \alpha \frac{f_{rД}}{f_{rт}}},$$

где  $\alpha = \frac{A_2}{A_1}$ , т. е.  $\frac{1}{1 + \alpha \frac{f_{rД}}{f_{rт}}} \leq \beta$ .

Откуда

$$f_{rД} \geq \frac{1 - \beta}{\alpha \beta} f_{rт}. \quad (6)$$

Минимальная толщина стенки цилиндра определяется прочностью при заданном наружном давлении и необходимостью обеспечения минимальных искажений звукового поля, иначе говоря, сжимаемость цилиндрического элемента должна быть значи-

тельно меньшей, чем сжимаемость жидкой среды. Если  $\mu$  — допустимая минимальная толщина стенки цилиндра, то  $\mu \leq \varphi_1(f, d)$ , т. е.

$$f_{r,d} \leq \frac{A_1}{\mu} \quad (7)$$

При расчете цилиндрических пьезопреобразователей и выборе оптимальных линейных размеров возникает вопрос о допустимых величинах собственной электрической емкости преобразователя, которая определяет коэффициент передачи входной цепи. Включение преобразователя на входе приемно-усилительного тракта возможно по аperiodической и резонансной схемам. Анализ показал, что применение аperiodического входа ненамного ухудшает коэффициент передачи и в то же время он значительно более прост в настройке и эксплуатации. Из анализа эквивалентной схемы входной цепи следует

$$\kappa = \left| \frac{U_{\sigma}}{E} \right| = \varphi(f, C_{\Phi}) = \frac{2\pi f C_{\Phi} R_{\text{вх}}}{\sqrt{[2\pi f R_{\text{вх}} (C_{\Phi} + C_0)]^2 + 1}} \quad (8)$$

или после ряда преобразований

$$C_{\Phi} \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{г}} R_{\text{вх}}} \sqrt{\frac{\kappa^2}{1 - \kappa^2}} \quad (9)$$

Как известно [7], диаграмма направленности цилиндрического преобразователя определяется выражением

$$R_{\gamma} = \sqrt{\frac{J_0^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \gamma\right) + J_1^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \gamma\right) \cos^2 \gamma}{J_0^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right) + J_1^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)}} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma\right)}{\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma} \quad (10)$$

Здесь  $J_0$  и  $J_1$  — функции Бесселя соответственно нулевого и первого порядка;  $d$  — наружный диаметр цилиндра;  $h$  — высота цилиндра;  $\gamma$  — угол между осью главного лепестка диаграммы направленности и выбранным направлением.

При условии, что величины  $\lambda$  и  $h$  будут одного порядка, можно считать подкоренное выражение примерно равным единице, и тогда выражение для диаграммы направленности примет вид

$$R_{\gamma} = \frac{\sin\left(\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma\right)}{\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma} \quad (11)$$

Так как допустимой величиной  $\bar{R}_\gamma$  обычно задаются, то выражение для  $R_\gamma$  переписывается в неравенство

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma\right)}{\frac{\pi h}{\lambda} \sin \gamma} \geq R_\gamma. \quad (12)$$

После преобразований получаем

$$h \leq \frac{\sin(A_0 \cdot f_{rt} \cdot h)}{A_1 \cdot f_{rt}}, \quad (13)$$

где

$$A_0 = \frac{\pi \sin \gamma}{C_{зв}}.$$

Отсюда

$$h \leq \frac{C_{зв}}{\pi R_\gamma \sin \gamma} \cdot \frac{2}{f_{rt}}. \quad (14)$$

Собственная емкость цилиндра определяется выражением

$$C_\phi = \frac{287h}{\lg \frac{r_a}{r_i}} = \frac{1,1 \varepsilon h}{2 \ln \frac{r_a}{r_i}}. \quad (15)$$

Здесь  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость.

Но так как должны выполняться неравенства (9) и (14), то

$$\frac{287 C_{зв}}{\pi R_\gamma \sin \gamma \cdot f_{rt} \cdot \lg \frac{r_a}{r_i}} \geq \frac{10^{12}}{2\pi R_{вх} f_{rt}} \sqrt{\frac{\kappa^2}{1-\kappa^2}}. \quad (16)$$

Отсюда очевидно

$$f_{рд} \geq \frac{1}{\alpha} \left(1 + \frac{2}{10^6 - 1}\right) f_{rt}, \quad (17)$$

где

$$\alpha = \frac{574 \cdot 10^{-12} R_{вх} \cdot C_{зв}}{R_\gamma \sin \gamma} \sqrt{\frac{1-\kappa^2}{\kappa^2}}.$$

В результате получена четкая зависимость двух частот колебаний пьезоцилиндра, работающего в режиме приема, определяемая собственной электрической емкостью, коэффициентом передачи

входной цепи и диаграммой направленности преобразователя. Выражения (4), (6), (7) и (17) дают систему двух неравенств, определяющих возможные соотношения между собственными частотами  $f_{рд}$  и  $f_{rt}$

$$\left. \begin{aligned} \max \left\{ \frac{1}{\alpha} \left( 1 + \frac{2}{10^{\delta} - 1} \right) f_{rt}; \frac{1 - \beta}{\alpha \beta} f_{rt} \right\} \leq f_{рд} \leq \frac{A_1}{\mu}, \\ f_1 \leq f_{rt} \leq f_2. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

На рис. 1 приведено графическое решение системы неравенств (18), из которого видно, что любая точка из заштрихованной области удовлетворяет решению данной системы. Необходимо найти наиболее выгодное соотношение между  $f_{рд}$  и  $f_{rt}$ . Критерием для расчета приемного вибратора может служить, например, получение

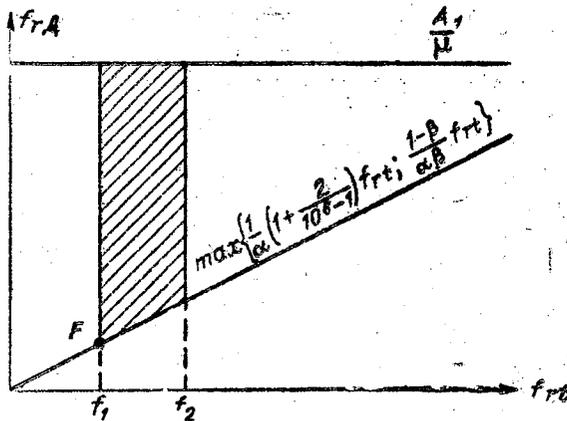


Рис. 1. Графическое решение системы неравенств 18.

максимальной чувствительности пьезопреобразователя. Как следует из анализа зависимостей, которым подчиняется резонансная чувствительность, величина ее увеличивается с уменьшением собственной частоты продольных колебаний  $f_{рд}$ . Поэтому оптимальным будет соотношение, определяемое точкой  $F$  (рис. 1). Решая совместно уравнения (1), (2) и (14), легко можно определить оптимальные линейные размеры пьезоцилиндра.

При расчете цилиндрических излучателей на выбор оптимальных размеров влияют и другие параметры. Так, например, акустическое давление  $p_c$  на расстоянии  $r$  определяется выражением

$$p_c = \sqrt{J(p_c)_{cp}} 10^7. \quad (19)$$

Отсюда нетрудно получить

$$f_{рд} \ll \frac{75A_1 C_{зв} f_{rt} \cdot J}{(\pi R_\gamma \sin \gamma \rho_c r)^2 10^{0,1\beta r} f_{rt}^2 - 75A_2 J C_{зв}} \quad (20)$$

Обычно второй член в знаменателе мал по сравнению с первым членом и им можно пренебречь. Тогда выражение (19) приобретает вид

$$f_{рд} \ll \frac{75A_1 C_{зв} \cdot J}{(\pi R_\gamma \sin \gamma \rho_c r)^2 10^{0,1\beta r}} \cdot \frac{1}{f_{rt}} \quad (21)$$

Существенно важным является определение необходимого напряжения возбуждения пьезовибратора:

$$U = \sqrt{\frac{r_a}{h} \cdot \frac{P_a(\rho c)_{cp} \cdot 9 \cdot 10^{11}}{\pi E_{ю}^2 d_{31}^2 \eta_{a/m}^2}} \quad (22)$$

Здесь  $P_a$  — мощность излучения,  $вт$ ;  $\rho c_{cp}$  — акустическое сопротивление среды,  $г/см^2 \cdot сек$ ;  $E_{ю}$  — модуль Юнга,  $дн/см^2$ .

Так как

$$2r_a = \left( \frac{0,1A_1}{f_{рд}} + \frac{0,1A_2}{f_{rt}} \right),$$

где  $r_a$  — в  $см$  и  $f$  — в  $кГц$ ,  
и

$$2h = \frac{2C_{зв} \cdot 10^{-3}}{f_{rt} \cdot \pi R_\gamma \sin \gamma},$$

то

$$f_{рд} = \frac{0,1 \cdot A_1 \cdot P_a(\rho c)_{cp} \cdot 9 \cdot 10^{11} \cdot f_{rt}}{\pi E_{ю}^2 d_{31}^2 \eta_{a/m}^2 \left( \frac{2C_{зв} U^2 10^{-3}}{\pi R_\gamma \sin \gamma} - \frac{A_2 P_a(\rho c)_{cp} 0,9 \cdot 10^{11}}{\pi E_{ю}^2 d_{31}^2 \eta_{a/m}^2} \right)} \quad (23)$$

Следовательно, для получения минимального напряжения возбуждения необходимо уменьшать  $f_{rt}$  и увеличивать  $f_{рд}$ .

Из рассмотрения полученных выражений видно, что имеется система неравенств, определяющая поле возможных значений частот поперечных и продольных колебаний пьезоцилиндра, удовлетворяющих требованиям

$$\frac{1-\beta}{\alpha\beta} f_{rt} \ll f_{рд} \ll \min \left\{ \frac{1}{2\rho_1 \sqrt{\frac{C_{нр}}{\rho_1}}}; \frac{75A_1 J C_{зв}}{(\pi R_\gamma \sin \gamma \rho_c r)^2 10^{0,1\beta r} f_{rt}} \right\}, \quad (24)$$

$$f_1 \ll f_{rt} \ll f_2.$$

Графическое решение системы (24) приведено на рис. 2. Любая точка из заштрихованной области удовлетворяет решению данной системы неравенств, но так как при уменьшении частоты поперечных колебаний  $f_{rt}$  и увеличении частоты продольных колебаний  $f_{rd}$  потребуется меньшее напряжение возбуждения, то оптимальной будет точка  $D$  (рис. 2), т. е. критерием при расчете излучателя

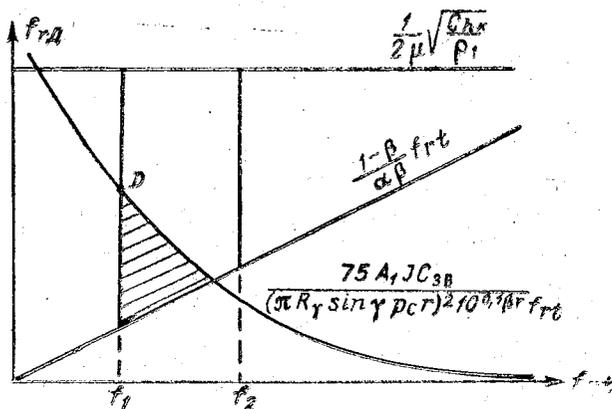


Рис. 2. Графическое решение системы неравенств 24.

может служить получение минимального напряжения возбуждения. Оптимальные размеры цилиндра, как и в первом случае, находятся из совместного решения уравнений (1), (2) и (14).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева А. А. Ненаправленные керамические звукоприемники. Акустический журнал, т. 2, вып. 1, 1956.
2. Ананьева А. А. Керамические приемники звука. Изд-во АН СССР, М., 1963.
3. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. ИЛ, М., 1956.
4. Матаушек И. Ультразвуковая техника. ИЛ, М., 1962.
5. Голубков Е. П. К вопросу о колебаниях пьезоэлектрических трубок. Акустический журнал, т. XII, вып. 1, 1966.
6. Гензель Г. С., Заездный А. М. Основы акустики. М.-Л., 1952.
7. Попилов Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Гостехиздат, М.-Л., 1963.

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одним из основных требований, предъявляемых к каналу связи автономной гидрологической системы, является обеспечение необходимой помехозащищенности. Помехозащищенность канала связи должна быть достаточной для предотвращения приема ложной информации в автономных системах телеуправления и телеизмерения. Вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала в системах телеуправления не должны превышать значений соответственно 0,05 и 0,01. В системах телеизмерения вероятность правильного приема информации должна быть не меньше 0,8.

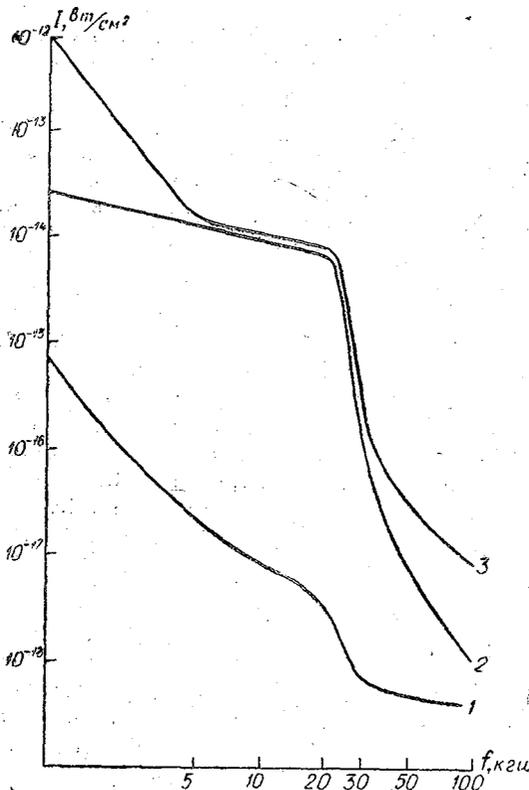
В гидроакустическом канале связи передача информации в большинстве случаев осуществляется элементарными сигналами — звуковыми импульсами в виде отрезка синусоиды — на фоне флуктуационных помех. Помехоустойчивость приемников элементарных сигналов повышается при сужении их полосы пропускания и при увеличении относительного порога срабатывания. Комбинируя этими параметрами, можно практически обеспечить требуемую степень помехозащищенности системы при известном уровне помех в канале связи. Таким образом, помехозащищенность канала связи может быть обеспечена выбором рабочей частоты из диапазона с минимальным уровнем помех естественного и искусственного происхождения, свойственных конкретному району Мирового океана, и выбором соответствующих значений полосы пропускания приемо-усилительного тракта и его пороговой чувствительности.

Предпочтительный диапазон рабочих частот может быть определен в результате совместного рассмотрения помех, создаваемых различными источниками. Они маскируют полезный сигнал независимо друг от друга и могут действовать как самостоятельно, так и в некоторых сочетаниях, причем уровень помехи, создаваемый каждым источником, подчинен свойственному ей закону распределения. В реальных условиях помеха одного вида создается действием большого числа однородных источников и, согласно пре-

дельной теореме Ляпунова, закон распределения их суммы сколь угодно близок к нормальному. При совместном действии источников помех, подчиненных нормальному закону, получаем суммарную помеху, также подчиненную нормальному закону, причем математические ожидания и квадраты вероятных отклонений суммируются алгебраически, т. е.

$$g(z) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2}} e^{-\frac{\left[z - \sum_{i=1}^n m_{x_i}\right]^2}{2(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}} \quad (1)$$

Таким образом, для некоторых типовых районов Мирового океана можно построить спектральные характеристики суммарных



Спектральные характеристики суммарных помех.  
1 — для арктических районов; 2 — для районов умеренных широт;  
3 — для тропических районов.

помех с учетом некоторых компонент естественного и искусственного происхождения. На рисунке приведен график, характеризующий уровень таких помех для арктических районов (кривая 1), в районах умеренных (кривая 2) и тропических (кривая 3) широт. Здесь видно, что с точки зрения уменьшения влияния помех на качество передаваемой информации рабочие частоты канала связи должны превышать 26 ÷ 30 кГц.

Уровень шума, воспринимаемый приемным устройством, зависит от ширины полосы пропускания приемо-усилительного тракта. Для правильной оценки параметров канала связи необходимо определить диапазон возможных значений полосы пропускания. Анализ показывает, что в автономных гидрологических системах основным фактором, влияющим на выбор полосы пропускания, является длительность импульса. Последняя зависит как от количества информации, передачу которой должен обеспечить канал связи, так и от вида кодирования информации. С учетом особенностей применения канала связи в автономных гидрологических системах полоса пропускания может принимать значения в пределах 25 ÷ 1500 гц.

Исходя из примерной оценки рабочей частоты и полосы пропускания, можно определить пороговые значения акустического давления и интенсивности сигнала в точке приема для обеспечения заданных вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала. Эти значения определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{сн}} &= \delta^2 I_{\text{п}}, \\ p_{\text{сн}} &= \delta p_{\text{п}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Коэффициент распознавания  $\delta$  в выражении (2) характеризует вероятность приема полезного сигнала определенного уровня. Правильный выбор величины  $\delta$  позволяет оценить пороговую чувствительность для достижения необходимой надежности системы. В свою очередь, коэффициент  $\delta$  может быть найден из соотношения

$$\frac{\delta^2}{\sqrt{1+2\delta^2}} = \frac{\delta_A}{\sqrt{\Delta f T}} \quad (3)$$

при условии, что усилительный тракт обладает частотной характеристикой, близкой по форме к частотной кривой резонансного контура. В выражении (3)  $\delta_A$  — отношение напряжения сигнала к напряжению помехи на входе индикатора;  $\Delta f$  — полоса пропускания приемо-усилительного тракта, гц;  $T$  — время усреднения сигнала.

При решении задачи по обнаружению полезного сигнала на фоне флуктуационной помехи необходимо совместное рассмотрение статистических гипотез наличия только помехи и наличия смеси

сигнала и помехи. Распределение вероятностей суммы сигнал + помеха в общем случае (для  $\frac{U_{mc}}{\sigma_n} \gg 3$ ) подчиняется нормальному закону, и плотность вероятностей огибающей суммы сигнал + помеха будет

$$f_{nc}(U) = \frac{U}{\sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_c^2}} \exp \left[ -\frac{U^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_c^2)} \right]. \quad (4)$$

Здесь  $\sigma_c$ ,  $\sigma_n$  — среднеквадратичные значения сигнала и помехи.

Плотность вероятностей огибающей помехи в этом случае равна

$$f_n(U) = \frac{U}{\sigma_n} \exp \left[ -\frac{U^2}{2\sigma_n^2} \right], \quad (5)$$

и вероятности принятия правильного и ошибочного решений могут быть получены в виде

$$p_{\text{ош}} = q \cdot \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2\sigma_n^2} \right] + p \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_c^2)} \right] \right\}, \quad (6)$$

$$p_{\text{прав}} = 1 - \left\{ q \cdot \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2\sigma_n^2} \right] + p \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_c^2)} \right] \right\} \right\}. \quad (7)$$

При использовании критерия «идеального наблюдателя» вероятность неправильного решения сводится к минимуму в результате сравнения наблюдаемых значений огибающей с оптимальным пороговым уровнем  $U_{\text{опт}}$ , который находится из условия минимума выражения

$$q \cdot \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2\sigma_n^2} \right] + p \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_c^2)} \right] \right\}. \quad (8)$$

Путем некоторых преобразований можно получить для вероятности принятия правильного решения

$$p_{\text{прав}} = 1 - 0,5 \left\{ 1 + \exp \left[ -\frac{\ln \left( 1 + \frac{\sigma_c^2}{\sigma_n^2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\sigma_c^2}{\sigma_n^2} \right) \sigma_n^2}{\sigma_c^2} \right] - \exp \left[ -\frac{\ln \left( 1 + \frac{\sigma_c^2}{\sigma_n^2} \right) \sigma_n^2}{\sigma_c^2} \right] \right\}. \quad (9)$$

Так как

$$p_{\text{прав}} = \Phi \left[ \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_n} \right)^2 \right], \quad (10)$$

то можно определить величину  $\delta_A = \frac{\sigma_c}{\sigma_n}$  для заданных значений  $P_{\text{прав}}$ .  
 Например, для  $P_{\text{прав}} = 0,8$  имеем  $\delta_A = 5$ .

В случае использования критерия Неймана-Пирсона задаются величиной условной вероятности ложной тревоги  $F$

$$F = \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} f_{\text{н}}(U) dU = \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2\sigma_n^2} \right] \quad (11)$$

и условной вероятностью пропуска сигнала  $H$

$$H = \int_0^{U_{\text{пор}}} f_{\text{нс}}(U) dU = 1 - \exp \left[ -\frac{U_{\text{пор}}^2}{2(\sigma_n^2 + \sigma_c^2)} \right]. \quad (12)$$

В этом случае для оптимального порогового уровня можно легко получить

$$\delta_A^2 = \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_n} \right)^2 = \frac{\ln F}{\ln(1-H)} - 1. \quad (13)$$

При принятых значениях  $F=0,05$  и  $H=0,1$  для отношения сигнал/помеха на входе индикатора получаем  $\delta_A \cong 3$ . Используя полученные значения  $\delta_A$ , можно определить величину коэффициента распознавания для некоторых типовых значений времени усреднения  $T$  (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент  $\delta = \varphi(\delta_A, \Delta f, T)$

$\delta_A$	$T, \text{ мсек}$					
	25	100	200	300	400	500
$\Delta f = 25 \text{ гц}$						
3	5,4	2,8	2,1	1,7	1,5	1,35
5	9	4,6	3,3	2,7	2,4	2,1
$\Delta f = 250 \text{ гц}$						
3	1,8	1,1	0,65	0,5	0,4	0,35
5	2,9	1,8	1,1	0,8	0,65	0,56
$\Delta f = 1500 \text{ гц}$						
3	0,9	0,56	0,46	0,41	0,38	0,37
5	1,35	0,87	0,72	0,64	0,59	0,58

Для выбора полосы пропускания можно сравнить пороговые интенсивности (акустические давления) сигнала в точке приема в зависимости от ширины полосы пропускания и длительности импульса. Это, в свою очередь, позволяет задать необходимую чувствительность приемного устройства с учетом чувствительности электроакустического преобразователя. Результаты анализа, проведенного для арктических районов, показаны в табл. 2.

Таблица 2

$\delta$	Пороговая интенсивность $I_{\text{пор}}$		
	$\Delta f, \text{ гц}$		
	25	250	1500
5,4	$52,5 \cdot 10^{-15}$	—	—
2,8	$14,1 \cdot 10^{-15}$	—	—
2,1	$7,95 \cdot 10^{-15}$	—	—
1,8	—	$58,4 \cdot 10^{-15}$	—
1,7	$5,20 \cdot 10^{-15}$	—	—
1,5	$4,05 \cdot 10^{-15}$	—	—
1,35	$3,28 \cdot 10^{-15}$	—	—
1,1	—	$21,8 \cdot 10^{-15}$	—
0,9	—	—	$81,0 \cdot 10^{-15}$
0,65	—	$7,68 \cdot 10^{-15}$	—
0,56	—	—	$31,4 \cdot 10^{-15}$
0,50	—	$4,40 \cdot 10^{-15}$	—
0,46	—	—	$21,2 \cdot 10^{-15}$
0,41	—	—	$16,8 \cdot 10^{-15}$
0,40	—	$2,88 \cdot 10^{-15}$	—
0,38	—	—	$14,5 \cdot 10^{-15}$
0,37	—	—	$13,7 \cdot 10^{-15}$
0,35	—	$1,97 \cdot 10^{-15}$	—

Здесь даны значения пороговой интенсивности  $I_{\text{пор}}$ , полученные для рабочей частоты канала связи  $f_0 = 30 \text{ кгц}$  и для трех значений полосы пропускания приемо-усилительного тракта. Минимальная пороговая интенсивность наблюдается при больших длительностях импульсов и при полосе пропускания  $\Delta f = 250 \text{ гц}$ .

Получаемые значения  $I_{\text{пор}}$  и  $P_{\text{пор}}$  позволяют определять чувствительность приемного устройства и акустическую мощность излучателя для достижения необходимой дальности действия системы и обеспечения заданной помехозащищенности канала связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тюлин В. Н. Основные явления, связанные с распространением акустических волн в морской среде. Л., 1956.
2. Тюрин А. М. Введение в теорию статистических методов в гидроакустике. Изд. ВМОДА, 1963.

## К РАСЧЕТУ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ ПРИ НАЛИЧИИ ЛОКАЛЬНЫХ ШУМОВ ИСТОЧНИКА

Вопросы использования гидроакустического канала для связи с автономными гидрологическими системами, находящимися в подводном положении, в настоящее время приобретают все более важное значение. Одновременно растут требования к дальности, объему и верности передаваемой информации. В гидроакустическом канале (в связи с сильной зависимостью коэффициента затухания от частоты) особенно важными становятся вопросы оптимизации параметров систем связи. В литературе [1, 2] недостаточно полно освещены вопросы расчета параметров гидроакустической линии связи при наличии мешающих воздействий в виде локальных помех весьма высокого уровня, создаваемых различными источниками, находящимися в зоне действия системы связи. Такими источниками могут быть корабли, катера или же сама гидрологическая система.

Энергетическая дальность действия гидроакустических средств связи определяется [1] из выражения

$$I_c = \delta^2 I_n, \quad (1)$$

где  $I_c$  и  $I_n$  — соответственно интенсивности акустического сигнала и суммарных помех, действующих в канале, приведенные ко входу гидроакустического преобразователя;  $\delta$  — коэффициент распознавания. Величина  $\delta^2$  рассчитывается исходя из заданной верности передачи информации при определенном критерии [3] и является заданной при выборе оптимальной частоты. В общем случае на приемное устройство воздействует суммарная помеха  $I_n$ , состоящая из шумов моря  $I_{ш. м.}$  и шумов источников помех  $I_{ш. и.}$ . В связи с этим выражение (1) может быть записано так:

$$I_c = \delta^2 (I_{ш. и.} + I_{ш. м.}). \quad (2)$$

Сделав допущения о ненаправленном характере локальных шумов и изотропности шумов моря, уравнение (2) можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \frac{P_a \cdot A^2}{4\pi r_1^2} \cdot \gamma_1 \cdot R_1^2(\alpha, \vartheta) \cdot \gamma_2 \cdot R_{\text{пр}}^2(\alpha, \vartheta) \cdot 10^{-0.1\beta r_1} = \\ & = \delta^2 \cdot \left( \frac{r_0^2}{r_2^2} \gamma_2 R_{\text{пр}}^2(\alpha, \vartheta) \cdot \int_{f_1}^{f_2} S_{\text{ш. и.}}(f) \cdot df \cdot 10^{-0.1\beta r_2} + \right. \\ & \quad \left. + \frac{1}{\gamma_2} \int_{f_1}^{f_2} S_{\text{ш. м.}}(f) df \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_a$  — акустическая мощность сигнала;  $A$  — величина аномалии в точке приема;  $r_1, r_2$  — дальности соответственно до источника сигнала и источника локальных помех;  $\gamma_1 \cdot R_1^2(\alpha, \vartheta), \gamma_2 \cdot R_{\text{пр}}^2(\alpha, \vartheta)$  — пространственные направленности передающего и приемного преобразователей соответственно;  $S_{\text{ш. и.}}(f), S_{\text{ш. м.}}(f)$  — соответственно энергетические спектральные плотности локальных шумов источника, приведенных к расстоянию  $r_0$ , и шумов моря;  $\beta$  — коэффициент затухания.

На рис. 1 показана схема расположения источников помех приемного устройства и гидрологической системы. Спектральные плот-

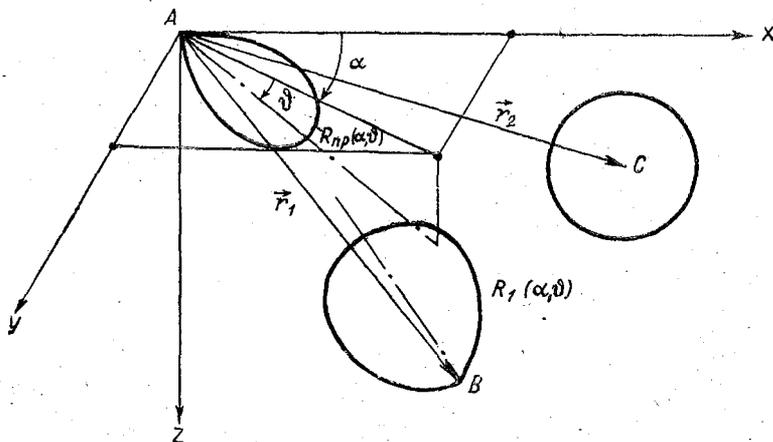


Рис. 1. Схема расположения источников помех.

A — приемное устройство; B — источник сигналов; C — источник локальных шумов.

ности шумов широкого класса источников и шумов моря имеют приблизительно одинаковый характер убывания с частотой и с до-

статочной для практики точностью могут быть аппроксимированы зависимостью [1]

$$S(f) = \begin{cases} \frac{a}{f^2} & \text{при } f > 1 \text{ кгц;} \\ a & \text{при } f \leq 1 \text{ кгц.} \end{cases} \quad (4)$$

В соответствии с этим введем обозначения:

$$S_{\text{ш. и.}}(f) = \frac{a}{f^2}; \quad S_{\text{ш. м.}}(f) = \frac{b}{f^2}. \quad (5)$$

Тогда

$$\int_{f_1}^{f_2} S_{\text{ш. и.}}(f) df = \int_{f_1}^{f_2} \frac{a}{f^2} df = \frac{a \cdot \Delta f}{f_1 \cdot f_2}, \quad (6)$$

где

$$f_1 = f_0 - \frac{\Delta f}{2}; \quad f_2 = f_0 + \frac{\Delta f}{2}.$$

При  $\frac{\Delta f}{2} \ll f_0$  выражение (6) принимает вид

$$\int_{f_1}^{f_2} \frac{a}{f^2} df \cong \frac{a \cdot \Delta f}{f^2}. \quad (7)$$

В общем случае необходимую эквивалентную полосу пропускания  $\Delta f$  можно представить в виде:

$$\Delta f = \kappa f_0, \quad (8)$$

где  $\kappa$  — коэффициент, зависящий от величины доплеровского сдвига частот, расстройки генератора, условий установления переходного процесса.

Для упрощения решения задачи можно принять некоторые допущения (рис. 1):

- 1)  $\vec{r}_1 \uparrow \uparrow \vec{r}_2$  и  $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2|$ ;
- 2)  $R_1(\alpha, \vartheta)$  и  $R_{\text{пр}}(\alpha, \vartheta)$  равны 1, что соответствует случаю пространственной направленности по главному максимуму;
- 3)  $\beta = 0,036 f^{3/2}$ , что является достаточно хорошей аппроксимацией коэффициента затухания.

После подстановки этих допущений и формул (8), (7) и (6) в выражение (3) последнее можно записать так:

$$P_a = \delta \cdot \kappa \cdot \frac{4\pi r^2 \cdot b}{\gamma_1 \gamma_2 \cdot A^2} \cdot \left( \frac{r_0^2}{r^2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{\gamma_2^2}{f_0} + \frac{1}{f_0} \cdot 10^{0,0036 f_0^{3/2} r} \right) \quad (9)$$

С возрастанием частоты спектральные плотности помех уменьшаются, но зато резко возрастает затухание сигнала. Значит, можно говорить об оптимальной частоте, которой соответствует при заданной дальности  $r$  наименьшая требуемая мощность  $P_a$  или, наоборот, которой соответствует при заданной мощности  $P_a$  максимальная дальность  $r$ . Исходя из выражения (10), удобнее осуществлять первый подход.

Условием минимума  $P_a$  является

$$\frac{\partial P_a}{\partial f_0} = 0.$$

Произведя дифференцирование выражения (9), после несложных преобразований получим

$$0,0124 \cdot f_{\text{опт}}^{3/2} \cdot r = 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \gamma_2^2 \cdot 10^{-0,0036 f_{\text{опт}}^{3/2} r} \quad (10)$$

Единицей в формуле (10) можно пренебречь. Как показывают расчеты, ошибка в определении  $f_{\text{опт}}$  в связи с этим не превышает 5—6%. Таким образом, выражение (10) можно записать как

$$f_{\text{опт}} \approx \frac{\sqrt[3]{B^2}}{r^2} \cdot 10^{-0,0024 f_{\text{опт}}^{3/2} r}, \quad (11)$$

где

$$B = \frac{a}{b} \cdot r_0^2 \cdot \gamma_2^2 \cdot 80,5.$$

Величина  $\frac{a}{b} = \frac{S_{\text{ш. п.}}(f)}{S_{\text{ш. м.}}(f)}$  изменяется в реальных случаях в пределах  $1 \leq \frac{a}{b} \leq 10^9$ . Величина пространственной направ-

ленности  $\gamma_2$  для реальных систем лежит в пределах  $1 \leq \gamma_2 \leq 10$ . Наиболее приемлемым значением является [4]  $\gamma_2 \approx 5$ .

На рис. 2 показана зависимость  $f_{\text{опт}}$  от расстояния связи  $r$ . Из рисунка видно, что с увеличением отношения  $\frac{a}{b}$  оптимальная частота возрастает, т. е. рабочие частоты смещаются в область меньших шумов.

На рис. 3 изображена зависимость условной мощности от частоты при разных расстояниях связи, полученная из выражения (9). При расчетах были приняты следующие значения величин:  $\kappa = 0,1$ ;  $\gamma_2 = 5$ ;  $a = 10^6 \text{ вт/км}^2 \text{ кгц}$ ;  $b = 10^{-3} \text{ вт/км}^2 \text{ кгц}$ ;  $r_0 = 10^{-3} \text{ км}$ ;  $\gamma_1 = 2$ ;  $A = 1$ .

Заштрихованные участки на рис. 3 показывают, что в диапазоне  $f < f_{\text{опт}}$  рабочие частоты можно выбирать в относительно широких областях. В этих областях энергетические характеристики

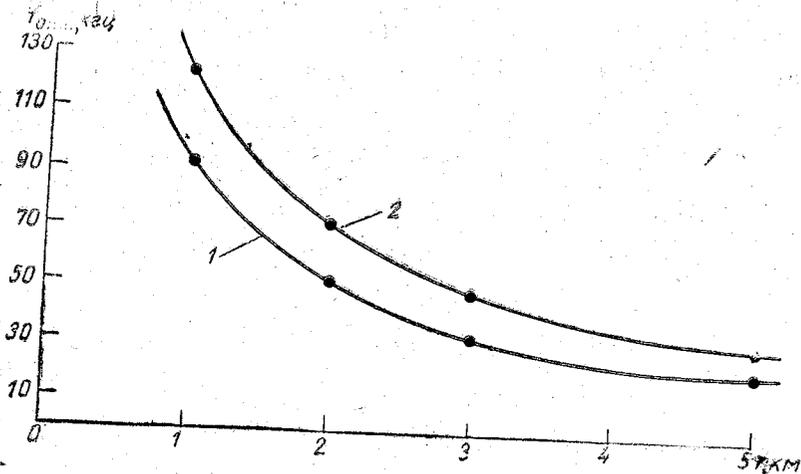


Рис. 2. Зависимость оптимальной частоты от расстояния связи.

1 -  $B=2 \cdot 10^5$ ; 2 -  $B=6.5 \cdot 10^7$ .

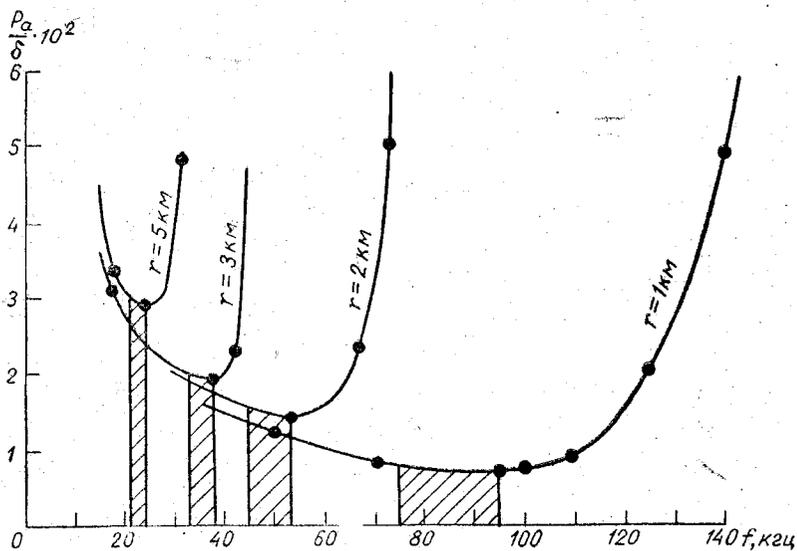


Рис. 3. Зависимость условной мощности от частоты при разных расстояниях связи.

системы приблизительно одинаковы, и выбор рабочих частот можно производить исходя из дополнительных условий, налагаемых на систему связи. В областях частот  $f > f_{opt}$  сказывается значение показательной функции (10) и зависимость  $P_a(f)$  резко возрастает. В связи с этим целесообразно выбирать рабочие частоты

в областях, у которых так  $f_{\text{раб}} = f_{\text{опт}}$ . С увеличением расстояния связи рабочие области значительно сужаются, что уменьшает свободу выбора рабочих частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сташкевич А. П. Акустика моря. Изд-во «Судостроение», Л., 1966.
  2. Тюлин В. Н. Основные явления, связанные с распространением акустических волн в морской среде. Л., 1956.
  3. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. Изд-во «Советское радио», М., 1963.
  4. Berkay H. O. and Garey B. K. Underwater telemetry. The Radio and Electronic engineer, N T-5, volume 33, No 5, may 1967.
-

## К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ УРОВНЕМЕРОМ С ВОЗДУШНЫМ КОЛОКОЛОМ

В настоящее время наряду с поплавковыми уровнемерами находят все большее применение уровнемеры, основанные на измерении гидростатического давления [1, 2]. Такие уровнемеры обладают целым рядом преимуществ перед поплавковыми, а именно: для их работы не требуется строительство колодезных установок, они могут быть использованы в замерзающих водоемах, гидростатические уровнемеры с воздушным колоколом могут обеспечить передачу величины гидростатического давления на расстояние, что позволяет размещать измерительную аппаратуру в более благоприятных условиях.

Однако при использовании воздушного колокола возникают методические погрешности в измерении уровня при изменении температуры воздуха внутри колокола и при изменении величины атмосферного давления на поверхности воды. Кроме того, вид зависимости давления воздуха в колоколе от уровня воды над колоколом существенно зависит от его формы. В ряде случаев весьма желательно иметь линейную зависимость.

Известно, что при опускании на дно водоема воздушного колокола, внутри его создается некоторое давление, величина которого равна сумме давления столба воды от поверхности водоема до уровня воды в колоколе и атмосферного давления

$$p = \gamma(H - x) + p_0, \quad (1)$$

где  $p$  — абсолютное давление воздуха внутри колокола;  $\gamma$  — удельный вес воды;  $H$  — глубина погружения нижней кромки колокола (см. рисунок);  $x$  — уровень воды в колоколе;  $p_0$  — атмосферное давление на поверхности воды.

Из этого уравнения видно, что если величина  $x$  будет пропорциональна величине  $H$ , т. е.

$$x = \kappa H, \quad (2)$$

где  $\kappa$  — некоторый коэффициент пропорциональности, то разность между давлением воздуха внутри колокола и атмосферным давлением оказывается прямо пропорциональной глубине погружения.

$$p - p^0 = \gamma(1 - \kappa)H. \quad (3)$$

Прежде всего выясним вопрос, какова должна быть форма колокола, чтобы выполнялось условие (2).

Для замкнутого объема газа справедливо уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p \frac{V}{T} = p_0^0 \frac{V_0}{T_0}, \quad (4)$$

где  $p$ ,  $V$ , и  $T$  — соответственно абсолютное давление, объем и абсолютная температура воздуха в любой момент времени;  $p_0^0$ ,  $V_0$  и  $T_0$  — то же в начальный момент (момент погружения колокола на дно водоема).

Объем воздуха  $V$  в колоколе равен

$$V = V_0 - V(x), \quad (5)$$

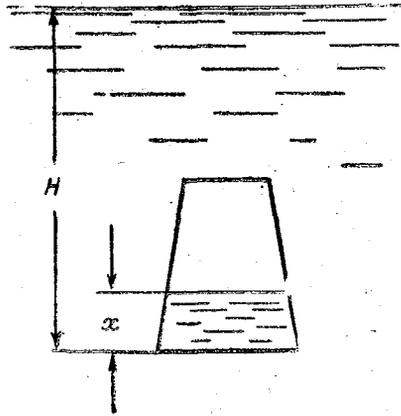
где  $V(x)$  — объем воды в колоколе.

Подставляя уравнения (4) и (5) в формулу (1) и решая ее относительно  $V(x)$ , получаем

$$V(x) = V_0 - \frac{p_0^0 V_0 T}{T_0} \cdot \frac{1}{p_0 + \gamma x \left( \frac{1 - \kappa}{\kappa} \right)}. \quad (6)$$

Заметим, что  $V(x) = \int_0^x S(x) dx$  (где  $S(x)$  — площадь поперечного сечения колокола). Дифференцируя уравнение (6) по  $x$ , найдем  $S(x)$

$$S(x) = \frac{p_0^0 V_0 T}{T_0} \cdot \frac{\gamma \left( \frac{1 - \kappa}{\kappa} \right)}{\left[ p_0 + \gamma x \left( \frac{1 - \kappa}{\kappa} \right) \right]^2}. \quad (7)$$



Воздушный колокол в погруженном состоянии.

Если воздушный колокол представляет собой тело вращения, то образующей его должна быть гипербола. Следовательно, уравнение (7) может быть представлено в виде

$$Sx = \frac{S_0}{\left(1 + \frac{x}{\tau}\right)^2}, \quad (8)$$

где  $S_0$  — площадь поперечного сечения нижней части колокола;  $\tau$  — некоторый параметр, имеющий размерность длины. Выясним физический смысл параметра  $\tau$ . Для этого найдем полный объем колокола  $V_0$

$$V_0 = \lim_{x \rightarrow \infty} \int_0^x S(x) dx = S_0 \tau \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{\tau + x} = S_0 \tau. \quad (9)$$

Таким образом,  $\tau$  — высота такого цилиндрического воздушного колокола с основанием  $S_0$ , объем которого равен колоколу бесконечной длины с гиперболической поверхностью.

Если глубина погружения колокола конечна, то гиперболическая часть колокола также может быть выполнена конечной длины.

Верхняя часть колокола может иметь произвольную форму, но объем ее должен быть равен объему оставшейся части гиперболоида. Если давление воздуха, находящегося в колоколе, передается по трубке, то ее внутренний объем должен быть включен в объем верхней части колокола.

Таким образом весь объем колокола можно представить состоящим из двух объемов: объема  $V_1$  верхней части колокола вместе с трубкой и объема  $V_2$  гиперболической части колокола, зависящего от максимальной глубины погружения  $H_{\max}$ . Если считать, что объем  $V_1$  целиком состоит только из внутреннего объема передающей трубки, то при заданной величине  $H_{\max}$  величина  $V_2$  может быть найдена из формулы (6) при подстановке в нее выражения (2)

$$V_2 = V_1 \left\{ \frac{T_0}{p_0 T} \left[ \gamma (1 - \kappa) H_{\max} + p_0 \right] - 1 \right\}. \quad (10)$$

В формулу (10) следует подставить максимально возможные значения  $T_0$ ,  $p_0$  и  $\gamma$  и минимально возможные  $T$  и  $p_0^0$ , чтобы гарантировалось отсутствие воды в передающей трубке. По этой же причине величину  $\kappa$ , равную

$$\kappa = \frac{l}{H_{\max}}, \quad (11)$$

где  $l$  — высота колокола, следует полагать в формуле (10) равной нулю.

Задаваясь далее величиной площади поперечного сечения  $S_0$  нижней части колокола, из формулы (9) может быть определена величина  $\tau$

$$\tau = \frac{V_1 + V_2}{S_0}, \quad (12)$$

играющая, как будет показано ниже, большую роль в величине методических погрешностей.

При выборе параметров колокола ( $S_0$  и  $\tau$ ) может быть найден закон изменения уровня  $x$  воды в колоколе. Действительно, объем воздуха под колоколом

$$V = V_0 - V(x) = V_0 \frac{\tau}{\tau + x}. \quad (13)$$

Подставляя это значение объема в формулу (4) и решая ее относительно  $p$ , находим

$$p = p_0^0 \frac{T}{T_0} \left( 1 + \frac{x}{\tau} \right). \quad (14)$$

Сравнивая уравнение (14) с уравнением (1), получаем окончательное выражение для определения  $x$ :

$$x = \tau \left[ \gamma \frac{(1 - \kappa)H + p_0}{p_0^0 \frac{T}{T_0}} - 1 \right]. \quad (15)$$

Из уравнения (15) видно, что при неизменных  $p_0$  и  $T$  ошибки в измерении  $H$  не возникает, так как  $x$  линейно зависит от  $H$ , однако прибор должен быть тарирован при его установке в месте измерения.

Если величины  $p_0$  и  $T$  изменяются, то возникают ошибки из-за смещения нуля тарировочной зависимости и изменения ее крутизны.

Пусть  $p_0 = p_0^0 + \Delta p$ , а  $T = T_0 + \Delta T$ , тогда, воспользовавшись формулой  $\frac{1}{1+z} \approx 1 - z$  и пренебрегая произведением величин  $\Delta p$  и  $\Delta T$ , получим

$$x + \Delta x = \tau \gamma \frac{(1 - \kappa)}{p_0^0} \left( 1 - \frac{\Delta T}{T_0} \right) H + \frac{\tau}{p_0^0} \left( \Delta p - p_0^0 \frac{\Delta T}{T_0} \right). \quad (16)$$

Максимальная абсолютная ошибка в измерении составляет

$$\Delta x_{\max} = \frac{\tau}{p_0^0} \left[ \gamma \frac{|\Delta T|}{T_0} H + |\Delta p| + p_0^0 \frac{|\Delta T|}{T_0} \right] \quad (17)$$

и при заданных величинах  $\Delta p$  и  $\Delta T$  зависит от диапазона измерения уровня  $H$  и от параметра  $\tau = \frac{V_0}{S_0}$ .

### Пример расчета колокола

Рассчитаем колокол, удовлетворяющий следующим требованиям:

- 1) расстояние  $L$  от колокола до измерительной аппаратуры 200 м;
- 2) диаметр  $d$  соединительной трубки 2 мм;
- 3) диапазон измерения уровня 2—12 м;
- 4) точность измерения уровня 1 см;
- 5) диапазон изменения температуры относительно  $T_0 = 280^\circ\text{K} \pm 10^\circ\text{C}$ ;
- 6) диапазон изменения атмосферного давления относительно  $p_0^0 = 1033$  см вод. ст.  $\pm 50$  см вод. ст.

Определим объем  $V_1$  соединительной трубки

$$V_1 = \frac{\pi d^2}{4} L = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 200 \cdot 10^2 = 628 \text{ см}^3.$$

Найдем объем  $V_2$  гиперболической части колокола по формуле (10)

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \left\{ \frac{T_0}{p_0^0 T} \left[ \gamma (1 - \kappa) H_{\max} + p_0 \right] - 1 \right\} = \\ &= 628 \left\{ \frac{290}{983 \cdot 270} \left[ 1 \cdot 1 \cdot 1200 + 1083 \right] - 1 \right\} = 940 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Определим параметр  $\tau$  колокола, исходя из максимальной абсолютной ошибки в измерении уровня, по формуле (17).

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\Delta x_{\max}}{\frac{1}{p_0^0} \left[ \gamma \frac{|\Delta T|}{T_0} H + \Delta p + p_0^0 \frac{\Delta T}{T_0} \right]} = \\ &= \frac{1 \cdot 1033}{\frac{10}{280} \cdot 500 + 50 + 1033 \frac{10}{280}} \approx 9,86 \text{ см}. \end{aligned}$$

Вычислим площадь поперечного сечения  $S_0^1$  и диаметр  $D_0$  нижней части колокола по формуле (12)

$$S_0 = \frac{V_1 + V_2}{\tau} = \frac{628 + 940}{9,86} = 159 \text{ см}^2; D_0 = \sqrt{\frac{4S_0}{\pi}} = 14,2 \text{ см}.$$

Найдем высоту колокола  $l$  из формулы (13)

$$l = \tau \frac{V_2}{V_1} = 9,86 \frac{940}{628} 14,8 \text{ см.}$$

Определим площадь поперечного сечения  $S$  и диаметр  $D$  верхней части колокола по формуле (8)

$$S = \frac{S_0}{\left(1 + \frac{l}{\tau}\right)^2} = \frac{159}{\left(1 + \frac{14,8}{9,86}\right)^2} = 63,6 \text{ см}^2; D = 9 \text{ см.}$$

### Выводы

Анализ методических погрешностей в измерении уровня гидро-статическим уровнемером с воздушным колоколом показывает, что:

- а) при изменении температуры воздуха внутри колокола и при изменении атмосферного давления возникают погрешности, абсолютная величина которых может быть найдена по формуле (17);
- б) величина методических погрешностей зависит от параметров колокола, а именно от величины отношения полного объема колокола  $V_0$  к площади поперечного сечения  $S_0$  нижней его части.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В. М. Гидростатический самописец уровня с пневматической передачей. Труды Государственного гидрологического института, вып. 84, 1960.
2. Димаксян А. М. Новые телеизмерительные гидрометеорологические приборы. Гидрометеониздат, Л., 1957.

*И. А. АРБУЗОВ, А. В. МИЛЬШТЕЙН*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ УРОВНЕМЕРАХ С УРАВНОВЕШИВАЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ**

Автоматические датчики давления находят в настоящее время широкое применение в гидрометеорологии при измерении атмосферного давления и измерении уровня воды в гидростатических уровнемерах.

Приборы для автоматического измерения давления могут быть разделены на два типа [1]:

1) приборы с датчиками прямого преобразования; в них, как правило, давление преобразуется чувствительным элементом в перемещение, которое затем измеряется;

2) приборы с датчиками уравновешивающего преобразования; здесь измеряемое давление преобразуется в силу или момент, которые автоматически уравновешиваются однородной величиной, а затем измеряются. Поскольку чувствительный элемент в этом случае служит лишь для обнаружения величины и знака разбаланса системы, то к его характеристике преобразования не предъявляется высоких требований кроме стабильности нулевого положения. Точность всего прибора зависит, главным образом, от точности цепи уравновешивания.

Такие приборы обладают очень малыми погрешностями и широко используются в новейших разработках. Однако при этом возникают вопросы обеспечения устойчивости работы всей системы, особенно быстродействующей.

Поскольку колебания среднего значения уровня воды в естественных водоемах происходят сравнительно медленно, то от следящих систем не требовалось бы быстродействия, если бы они работали непрерывно. В большинстве же случаев нет необходимости в непрерывном измерении уровня. Поэтому в автономных приборах целесообразно, с точки зрения экономии потребляемой энергии, иметь быстродействующую систему автоматического уравновешивания, которая включается непосредственно перед измерением, после чего выключается. При этом сокращается время рас-

хода энергии такими потребителями, как генераторы, усилители, преобразователи и др. Из этих же соображений лучше всего использовать в качестве исполнительного двигателя двигатель постоянного тока с постоянными магнитами. Управление двигателем наиболее просто осуществляется с помощью контактного преобразователя или реле (релейная система регулирования). В первом случае якорь контактного преобразователя может быть непосредственно связан с чувствительным элементом. Управление реле может осуществляться контактным или бесконтактным преобразователем с использованием (при необходимости) усилителей для повышения чувствительности системы.

Рассмотрим возможные схемы гидростатических уровнемеров.

На рис. 1 представлен датчик уравнивания давления, разработанный в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) и используемый для измерения

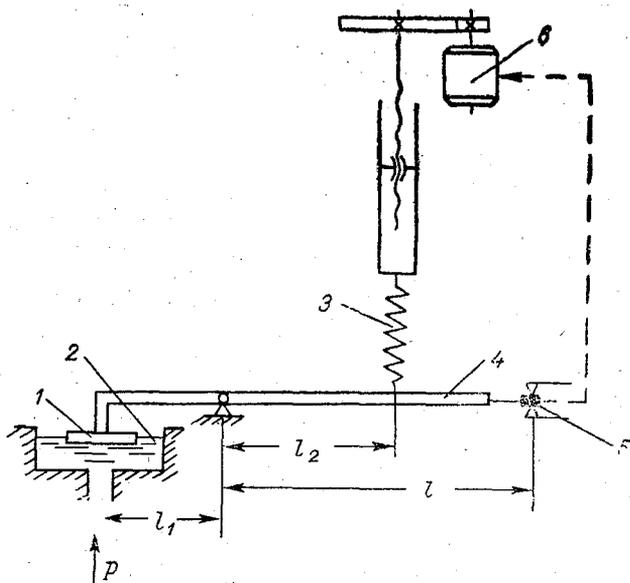


Рис. 1. Датчик давления с уравнивающей пружиной.  
Здесь и далее пояснения в тексте.

уровня воды на барах рек. Давление  $p$  столба воды преобразуется в силу поршнем 1, герметизированным резиновой диафрагмой 2. Компенсирующий момент создается цилиндрической пружиной 3, прикрепленной к коромыслу 4. Отклонение коромысла от положения равновесия фиксируется контактным преобразователем 5, который управляет направлением вращения двигателя 6 в соответствующую сторону до тех пор, пока коромысло не займет положение равновесия. Угол поворота микрометрического винта, таким образом, зависит от величины давления  $p$ .

На рис. 2 изображен датчик давления, разработанный в Научно-исследовательском институте гидрометеорологического приборостроения. Измеряемое давление  $p$  преобразуется в силу с помощью сифона 1. Компенсирующий момент создается весом тележки 2, перемещаемой по коромыслу двигателем 3. Давление  $p$

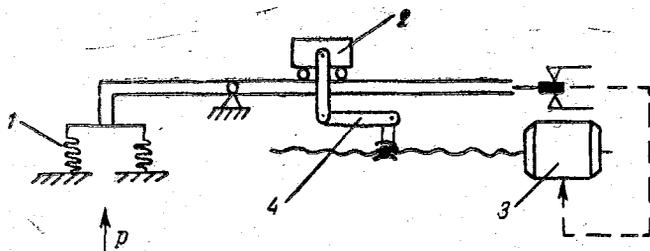


Рис. 2. Датчик давления с уравнивающим грузом.

в этом случае также преобразуется в угол поворота вала двигателя. Шарнирный механизм 4 обеспечивает жесткую связь гайки микрометрического винта с тележкой, но не препятствует качанию коромысла. Точность такого устройства выше, чем предыдущего, так как отсутствуют гистерезис и старение, свойственные пружине.

На рис. 3 представлен датчик, разработанный в ААНИИ совместно с ЛГМИ. Давление компенсируется столбом ртути, высота которого изменяется в соответствии с измеряемым давлением.

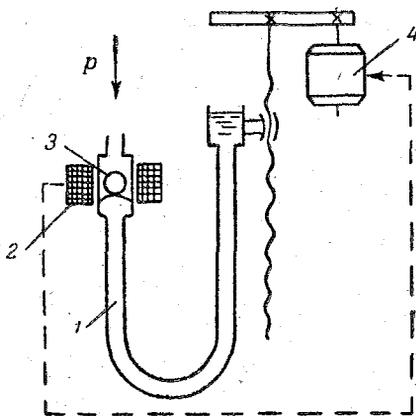


Рис. 3. Датчик давления с уравнивающим столбом жидкости.

Смещение уровня ртути в неподвижном колене  $U$ -образной резиновой трубки 1 фиксируется индуктивным дифференциальным преобразователем 2, сердечником которого служит стальной шарик 3, плавающий на поверхности ртути. Сигнал разбаланса подается на двигатель 4, который, вращая микрометрический винт, перемещает подвижное колено трубки с ртутью.

Несмотря на сравнительно широкое использование гидростатических уровнемеров с уравнивающим преобразованием, исследование их динамических свойств в литературе освещено недостаточно.

Для исследования динамики датчиков давления с уравнивающим преобразованием достаточно рассмотреть систему

регуляции, представленную на рис. 1, так как с точки зрения их динамических свойств все они подобны.

Для составления передаточной функции всей системы разделим ее на динамические звенья и найдем их передаточные функции.

Чувствительный элемент. Перемещение  $x$  якоря контактного преобразователя

$$x = \alpha \cdot l,$$

где  $\alpha$  — угол поворота коромысла;  $l$  — расстояние от контактов до оси 0, м.

Передаточная функция чувствительного элемента имеет вид

$$W_1(p) = \frac{x}{\alpha} = l. \quad (1)$$

Коромысло. Для нахождения дифференциального уравнения движения коромысла рассмотрим момент всех сил относительно точки 0

$$\begin{aligned} \Sigma M_0 = (J_k + M_1 l_1^2 + M_2 l_2^2) \ddot{\alpha} + D l_1 \dot{\alpha} + (x l_1^2 + c l_2^2) \alpha - \\ - \gamma H S_{\text{эфф}} l_1 + c l_2 \tilde{z} = 0, \end{aligned}$$

где  $J_k$  — момент инерции коромысла вместе с поршнем,  $\text{кгм}^2$ ;  $M_1$  — приведенная масса воды и диафрагмы, участвующие в движении,  $\text{кг}$ ;  $M_2$  — приведенная масса пружины,  $\text{кг}$ ;  $l_1$  и  $l_2$  — плечи коромысла, м;  $D$  — удельная сила вязкого трения,  $\text{ньютон} \cdot \text{сек}$ ;  $x$  и  $c$  — жесткости соответственно диафрагмы и пружины,  $\text{ньютон/м}$ ;  $\gamma$  — удельный вес воды,  $\text{ньютон/м}^3$ ;  $H$  — высота столба воды, м;  $S_{\text{эфф}}$  — эффективная площадь поршня,  $\text{м}^2$ ;  $\tilde{z}$  — перемещение конца пружины, прикрепленного к гайке микрометрического винта, м.

Пусть при  $H = \text{const}$  система находилась в равновесии ( $\alpha = 0$ ,  $\dot{\alpha} = 0$  и  $\ddot{\alpha} = 0$ ). Следовательно,

$$\gamma H S_{\text{эфф}} l_1 = c l_2 z_0. \quad (2)$$

Введем новую переменную  $\tilde{z} = z_0 + z$ , тогда

$$(J_k + M_1 l_1^2 + M_2 l_2^2) \ddot{\alpha} + D l_1 \dot{\alpha} + (x l_1 + c l_2) \alpha = - c l_2 z.$$

Введя обозначения:

$$T_k^2 = \frac{J_k + M_1 l_1^2 + M_2 l_2^2}{x l_1 + c l_2}; \quad 2\xi T_k = \frac{D l_1}{x l_1 + c l_2};$$

$$\kappa_k = \frac{c l_2}{x l_1 + c l_2} \quad \text{и} \quad p = \frac{\alpha}{\alpha t},$$

найдем передаточную функцию коромысла

$$W_2(p) = \frac{a}{z} = - \frac{\kappa_k}{(T_k^2 p^2 + 2\xi T_k p + 1)} \quad (3)$$

Двигатель. Двигатель с независимым возбуждением имеет передаточную функцию [2]

$$W_3(p) = \frac{\theta}{U} = \frac{\kappa_{дв}}{p(T_{дв} p + 1)}, \quad (4)$$

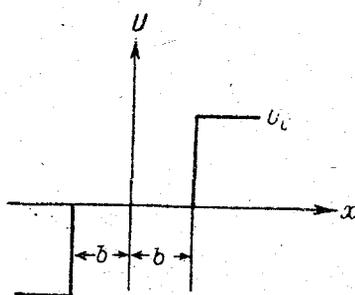
где  $\theta$  — угол поворота вала двигателя;  $U$  — напряжение, приложенное к двигателю,  $v$ ;  $\kappa_{дв}$  — коэффициент усиления двигателя,  $1/v \cdot \text{сек}$ ;  $T_{дв}$  — постоянная времени двигателя,  $\text{сек}$ .

Редуктор. Считая редуктор безынерционным звеном, запишем его передаточную функцию в виде

$$W_4(p) = \frac{z}{\theta} = \frac{1}{i}, \quad (5)$$

где  $i$  — передаточное число редуктора,  $1/m$ .

Контактный преобразователь. Уравнение контактного преобразователя, характеристика которого изображена на рис. 4, может быть записано в виде



$$U = \begin{cases} -U_0 & x < -b; \\ 0 & -b \leq x \leq b; \\ U_0 & x > b, \end{cases}$$

где  $b$  — зазор между якорем и одним из контактов.

Гармоническая линейризация [2] релейной характеристики контактного преобразователя дает

Рис. 4. Характеристика контактного преобразователя.

$$U = \frac{4U_0}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - b^2} \cdot x_1 \quad (6)$$

где  $U_0$  — напряжение источника питания двигателя,  $v$ ;  $a$  — амплитуда колебаний якоря контактного преобразователя,  $m$ .

На основании полученных передаточных звеньев может быть составлена структурная схема всей системы (рис. 5).

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид

$$(T_{дв} p + 1) (T_k^2 p^2 + 2\xi T_k p + 1) p + K \frac{4U_0}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - b^2} = 0, \quad (7)$$

где  $K = \kappa_{дв} \kappa_k \cdot l \cdot \frac{1}{i}$ .

Динамические свойства системы, описываемой уравнением (7), достаточно полно исследованы в работе [2]. В такой системе воз-

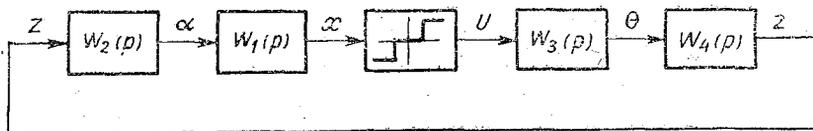


Рис. 5. Структурная схема датчика давления с уравнивающим преобразованием.

можны автоколебания с частотой, которая может быть найдена из соотношения

$$\omega_n^2 = \frac{1}{T_k(T_k + 2\xi T_{дв})} \quad (8)$$

Поскольку  $T_{дв} \ll T_k$ , то  $\omega_n \approx \frac{1}{T_k}$ .

В данном случае в системе могут возникнуть колебания с частотой, близкой к частоте собственных колебаний коромысла. Коэффициент усиления  $K$  системы, при котором возможны автоколебания, связан с амплитудой  $a_n$  автоколебаний соотношением

$$K = \frac{\pi a_n^2 \xi}{2U_0 \sqrt{a_n^2 - b^2}} \cdot \frac{T_k^2 + 2\xi T_{дв} T_k + T_{дв}^2}{T_k(T_k + 2\xi T_{дв})^2} \quad (9)$$

или

$$K \approx \frac{\pi a_n^2 \xi}{2U_0 \sqrt{a_n^2 - b^2}} \cdot \frac{1}{T_k}$$

Зависимость  $a_n$  от  $K$  графически изображена на рис. 6. Как показано в работе [2], верхняя ветвь относительно точки  $M$  соответствует устойчивым автоколебаниям, а нижняя ветвь — неустойчивым. При  $K < K_{\min}$  автоколебания возникнуть не могут.

Минимальная амплитуда автоколебаний равна  $b\sqrt{2}$ , а соответствующий ей коэффициент усиления системы можно выразить

$$K_{\min} \approx \frac{\pi b \xi}{U_0 T_k} \quad (10)$$

Рассмотрим точность и быстродействие системы. Если амплитуда автоколебаний равна  $b\sqrt{2}$ , то амплитуда колебаний величины  $z$  (выходная величина) может быть найдена из выражения

$$a_z = \frac{b\sqrt{2}}{W_1(p) |W_2(p)|_{p=j\omega n}} \approx \frac{b\sqrt{2}}{l \cdot \kappa_{\kappa}} \cdot 2\xi. \quad (11)$$

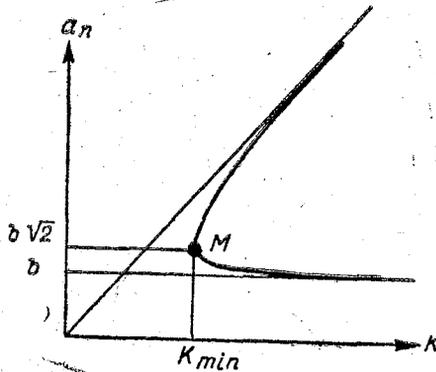


Рис. 6. Зависимость амплитуды автоколебаний от коэффициента усиления системы.

Относительная ошибка измерения  $\delta$  составляет

$$\delta = \frac{\Theta z}{z_0},$$

где  $z_0 = \frac{\gamma HS_{\text{эфф}} l_1}{cl_2}$ .

Скорость двигателя  $\theta_0$  в установившемся режиме

$$\theta_0^0 = \kappa_{\text{дв}} \cdot U_0,$$

а скорость изменения  $z_0$  имеет вид

$$z_0 = \frac{\theta_0}{i} = \frac{\kappa_{\text{дв}} U_0}{i}.$$

Величина  $z$  изменится от 0 до  $z_0$  за время

$$\tau = \frac{z}{z_0}.$$

Таким образом, между относительной ошибкой измерения и величиной  $\tau$  имеет место соотношение

$$\delta = \frac{2\sqrt{2} \cdot b \xi i}{\tau \cdot \kappa_{\text{дв}} \kappa_{\kappa} \cdot U_0 l}. \quad (12)$$

Но коэффициент усиления системы  $K$ , равный  $\frac{K_{дв} K_k \cdot l}{i}$ , не должен превосходить величины

$$K_{\min} \approx \frac{\pi b \xi}{U_0 T_k}$$

Следовательно,

$$\tau = \frac{2\sqrt{2} \cdot T_k}{\pi \delta}, \quad (13)$$

т. е. быстродействие системы определяется ее точностью и частотой собственных колебаний коромысла.

**Числовой пример.** Определим время  $\tau$ , в течение которого система приходит из нулевого положения в положение равновесия при  $T_k = 0,3$  сек (период колебаний около 2 сек) и  $\delta = 0,01$ .

По формуле 13

$$\tau = \frac{2\sqrt{2} \cdot T_k}{\pi \delta} = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0,3}{\pi \cdot 0,01} = 27 \text{ сек.}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Изд-во «Энергия», М.-Л., 1966.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. Изд-во «Наука», М., 1966.

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СКАНИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАПИСИ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

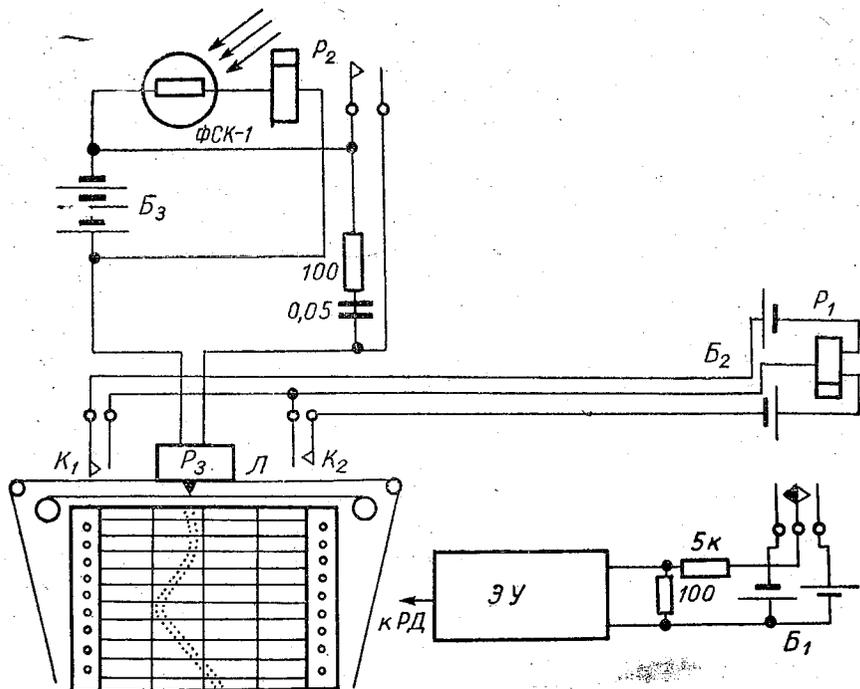
В лабораторной практике и в научных исследованиях часто требуется проводить измерение и запись слабых электрических токов и напряжений (болметры, термомпары, фоточувствительные датчики, контактные разности потенциалов, процессы электризации в жидких средах и т. д.). Регистрируемые при этом токи в ряде случаев не превышают  $10^{-10} - 10^{-11}$  а, а напряжения  $10^{-6} - 10^{-7}$  в. В большинстве случаев для получения возможности записи столь слабых сигналов необходимо применять усилительные электронные схемы, в частности электрометрические, а также электромеханические преобразователи постоянного тока в переменный и последующее усиление.

Общим недостатком подобных усилителей является в большинстве случаев весьма высокое входное сопротивление, достигающее сотен мегом и гигаом, а в некоторых из них значительный дрейф сигнала во времени и требование длительного предварительного прогрева перед работой. Фотокомпенсационные усилители хотя и лишены большинства из перечисленных недостатков, не всегда надежны в работе и чрезвычайно чувствительны к малейшим сотрясениям и вибрациям.

Учитывая вышесказанное, для измерения и записи микротоков было разработано специальное следящее устройство (фотолокатор), позволяющее записывать на диаграммную ленту координаты светового луча высокочувствительного зеркального гальванометра.

В целях упрощения конструкции фотолокатор смонтирован на базе стандартного электронного потенциометра ЭПП-09 (или любого другого аналогичной конструкции). Устройство его достаточно просто, что дает возможность изготовлять прибор в любой лаборатории без применения какого-либо специального оборудования. Использование в фотолокаторе электронного потенциометра не связано с какой-либо переделкой его схемы или нарушением его основной функции.

Принципиальная схема фотолокатора приведена на рисунке. С помощью источников напряжения  $B_1$  и  $B_2$  (батареи напряжением 1,5—10 в), поляризованного реле  $P_1$  типа РП-4 с двумя устойчивыми положениями и концевых контактов  $K_1$  и  $K_2$ , смонтированных на концах направляющей каретки, электронный потенциометр



Принципиальная схема фотолокатора.

переводится в режим непрерывного сканирования с частотой, определяемой временем пробега каретки вдоль шкалы. Следует использовать в основном те электронные потенциометры, у которых время пробега каретки меньше постоянной времени измерительного гальванометра.

На каретке потенциометра монтируется фоторезистор типа ФСК-1 (возможно применение фоторезистора другого типа, а также фотодиода). Для уменьшения воздействия естественного освещения фоторезистор закрывается блендой.

Последовательно с фоторезистором включен источник питания  $B_3$  и поляризованное реле типа РПБ-7 с сопротивлением обмотки 4—8 ком. Необходимо предусмотреть возможность плавной регулировки питающего напряжения для получения необходимой световой чувствительности, которая может изменяться при замене фоторезисторов, а также ламп подсветки. Для уменьшения нагруз-

ки на фоторезистор желательнее применение более чувствительного реле (с большим сопротивлением обмоток). Контакты реле включают электромагнит  $P_3$ , который с помощью ударника и красящей ленты  $L$  ставит точку на диаграммной ленте в момент пересечения светового пучка от зеркального гальванометра. Гальванометр устанавливается на определенном расстоянии перед электронным потенциометром. Меняя это расстояние, можно изменять чувствительность устройства. В данной схеме был использован гальванометр типа М 21-1 с чувствительностью по току  $10^{-10} - 10^{-11}$  а/мм/м и по напряжению  $\sim 10^{-6}$  в/мм/м. Поскольку постоянная времени гальванометра составляла 10 сек, а время сканирования всего 2 сек, при скорости движения ленты самописца 10 мм/мин, запись практически представляла сплошную линию, точнее полосу, начало и конец которой соответствуют краям светового пучка. Для отсчета можно пользоваться любым краем, либо брать среднее значение.

Рассматриваемый фотолокатор при записи слабых сигналов постоянного тока имеет существенное преимущество перед электромагнитными осциллографами, например типа МГО-2, так как обладает большей чувствительностью, определяемой в основном типом используемого гальванометра, и главное, — не требует фотографического процесса для обработки ленты.

В то же время, в отличие от электрометрических и других усилителей постоянного тока с последующим выходом на записывающее устройство, фотолокатор обладает весьма малым входным сопротивлением (внутреннее сопротивление гальванометра).

Следует также отметить простоту схемы и возможность записи сигнала не только с зеркального гальванометра, но и с любого другого прибора, снабженного внешним световым отсчетом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ангерер Э. Техника физического эксперимента. Физматгиз, 1965.
2. Грибанов Ю. И. Измерение слабых токов, зарядов и больших сопротивлений. Госэнергоиздат, 1958.
3. Бонч-Бруевич А. М. Радиоэлектроника в экспериментальной физике. Изд-во «Наука», 1966.
4. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Техгиз, 1957.

*И. П. СПИЦЫН. С. Д. ВИННИКОВ*

## **ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА В ГРАДИРНЯХ**

Охлаждение воды в башенных и вентиляторных градирнях происходит в результате тепло- и массообмена между водой и восходящим потоком воздуха. Эффективность ее охлаждения в основном зависит от расхода воздуха и его распределения по сечению градирни. Поэтому при натуральных исследованиях градирен (наряду с измерением других гидроаэротермических характеристик) особое внимание уделяется измерению скорости и направления потока воздуха (восходящего или нисходящего) внутри градирни.

Повышенная влажность и температура воздуха в градирне, наличие капельной влаги в этом воздухе и опасные условия пребывания наблюдателя вблизи места измерения потребовали дальнейшего совершенствования ранее разработанного нами прибора [1]. С учетом условий, наблюдающихся в градирнях, был разработан дистанционный прибор для измерения величины и направления скорости воздуха внутри градирни. Описанию этого прибора, изготовленного и испытанного на кафедре водных исследований ЛГМИ, и посвящена настоящая работа.

Прибор для дистанционного измерения скорости и направления вертикального потока воздуха с записью показаний его на ленту представляет собой устройство с автоматической системой непрерывного балансирования [2]. Он состоит из датчика (вертушки), усилительно-преобразовательного блока и регистратора (самописца).

Датчик скорости и направления потока воздуха, разрез которого представлен на рис. 1, состоит из первичного и вторичного преобразователей и сельсина-датчика. Первичный преобразователь состоит из головки 1, на которой закреплены десять лопастей 2. Разворот лопастей относительно плоскости их вращения составляет  $45^\circ$ . Головка с лопастями закреплена на оси 3, вращающейся в высококачественных подшипниках качения 4 марки 1000083-Ю класса точности А. Этим достигается значительное уменьшение влияния эксцентриситета оси и трения в подшипниках на чувстви-

тельность датчика. Скорость и направление вращения лопастей (оси) передается на вторичный преобразователь, где они преобразуются в величину и направление угла поворота оси ротора 5 сельсина-датчика 6.

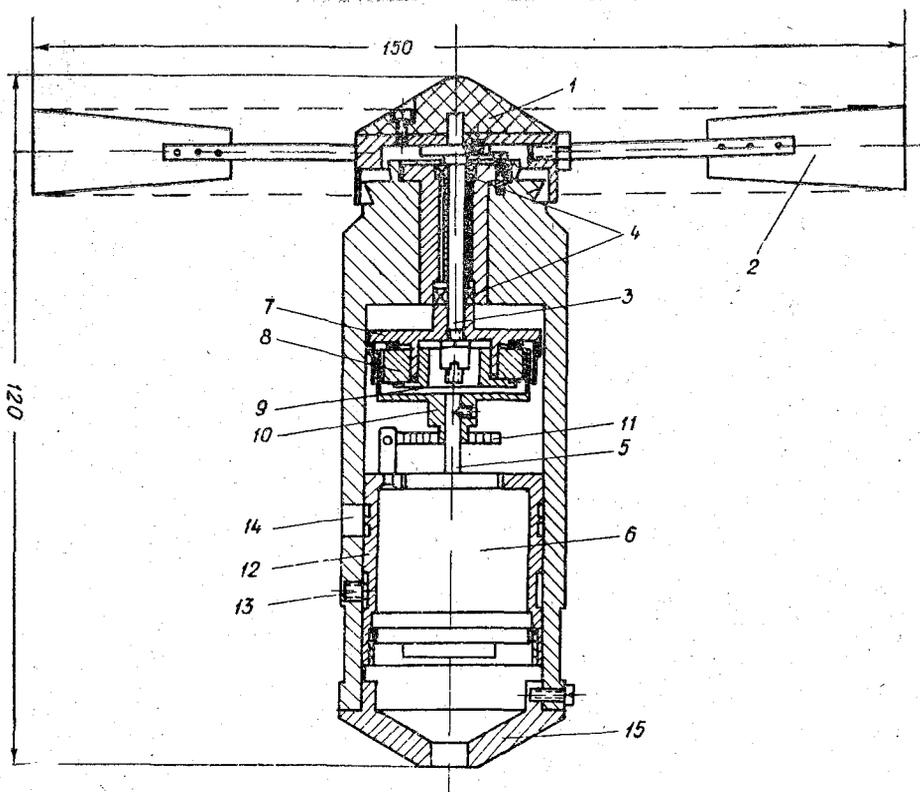


Рис. 1. Разрез датчика скорости и направления воздушного потока.

Вторичный преобразователь представляет собой электромагнитную муфту скольжения со связью через магнитное поле. На стакане 7 преобразователя, закрепленном на оси 3, находится магнит 8 с шунтом 9. В стакан 7 вставлен медный стакан 10, закрепленный на оси 5 ротора сельсина-датчика 6. При вращении стакана 7, являющегося индуктором, его магнитное поле пересекает стакан 10, являющийся якорем, и индуцирует в нем токи, взаимодействие которых с магнитным полем индуктора создает вращающий момент. Таким образом, ведущая часть муфты 7 увлекает за собой ведомую 10. При этом спиральная пружина 11 не дает ротору сельсина-датчика совершать полные обороты вокруг своей оси, а также возвращает его в начальное положение при остановке ин-

дуктора 7. Вследствие примененной системы преобразования, угол поворота оси ротора сельсина-датчика пропорционален скорости вращения лопастей вертушки, а его направление указывает на направление движения потока воздуха.

Данная конструкция вторичного преобразователя позволяет изменять диапазон измерения скорости воздушного потока. Это достигается перемещением втулки 12 вместе с сельсином-датчиком вдоль оси вертушки. Для измерения малых скоростей втулка 12 вдвигается, а для измерения больших — выдвигается. Фиксация положения втулки производится винтом 13, а визуальный контроль за установкой диапазона производится через отверстие 14 в корпусе вертушки.

Для обеспечения надежной работы в условиях повышенной влажности корпус датчика с торца герметично закрывается крышкой 15, имеющей отверстие для вывода кабеля. При измерениях датчик устанавливается таким образом, что крыльчатка вращается в горизонтальной плоскости и находится выше корпуса. Габаритные размеры датчика показаны на рис. 1. Вес датчика 0,4 кг.

На рис. 2 дана электрическая схема прибора. При повороте оси ротора сельсина-датчика 1 на некоторый угол электродвижущая сила, индуцируемая переменным током магнитного поля, изменится и уже не будет равна электродвижущей силе в соответ-

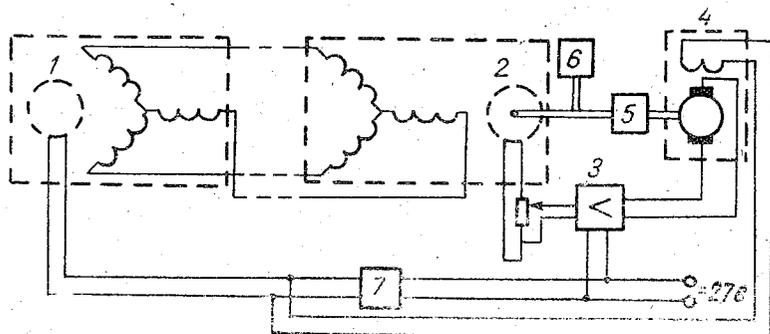


Рис. 2. Принципиальная схема прибора.

Пояснения в тексте.

вующих фазовых обмотках сельсина-трансформатора 2, как это было до поворота оси сельсина-датчика. По фазовым обмоткам потекут токи, индуцирующие в роторной обмотке сельсина-трансформатора напряжение рассогласования, которое усиливается в усилителе 3 и попадает на управляющую обмотку серводвигателя (двигателя отработки) 4. Последний через редуктор 5 поворачивает ось ротора сельсина-трансформатора в сторону согласования между осями роторов сельсинов. На оси сельсина-трансформатора закреплено перо самопишущего прибора 6.

Питание сельсина-датчика и серводвигателя осуществляется переменным током напряжением 36 в с частотой 400 гц. Высоко-частотный переменный ток получен в преобразовательном блоке 7 из постоянного тока напряжением 27 в.

В качестве регистратора скорости и направления вертикального потока воздуха применен многоканальный быстродействующий прибор серии Н320, изготовляемый заводом ЗИП в г. Краснодаре. Заводская пишущая головка этого самописца магнитно-электрической системы нами заменена головкой с сельсином-трансформатором 2 (рис. 2).

Разрез новой головки показан на рис. 3. На кронштейне 1 закреплён серводвигатель 2 типа ДИД-0,1, который через редуктор 3 марки РЦБ, имеющий коэффициент передачи 220, и шестерню 4 вращает шестерню 5, закреплённую на оси ротора 6 сельсина-трансформатора 7, до согласования с сельсином-датчиком. На оси

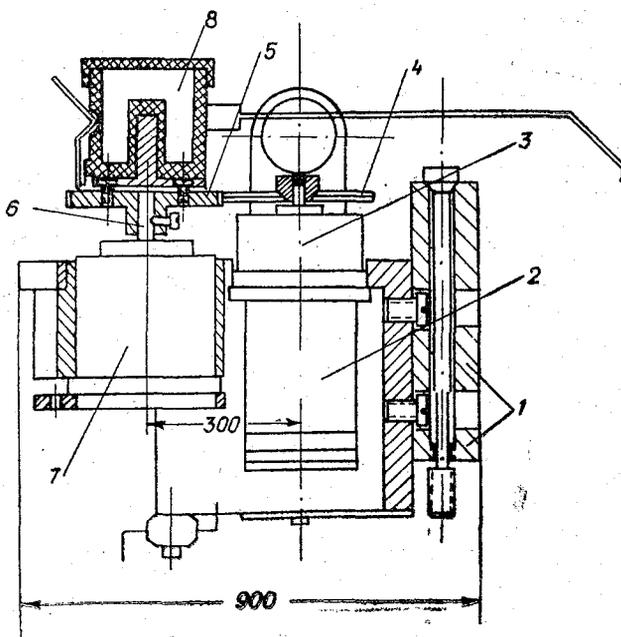


Рис. 3. Разрез пишущей головки.

ротора 6 закреплено перо с резервуаром для чернил 8, с помощью которого производится запись измеряемой величины на движущейся диаграммной ленте самописца. Скорость протяжки ленты может меняться в зависимости от требуемой точности измерения скорости потока воздуха. Конструкция самописца позволяет также производить запись времени, что особенно важно при изучении

неустановившегося процесса движения потока воздуха. Питание самописца осуществляется от сети напряжением 127 или 220 в.

При использовании 9-канального самописца серии Н320 можно записывать показания величины и направления скорости воздушного потока одновременно по девяти точкам.

Здесь также необходимо отметить, что описанная выше головка, при незначительной переделке крепежа, может работать с любым самописцем или лентопротяжным механизмом.

Испытания и тарировка прибора, выполненные в условиях, максимально приближенных к натурным, показали достаточно надежную его работу. Перед тарировкой датчик прибора был отрегулирован на скорость восходящего потока воздуха от 0 до 3,5 м/сек, причем за «0» была принята середина диаграммной ленты самописца. Расположение нуля отсчета в середине ленты позволяет регистрировать скорость и направление вертикального потока воздуха — как восходящего, так и нисходящего. При этом характер преобразования скорости воздушного потока в величину перемещения пера самописца — линейный. Погрешность измерения скорости не превышает  $\pm 3\%$  (0,1 м/сек). Порог чувствительности 0,2 м/сек. Повторная тарировка прибора показала, что она устойчивая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спицын И. П., Ефремов В. И., Винников С. Д. Комплекс аппаратуры для дистанционного измерения гидроаэротермических характеристик башенных градирен: Труды ЛГМИ, вып. 39, 1970.
2. Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С. Основы автоматки и телемеханики. Изд-во «Энергия», М., 1968.

И. П. СПИЦЫН, С. Д. ВИННИКОВ

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ, ВЫНОСИМОЙ ИЗ ГРАДИРНИ КАПЛЯМИ И В ВИДЕ ПАРА

В процессе охлаждения циркуляционной воды в башенных и вентиляторных градирнях открытым способом, когда ее охлаждение происходит в основном за счет испарения с поверхности пленки или капель (в зависимости от типа оросителя), из градирни выносится большое количество воды. Она выносится воздушным потоком как в виде капель, так и в виде пара. Капли, являясь ядрами конденсации в насыщенном парами воздушном потоке, выходящем из градирни, способствуют постоянному выпадению осадков на производственных площадях, заболачиванию прилегающей к градирне территории, а в зимний период обледенению оболочки градирни.

До настоящего времени нет приемлемых методов и приборов для измерения выносимой из градирни воды.

На кафедре водных исследований ЛГМИ разработан и испытан в натуральных условиях электропсихрометр с каплеуловителем,<sup>1</sup> позволяющий определять одновременно количество воды, выносимой из градирни воздушным потоком (каплями), температуру этого потока и его влажность. Измеряя температуру и влажность поступающего в градирню и выходящего из нее воздуха, можно определить и количество парообразной воды, выносимой потоком из градирни.

В основу названного выше прибора положен ранее разработанный в ЛГМИ электропсихрометр с механической сепарацией капель [1]. Принципиальная схема действия электропсихрометра с каплеуловителем показана на рис. 1.

Корпус прибора представляет собой цилиндр, состоящий из двух разъемных частей. В верхней части размещены электротермометры (сухой и влажный) 4,10 и бачок 9 для смачивания влажного электротермометра, в нижней — сепаратор 5 типа «циклон»,

---

<sup>1</sup> В отработке каплеуловителя, прибора и его испытании принимал участие студент гидрологического факультета ЛГМИ С. И. Гришков.

предназначенный для отделения капель воды от испытуемого воздуха и их сбора в специальном сосуде 8.

Очищенный от капель воздух затем поступает в психрометрическую часть прибора, где производится измерение его температуры. Движение испытуемого воздуха и выделенных из него капель воды показано на рис. 1 стрелками.

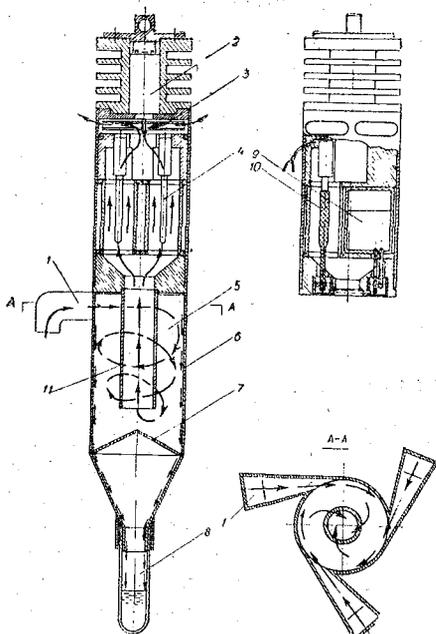


Рис. 1. Принципиальная схема электропсихрометра с каплеуловителем.

Отбор воздуха в прибор осуществляется через три заборника 1 турбинкой 3, насаженной на ось электродвигателя 2 марки ДП-13. Заборники направлены навстречу восходящему потоку воздуха. Площадь сечения их на входе подобрана такой, чтобы при изменении расхода испытуемого воздуха, проходящего через прибор от 5 до 15 м<sup>3</sup>/час, скорость забора воздуха составляла от 1 до 5 м/сек. Расход воздуха, протягиваемого через прибор, можно менять напряжением, подаваемым на электродвигатель, что позволяет соответственно подбирать скорость забора, равной скорости восходящего потока воздуха в точке измерения.

Засасываемый через заборники в цилиндр сепаратора испытуемый воздух получает вращательное (спиралевидное) движение, вследствие чего под действием центробежной силы из него происходит выделение капель воды [2]. Выделившиеся капли оседают на

стенку сепаратора 5, а затем, под действием силы тяжести, стекают вниз, в сборный резервуар 8. С целью уменьшения испарения собранной воды в сборном резервуаре и исключения закручивания ее потоком воздуха, входящим во внутренний цилиндр сепаратора, предусмотрена конической формы перегородка 7 со щелями у вертикальной стенки сепаратора, предназначенными для стока воды. Испытания показали, что в сепараторе выделяются все капли воды, попадающие в него.

Для сбора капельной воды могут быть применены два типа резервуаров. Первый, в виде емкости (пробирки) 10—20 см<sup>3</sup>, предназначен для разового измерения (рис. 1), второй — для многократного измерения с автоматическим сливом воды в общий резервуар. Применение последнего позволяет, не подтягивая прибора к наблюдателю и не останавливая винт вентиляционной градири, производить измерения поочередно в 10—15 точках наблюдения. Схема такого сборного резервуара показана на рис. 2.

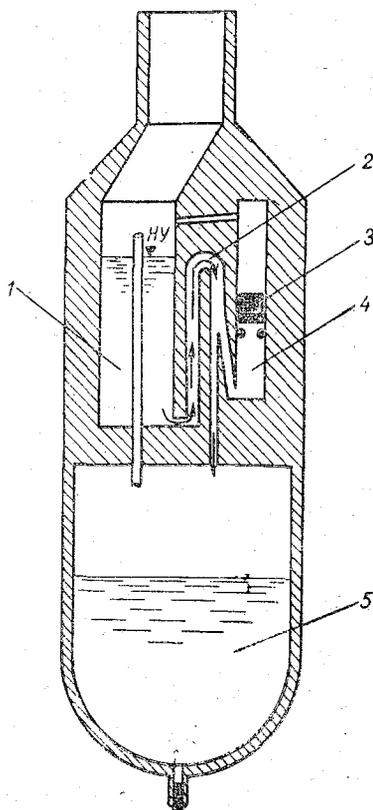


Рис. 2. Принципиальная схема сборного резервуара с автоматическим сливом воды.

При наполнении сосуда 1 до уровня ну, объем которого рассчитан на одно измерение, срабатывает сифон 2. Часть воды, стекающей по сифонной трубке, попадает в контактный сосуд 4 и поднимает поплавок-ключ 3. Электрическая цепь, в которую включен электродвигатель прибора, разомкнется и протяжка воздуха прекратится до полного опорожнения сосуда 1. Момент отключения прибора, как и момент включения его, фиксируется наблюдателем по вольтметру, сигнальной лампочке или на хронографе. Сливающаяся после каждого измерения вода из сосуда 1 собирается в резервуаре 5. Общий объем собранной воды, с целью контроля измеряется при подтягивании прибора к наблюдателю.

По собранному объему воды  $\phi$  в сосуде 1 за время  $\Delta t$  можно определить содержание капельной воды в испытуемом воздухе (в точке измерения) по формуле:

$$a = \frac{\omega \cdot \gamma}{\Delta t \cdot W} \text{ г/м}^3, \quad (1)$$

где  $W$  — расход испытуемого воздуха, проходящего через прибор;  $\gamma$  — объемный вес воды.

Испытуемый воздух, вращаясь по спирали в цилиндре 6 (рис. 1), опускается до уровня всасывающей трубки 11 и по ней попадает в психрометрическую часть прибора. В этой части прибора воздух поступает в каналы, в которых размещены сухой и смоченный электротермометры. Каналы подобраны такого сечения, что скорость обтекания электротермометров обеспечивает коэффициент аспирации, равный коэффициенту аспирации стандартного психрометра [3]. Это позволяет при определении относительной и абсолютной влажности воздушного потока пользоваться психрометрическими таблицами.

В электропсихрометре с каплеуловителем применены металлические (медные) электротермометры сопротивлением при  $0^\circ \text{C}$ , равном 400 ом. Для смачивания одного из электропсихрометров дистиллированной водой предусмотрена специальная автоматическая система [1]. Объема воды в бачке 9 (рис. 1), равном 50 см<sup>3</sup>, оказывается достаточно, чтобы в течение 10 часов непрерывной работы прибора обеспечить равномерное во времени смачивание багета на термометре 10.

Питание электродвигателя прибора осуществляется постоянным током напряжением до 27 в. Прибор при измерении может подвешиваться и перемещаться по натянутому тросу или же устанавливаться на специальной штанге. Вес прибора 2,5 кг, габаритные размеры с сборным резервуаром: длина — 50 см, диаметр — 8 см.

Для одновременного измерения температуры и влажности испытуемого воздуха с помощью электротермометров можно применять электрические схемы, позволяющие регистрировать температуру по сухому и смоченному электротермометрам отдельно [3, 4]. В качестве регистратора может быть использован мост постоянного тока типа МО-62, электронный автоматический самопишущий потенциометр типа ЭПП и ЭПР, а при неустановившемся во времени термическом процессе — шлейфовый самописец.

Показания электротермометров позволяют определить температуру  $\theta^\circ \text{C}$  и абсолютную влажность  $e$  мг испытуемого воздуха, а это в свою очередь дает возможность вычислить содержание паровобразной воды в 1 м<sup>3</sup> воздуха по уравнению [5]

$$A = \frac{0,8e}{1 + \alpha\theta} \text{ г/м}^3, \quad (2)$$

где  $\alpha = 1/273$  и 0,8 — постоянные коэффициенты.

Зная же количество воздуха, поступающего в градирню  $Q_{\text{возд}}$  и его абсолютную влажность, определяем количество воды, теряемое в градирне на испарение  $Q_{\text{исп}}$  (выносимое в виде пара)

$$Q_{\text{исп}} = \frac{(A_2 - A_1) Q_{\text{возд}}}{\gamma \cdot 10^6} \text{ м}^3/\text{час}, \quad (3)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  — среднее количество парообразной воды, содержащееся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха, соответственно входящем в градирню и выходящем из нее, вычисленное по уравнению (2).

Количество воды, выносимое из градирни в виде капель, определяется по уравнению

$$Q_{\text{кап}} = \frac{\bar{a} Q_{\text{возд}}}{\gamma \cdot 10^6} \text{ м}^3/\text{час}, \quad (4)$$

где  $\bar{a}$  — среднее по сечению градирни (на выходе) значение содержания капельной воды в выходящем воздушном потоке.

Таким образом, общее количество воды, теряемой в градирне в процессе ее охлаждения, равно

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{кап}}. \quad (5)$$

Измерения, проведенные электропсихрометром с каплеуловителем, на градирнях с вентиляторами ВГ-47 и ВГ-70 Киришского НПЗ, показали, что по сечению градирни содержание капельной воды в выходящем потоке воздуха не одинаково. Бóльшее количество ее содержится в центральной части градирни, в области больших скоростей воздушного потока. Неравномерными оказались и поля температур и влажности воздуха.

Значения количеств воды, выносимые из градирни в указанных выше градирнях, приведены в таблице.

Тип градирни	$\bar{a}$ , г/м <sup>3</sup>	$Q_{\text{кап}}$ , м <sup>3</sup> /час	$Q_{\text{исп}}$ , м <sup>3</sup> /час	$Q_{\text{пот}}$ , м <sup>3</sup> /час	В процентах от циркуляционного расхода		
					$Q_{\text{кап}}$	$Q_{\text{исп}}$	$Q_{\text{пот}}$
ВГ-47	0,80	0,35	2,46	2,81	0,22	1,54	1,75
ВГ-70	0,58	0,75	7,70	8,45	0,16	1,60	1,76
Башенная	3,00	41,0	370	411	0,14	1,25	1,39

Как видно из таблицы, количества воды, теряемые в процессе охлаждения в градирнях с вентиляторами ВГ-47 и ВГ-70, близки к нормативным данным [6, 7]. Это позволяет сделать вывод, что принятые нормы на вынос воды паром и каплями (при наличии водоуловителя) соответствуют действительности.

Близкими к нормативным оказались и величины расходов воды, выносимой воздушным потоком из градирни (без водоуловителя)

с высотой вытяжной башни 90 м и площадью оросителя 4000 м<sup>2</sup>. Приведенные в таблице данные получены летом 1970 г. на градирне Старобешевской ГРЭС при плотности орошения 7,4 м<sup>3</sup>/час·м<sup>3</sup> и средней скорости восходящего потока над оросителем 0,95 м/сек. Дистанционные измерения содержания капельной воды в восходящем потоке воздуха с одновременным определением температуры его и влажности выполнялись в двух сечениях башни. Одно из сечений находилось на высоте 2,5 м над факелами, другое — на выходе из градирни. Измерения показали, что указанные выше параметры изменяются как по сечению, так и по высоте. Содержание капельной воды в воздухе и его температура с высотой уменьшаются. Относительная влажность воздуха при этом возрастает, но остается даже на выходе из градирни меньше 100%. Это еще раз подтверждает сделанные нами ранее выводы [1] о том, что воздух, пройдя через ороситель градирни, не достигает 100% влажности.

Испытания предлагаемого прибора в натуральных условиях на вентиляторных и башенных градирнях показали, что он работает достаточно надежно и при одновременном дистанционном измерении температуры, влажности и водности воздушного потока обеспечивает требуемую точность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спицын И. П., Ефремов В. И., Винников С. Д. Комплекс аппаратуры для дистанционного измерения гидроаэротермических характеристик башенных градирен. Тр. ЛГМИ, вып. 39, 1970.
2. Залогин Н. Г., Шухер С. М. Очистка дымовых газов. Госэнергоиздат, М.-Л., 1948.
3. Кедроливанский В. Н., Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеиздат, Л., 1953.
4. Качурин Л. Г. Электрические измерения аэрофизических величин. Изд-во «Высшая школа», М., 1967.
5. Аверкиев М. Е. Метеорология. Изд-во МГУ, 1951.
6. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел Г, глава 3. М., 1963.
7. Фарфоровский Б. С., Пятов Я. Н. Проектирование охладителей для систем производственного водоснабжения. Госстройиздат, Л.-М., 1960.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ВОДОХРАНИЛИЩ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Вопрос расчета водохранилищ-охладителей, с точки зрения оценки их охлаждающей способности, принял в настоящее время дискуссионный характер [1, 2, 3]. Такое положение объясняется, главным образом, сложностью гидравлических и гидротермических процессов, протекающих в этих водохранилищах.

В основе расчетной схемы водохранилищ-охладителей, как известно, лежит метод, разработанный Н. М. Бернадским и Б. В. Проскуряковым в 1929—1933 гг. Для принятых авторами расчетных условий (штиль, наиболее жаркий период года, средняя по глубине скорость потока) метод дает удовлетворительные результаты. Для расчетов водохранилищ-охладителей при других режимных условиях (наличие ветрового перемешивания, различного рода течений и т. п.) возникает необходимость уточнения используемого метода введением дополнительных определяющих факторов, либо применения методов с иными расчетными условиями.

В связи с этим имеется ряд новых предложений по расчету водохранилищ-охладителей: моделирование течений на гидравлических моделях с последующим тепловым расчетом (А. Г. Аверкиев, Г. В. Востржел и др.); расчет эффективности охладителя по результатам гидротермического моделирования (А. В. Безызвестных, Г. В. Востржел, Б. В. Проскуряков, Н. Н. Терентьев и др.); расчет с учетом влияния ветра в натуре как определяющего фактора (А. Н. Соловьев); расчет с учетом времени пребывания воды в водохранилище (В. М. Лятхер).

Обратимся к принятой в настоящее время для расчетов водохранилищ-охладителей схеме Н. М. Бернадского. Его схема, как известно, заключается в разделении гидротермического расчета водохранилища-охладителя на гидравлический и тепловой. Такое разделение позволяет выделить и проанализировать характер отдельных явлений, протекающих в водохранилищах-охладителях, и оценить их роль в общем процессе охлаждения сбрасываемой в них отработанной воды.

Результатом решения гидравлической части задачи является построение плана течений водохранилища. Далее производится тепловой расчет для так называемой «активной зоны» водохранилища-охлаждителя, величина которой зависит от степени использования охлаждающей способности отдельных зон водохранилища при идеальной организации течений. Степень использования охлаждающей способности водохранилища характеризуется коэффициентом использования  $k$ , определяемым по приближенному графику ЛОТЭПа. Введение в расчет приближенной условной величины  $k$ , вычисляемой в зависимости лишь от гидравлических факторов, делает его неточным.

В настоящей работе излагается методика расчета водохранилища-охлаждителя без применения понятий активной зоны и коэффициента использования. В предлагаемой методике решение, так же как и у Н. М. Бернадского, ведется отдельно для гидравлической и термической частей задачи.

### 1. Гидравлический расчет

Для построения плана течения нами применена методика Н. М. Бернадского. Выделение транзитной струи и соответственно установление границы водоворота он предлагает вести по формуле [4]

$$b = b_0 \frac{h_1}{h_2} e^{g \left( \frac{1}{C^2 h_{cp}} + \frac{A_0}{\gamma L_r Q v_{cp}^2} - \frac{J_x}{v_{cp}^2} \right) l}, \quad (1)$$

где  $b_0$ ,  $h_1$  и  $b$ ,  $h_2$  — ширина и глубина транзитной струи соответственно в начальном и конечном сечениях выделенного участка длиной  $l$ ;  $h_{cp}$  — средняя глубина потока на участке;  $C$  — коэффициент Шези;  $\gamma$  — удельный вес воды;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $A_0$  — работа водоворота;  $L_r$  — длина границы транзитной струи с водоворотом;  $Q$  — расход транзитной струи;  $J_x$  и  $v_{cp}$  — средние значения продольного уклона и скорости на участке.

Отсутствие рекомендаций по расчету продольного уклона и, кроме того, незначительное влияние на расширение потока члена, включающего работу водоворота, приводит к тому, что обычно определение границ транзитной струи производится по упрощенной формуле

$$b = b_0 \frac{H_1}{H_2} e^{\frac{gl}{C^2 h_{cp}}}. \quad (2)$$

В настоящее время имеется возможность проведения уточнения расчета ширины транзитной струи с учетом продольного уклона. Для вычисления продольного уклона водной поверхности транзитной струи  $J_x$  разобьем транзитную струю на отдельные участки так, чтобы радиусы закругления струи в пределах этих



где  $z_k^1$  и  $z_{k+1}^1$  — отметки свободной поверхности на границе транзитной струи с водоворотом.

Определение отметок свободной поверхности на границе транзитной струи с водоворотом может быть выполнено по формуле поперечного уклона для водоворота

$$J_{\text{поп}} = \frac{z_k^1 - z_0}{r} = \frac{v_B^2}{gr}, \quad (5)$$

где  $J_{\text{поп}}$  — поперечный уклон свободной поверхности в водовороте;  $z_0$  — отметка свободной поверхности воды в центре водоворота;  $z_k^1 - z_0$  — разница между отметкой на границе транзитной струи с водоворотом и отметкой в центре водоворота;  $v_B$  — средняя по вертикали продольная скорость в водовороте (переменная по радиусу);  $r$  — радиус закругления линий тока в водовороте (переменный по длине струи).

Расчет по формуле (5), вследствие значительной неравномерности распределения продольных скоростей по радиусу водоворота, следует вести для отдельных струй водоворота. Тогда, отметки по границе транзитной струи с водоворотом получатся в результате суммирования отметки  $z_0$  с превышениями для отдельных струй:  $\Delta z_1^1$ ,  $\Delta z_2^1$  и  $\Delta z_3^1$ . Так, например, отметка  $z_k^1$  будет

$$z_k^1 = z_0 + \Delta z_1^1 + \Delta z_2^1 + \Delta z_3^1. \quad (6)$$

Величины продольных скоростей в водовороте  $v_B$ , необходимые для расчета по формуле (5), определяются по зависимости, полученной для кругового цилиндрического водоворота [5]

$$\frac{v_B}{v_{\text{max}}} = \left( \frac{r}{R} \right)^{\tilde{B}^{0,39} + 1}, \quad (7)$$

где  $v_{\text{max}}$  — средняя по вертикали скорость на границе водоворота, полученная по формуле (2);  $R$  — радиус водоворота;  $\tilde{B} = \frac{M}{C} \left( \frac{R}{H} \right)^2$  — безразмерный параметр;  $M$  — параметр, зависящий от скоростного коэффициента Шези;  $H$  — средняя глубина водоворота в пределах выделенного участка.

## II. Тепловой расчет

Как было отмечено выше, тепловой расчет водохранилища-охладителя будем производить, используя непосредственно результаты построения плана течений без введения понятия активной зоны водохранилища.

Для выполнения расчета воспользуемся методом теплового баланса. Если считать, что уравнение теплообмена на элементар-

ном участке транзитной струи может быть представлено в виде

$$S = S_{\text{пов}} B \Delta l + S_{\text{бок}} H_{\text{ср}} \Delta l, \quad (8)$$

(где  $S_{\text{пов}}$  — теплообмен на свободной поверхности элементарного участка;  $B$  — средняя ширина транзитной струи на элементарном участке;  $\Delta l$  — длина элементарного участка;  $S_{\text{бок}}$  — теплообмен на боковых поверхностях элементарного участка струи;  $H_{\text{ср}}$  — средняя глубина на элементарном участке струи), тогда уравнение теплового баланса для всей транзитной струи должно быть записано следующим образом:

$$c\gamma q \Delta t = \int_0^L (S_{\text{пов}} B + S_{\text{бок}} H_{\text{ср}}) dl, \quad (9)$$

где  $c\gamma q \Delta t = \Delta S$  — разность теплосодержания поступающей и забираемой из охладителя воды ( $c\gamma = 1 \text{ ткал/м}^3 \cdot \text{град}$ ,  $q$  — расход воды);  $\Delta t = t_1 - t_2$  — разность температур поступающей и забираемой воды;  $L$  — длина (по динамической оси) транзитной струи.

Величина теплообмена через боковые поверхности струи представляет собой суммарный теплообмен струи: 1) с водоворотными зонами, за счет гидравлических и термических (конвективных) течений  $S_{\text{в}}$ ; 2) с застойными (тупиковыми) зонами, за счет конвективных течений  $S_{\text{т.з.}}$ .

Расчет дополнительной расходной части баланса  $S_{\text{т.з.}}$  можно с известным приближением произвести, используя формулу для определения скорости конвективного течения в тупиковых зонах, предложенную проф. Б. В. Проскураковым. Автор предложил рассчитывать скорость течений, возникающих в горизонтальном направлении по глубине на границе соприкосновения транзитной струи с тупиковой зоной в зависимости от градиента перегрева слоев потока над нормально-естественной температурой и длины тупиковой зоны

$$v_{x_{\text{т.з.}}} = 3,34 \cdot 10^{-2} H_{\text{т.з.}} \sqrt{\left. -\frac{\partial \delta}{\partial x} \right|_{\text{ср}}} \left( \frac{0,61 H_{\text{т.з.}}^{1/2}}{\sqrt{n}} - 1,25 \right). \quad (10)$$

Здесь  $v_{x_{\text{т.з.}}}$  — средняя скорость конвективного (поверхностного или донного) течения в тупиковой зоне;  $H_{\text{т.з.}}$  — средняя глубина тупиковой зоны;  $\left. \frac{\partial \delta}{\partial x} \right|_{\text{ср}}$  — средний градиент перегрева верхнего и нижнего слоев;  $n$  — параметр шероховатости.

Расчет основывается на предположении равенства перегревов верхнего и нижнего слоев в конце тупиковой зоны. Начальная скорость конвективного течения непосредственно на границе сопряжения транзитной струи с тупиковой зоной может быть определена из графика зависимости начального градиента перегрева

верхнего слоя потока от длины тупиковой зоны. График получен расчетным путем с учетом метеорологических условий и глубин тупиковой зоны.

С учетом вычисленной скорости конвективного течения по формуле (10) величина теплообмена с тупиковой зоной будет равна:

$$S_{т.з.} = c\gamma v_{т.з.} \frac{H_{т.з.}}{2} \Delta t_{в} B_{т.з.}, \quad (11)$$

где  $\Delta t_{в}$  — вертикальный перепад температур на границе с транзитной струей;  $B_{т.з.}$  — ширина тупиковой зоны по границе с транзитной струей.

Расчет теплообмена с водоворотными зонами  $S_{в}$  можно произвести, представляя его приближенно в виде

$$S_{в} = c\gamma v_{r_{в}} \frac{H}{\kappa_1} \Delta t_{в} L_{г}, \quad (12)$$

где  $v_{r_{в}} = v_{г} + v_{к}$  — скорость поперечного гидравлического и конвективного течений на границе водоворота;  $\kappa_1$  — коэффициент, определяющий глубину развития возвратных течений. С достаточной степенью точности можно принять  $\kappa_1 = 0,5$ .

При расчете поперечных скоростей  $v_{г}$  и  $v_{к}$  на границе водоворота, обусловленных действием центробежной силы на закруглении и горизонтальным перепадом температур «струя—водоворот», можно воспользоваться формулой [6]

$$v_{г} = \frac{1,5}{\kappa^2} v_{\max} H \frac{r_{B}^{\tilde{0},39}}{R_{B}^{\tilde{0},39} + 1} \left( 2\eta - 1 \right), \quad (13)$$

где  $\kappa$  — постоянная Кармана;  $\eta$  — относительная глубина; остальные обозначения известны из формулы (7) и формулы (10), в которой  $v_{т.з.}$  заменяется на  $v_{к}$ .

### III. Пример расчета

Для расчета охлаждающей способности выбрано водохранилище-охладитель Змиевской ГРЭС. Проведенные в 1967 г. Харьковским отделением Теплоэлектропроекта подробные гидротермические натурные измерения на этом водохранилище позволили нам провести сравнительный анализ расчетных и натуральных данных.

Водоохранилище охладитель Змиевской ГРЭС (рис. 2) имеет эллипсовидную форму. Длина водохранилища 5,5 км, максимальная ширина 2,9 км, средняя глубина 4,5 м. Скорости течения, измеренные в транзитной струе, равны 2—25 см/сек, а в водоворотной зоне 2—10 см/сек. Струенаправляющие дамбы обеспечивают образование транзитной струи с наибольшей длиной, но при этом

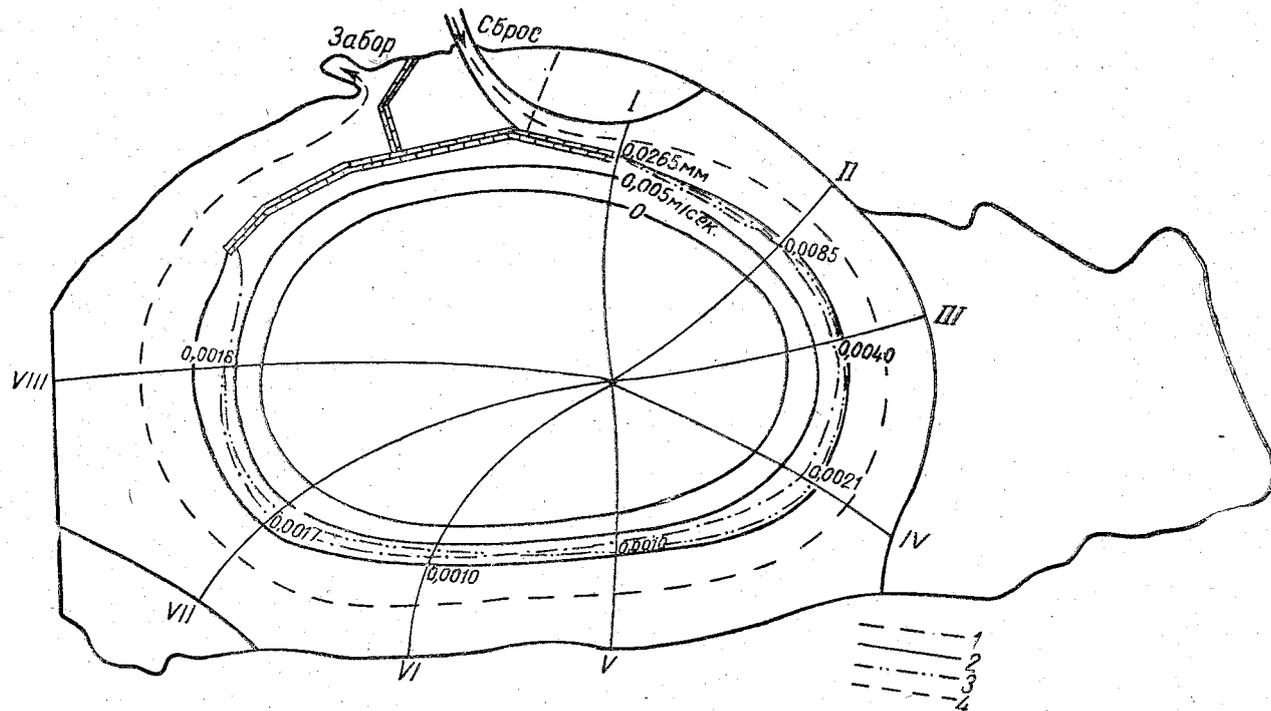


Рис. 2. План течений водохранилища-охладителя Змиевской ГРЭС

1—по формуле (2); 2—с учетом продольного уклона; 3—по интегральным кривым расхода; 4—динамическая ось потока.

в центральной части водохранилища образуется довольно большой водоворот с формой, близкой к округлой. План течений, выполненный по натурным данным (границы транзитной струи определены с помощью интегральных кривых расходов, построенных для 8 криволинейных поперечников), позволяет сопоставить размеры площадей транзитной струи и центрального водоворота, которые соответственно равны  $\Omega_{тр} = 5,4 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ ,  $\Omega_{в} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ .

Применение зависимостей (7) и (13) для водоворота водохранилища-охладителя Змиевской ГРЭС, имеющего эллипсоидную форму, обусловлено отсутствием других рекомендаций для расчета скоростей в водоворотах, образующихся при движении транзитной струи.

При расчете в качестве средней скорости по вертикали на границе водоворота нами использовалось значение средней по глубине скорости транзитной струи, предварительное выделение которой было произведено по формуле (2). Применение средней по глубине скорости струи заведомо обуславливает завышение отметок на границе водоворота. Однако, на наш взгляд, это завышение не сказывается на величине продольного уклона транзитной струи по динамической оси вследствие пропорционального роста отметок при увеличении скорости.

План течений, полученный по формуле Н. М. Бернадского с учетом продольного уклона, представлен на рис. 2. Результаты расчета, сведенные в табл. 1, показывают, что влияние продольного уклона на расчет расширения транзитной струи в водохранилище-охладителе Змиевской ГРЭС значительно. Хорошее совпадение расчетного и построенного по данным натурных измерений ХО ТЭПа планов течений подчеркивает близость расчетных условий метода Н. М. Бернадского и натурных данных, принятых к расчету. Натурные измерения, послужившие материалом для построения плана течения, произведены 2—3/VI 1967 г., в штиль и при скоростях ветра 1—3 м/сек.

Для водохранилища-охладителя Змиевской ГРЭС были проведены расчеты температуры охлажденной воды по уравнению теплового баланса с дополнительной составляющей, учитывающей теплообмен транзитной струи с центральным водоворотом. Величины перегрева верхнего слоя транзитной струи по сравнению с центром водоворота, необходимые для определения конвективных скоростей на границе водоворота, вычислялись как разность между средней температурой струи и нормально-естественной температурой. Расчет средних температур струи выполнялся по формуле [7]

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = e^{\omega_{уд} D} \quad (14)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — перегрев транзитной струи соответственно в начальном и конечном сечениях выделенного расчетного участка;  $\omega_{уд}$  —

№ поперечника	№ струи водоворота	$r, м$	$b, м$ (по формуле (2))	$H_{ср}, м$
I	1	780	150	4,0
	2	925		
	3	975		
II	1	780	405	2,6
	2	925		
	3	975		
III	1	800	435	3,6
	2	925		
	3	975		
IV	1	840	500	4,6
	2	925		
	3	975		
V	1	2780	500	3,5
	2	2800		
VI	1	2780	500	3,2
	2	2800		
VII	1	830	540	4,5
	2	850		
	3	900		
VIII	1	820	750	4,6
	2	850		
	3	900		

Таблица 1

$v_{\text{ср}}$ м/сек	$v_{\text{в}}$ м/сек	$z_{\text{к}}$ м	$J_x$	$b$ , м (по формуле (1))
0,070	0,001 0,007 0,070	0,0265		150
0,040	0,000 0,004 0,040	0,0085	$1,9 \cdot 10^{-5}$	370
0,027	0,000 0,003 0,027	0,0040	$0,69 \cdot 10^{-5}$	385
0,018	0,000 0,002 0,018	0,0021	$0,22 \cdot 10^{-5}$	420
0,024	0,000 0,024	0,0010	$0,09 \cdot 10^{-5}$	420
0,026	0,000 0,026	0,0010	0,00	420
0,017	0,000 0,002 0,017	0,0017	$-0,08 \cdot 10^{-5}$	456
0,012	0,000 0,001 0,012		$0,010 \cdot 10^{-5}$	635

удельная площадь транзитной зоны;  $D$  — величина, определяющая теплообмен со свободной поверхностью транзитной струи.

Дальнейший расчет велся с использованием кривой падения температур, построенной по формуле (14). Значения температур по указанной кривой исправлялись с учетом дополнительного расхода тепла через боковые стенки струи.

Введение в уравнение теплового баланса члена  $S_{бок}$  значительно уточняет расчет. Как показали вычисления для водохранилища-охлаждителя Змиевской ГРЭС, часть теплового баланса за счет учета теплообмена на боковых поверхностях струи составляет около  $40 \cdot 10^5$  ткал/сут (табл. 2).

Результаты расчетов представлены на рис. 3, на котором видно, что учет внутреннего теплообмена транзитной струи с водоворотом за счет гидравлических и конвективных течений приводит

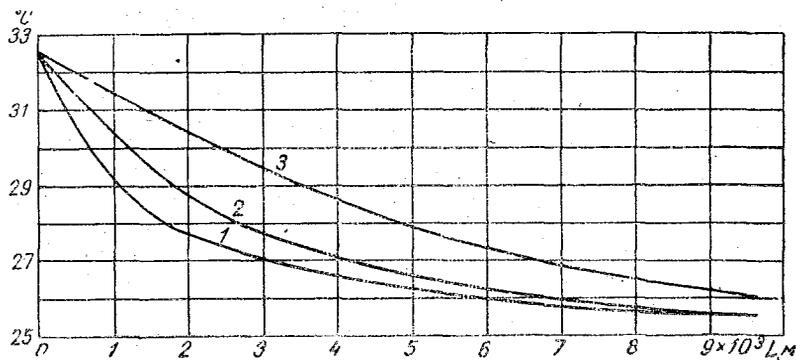


Рис. 3. Падение температур вдоль транзитной струи водохранилища-охлаждителя Змиевской ГРЭС.

1 — по натурным данным; 2 — с учетом  $S_{бок}$ ; 3 — по данным расчета

к существенному сближению расчетной кривой падения температур вдоль транзитной струи с натурной.

Таблица 2

Длина расчетного участка транзитной струи, м	Средняя температура на расчетном участке, °C	Перегрев, °C	Градиент перегрева, град/м	Скорость поперечного течения, м/сек	Ширина на расчетном участке транзитной струи, м	Теплообмен за счет поперечных течений, ткал/сут
1050	32,2	4,4	0,0015	0,0240	170	$1,75 \cdot 10^5$
1060	31,5	3,7	0,0015	0,0240	560	$11,40 \cdot 10^5$
1150	30,6	2,8	0,0014	0,0235	660	$13,10 \cdot 10^5$
1080	29,8	2,0	0,0012	0,0215	600	$9,58 \cdot 10^5$
830	28,8	1,0	0,0009	0,0180	910	$6,94 \cdot 10^5$
900	28,1	0,3	0	0	0	0
						$42,77 \cdot 10^5$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. I. Госэнергоиздат, М.-Л., 1961.
2. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 32. «Энергия», Л., 1967.
3. Труды совещания по современным методам расчета и моделирования температурных полей водоемов. Гидрометеиздат, Л., 1966.
4. Бернадский Н. М. Теория турбулентного потока и ее применение к построению течений в открытых водоемах. Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР, вып. XX. Госэнергоиздат, М.-Л., 1933.
5. Винников С. Д. О средних скоростях в круговом цилиндрическом водовороте. Труды ЛГМИ, вып. 36, 1969.
6. Винников С. Д. О расчете поля скоростей в круговом цилиндрическом водовороте. Труды ЛГМИ, вып. 36, 1969.
7. Юрoвская Т. Н. К вопросу о построении кривой падения температуры воды вдоль активной зоны водохранилища-охладителя. Труды ЛГМИ, вып. 36, 1969.

## «САДКО-3» — ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Осенью 1969 г. были проведены испытания подводной лаборатории «Садко-3» (ПЛ С-3), разработанной В. Павловым, А. Игнатьевым, М. Тюлевым, Д. Румянцевым и автором и предназначенной для проведения гидрофизических и биолого-геологических исследований с использованием метода длительного пребывания человека под повышенным давлением. Рабочий комплекс эксперимента 1969 г. состоял из ПЛ С-3, транспортирующей камеры, декомпрессионного павильона, промежуточного поста, водолазного комплекса и коммуникаций.

ПЛ С-3 имеет вертикальную ориентацию и состоит из трех отсеков, расположенных один над другим (рис. 1). Верхний отсек представляет собой пост управления и контроля, где размещена научная аппаратура, средний отсек — жилое помещение и нижний отсек — вспомогательные помещения (кладовая, санузел, декомпрессионная камера и входной тамбур). Корпус ПЛ С-3, сваренный из стали толщиной 7—14 мм, был рассчитан на внутреннее рабочее давление 6 атм. Предварительно были проведены гидравлические испытания корпуса под давлением 9 атм. Над верхним отсеком была размещена площадка, на которой были сосредоточены места подсоединения коммуникаций, понижающий трансформатор, аккумуляторная батарея, осветители и пульт управления балластными цистернами. Под корпусом для компенсации большой положительной плавучести закреплен основной твердый балласт в виде компактного блока из чугунных дисков весом по три тонны каждый. Для компенсации погрешностей, допущенных при изготовлении прочного корпуса, служил вешивающий балласт, который состоял из отдельных грузов по 30 кг каждый. Балластные цистерны — верхняя, нижняя и коническая шахта входа — позволяли придать ПЛ С-3 достаточную положительную плавучесть в положении на плаву, достаточную отрицательную плавучесть на грунте, возможность мягкой посадки и плавного отрыва ПЛ С-3 от грунта (таблица).

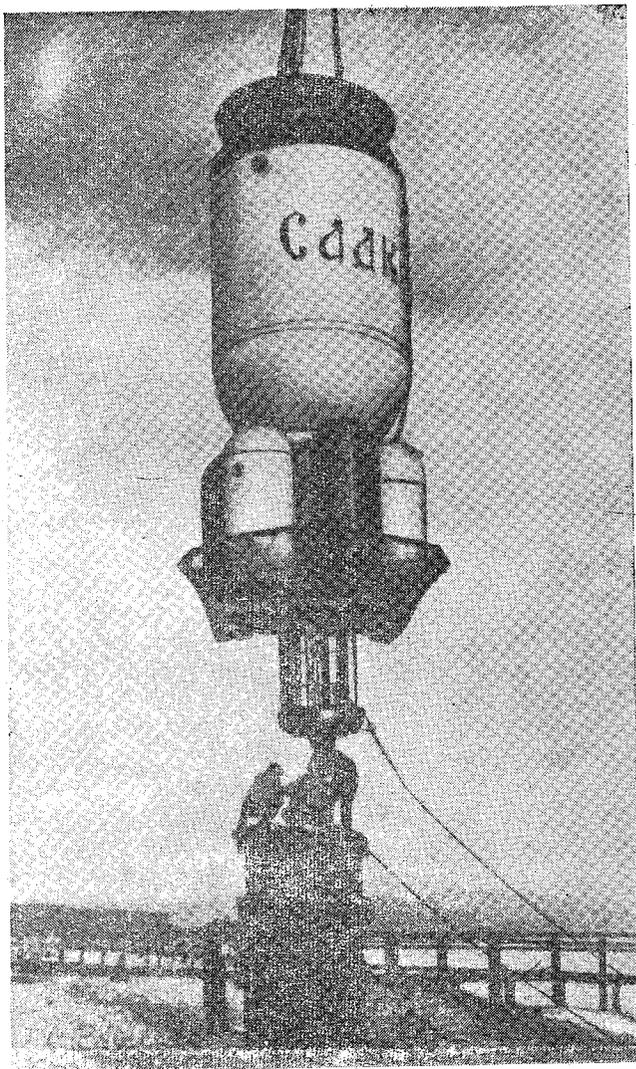


Рис. 1. Подводная лаборатория «Садко-3» перед спуском на воду.

Заполнение цистерн	Плаву́честь ПЛ С-3, т	
	Шахта входа затоплена	Шахта входа опорожнена
Верхняя и нижняя балластные цистерны продукты . . . . .	+5,10	+6,50
Нижняя балластная цистерна продукта	+0,15	+1,65
Балластные цистерны затоплены . . . . .	-4,26	-2,76

Критерием правильной балластировки ПЛ С-3 являлось такое положение, когда при затопленной верхней балластной цистерне и конической шахте входа положительная плаву́честь составит 0,15 т (вес двух человек, стоящих на верхней площадке ПЛ С-3). Нижняя балластная цистерна имеет прочный корпус, рассчитанный на внешнее и внутреннее избыточное давление, поэтому имелась возможность плавно регулировать плаву́честь ПЛ С-3. Крепление же основного твердого балласта, играющего роль гайдропана на цепях, позволило значительно ослабить толчки, имевшие место при достижении ПЛ С-3 грунта, а также производить ее установку на склонах с большой крутизной. В период эксплуатации уровень поверхности воды в ПЛ С-3 всегда колебался вследствие изменения температуры, входа и выхода акванавтов и работы санузла, поэтому для сохранения всегда сухим пола тамбура входа к нему снизу была приварена коническая шахта входа водоизмещением 1,5 м<sup>3</sup>. Для декомпрессии после длительного пребывания под повышенным давлением применялась береговая декомпрессионная камера ПДК-2, в которую акванавты доставлялись в транспортирующей камере, оборудованной из водолазного колокола. Это имеет ряд преимуществ по сравнению с декомпрессией, проводимой в самой подводной лаборатории после подъема ее на поверхность: экономия газовой смеси, возможность смены одного экипажа акванавтов другим без подъема подводной лаборатории на поверхность, меньшая зависимость от волнения на поверхности моря, возможность вывода заболевшего члена экипажа акванавтов не прекращая эксперимента и др. Транспортирующая камера представляет собой сосуд цилиндрической формы с герметичным люком, иллюминатором, опорной рамой и рымами (рис. 2). Она имеет положительную плаву́честь и благодаря блоковой системе может быть установлена на той же глубине и в непосредственной близости от ПЛ С-3. Транспортирующая камера рассчитана на эвакуацию из ПЛ С-3 трех или четырех акванавтов.

Декомпрессионный павильон — это двухэтажный домик, в котором находится оборудование для проведения эксперимента. На первом этаже размещены ПДК-2 и подъемный тельфер, позволяющий соединять ПДК-2 и транспортирующую камеру с акванавтами. Рядом находятся кабинет врача и фотолaborатория.

Промежуточный пост представляет собой площадку на сваях, вынесенную на 50 м в море, с него непосредственно к ПЛ С-3 шли кабель силовой, кабель телеметрический, шланг подачи пресной воды, шланг подачи газовых смесей и страхующая оттяжка. Промежуточный пост соединен с берегом эстакадой и имеет подъем-

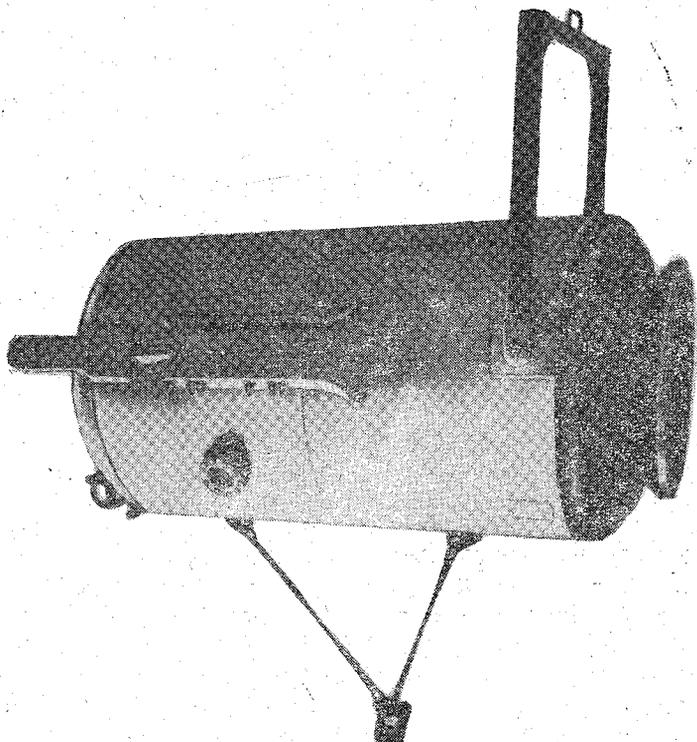


Рис. 2. Транспортирующая камера.

ный тельфер для подъема и спуска на воду транспортирующей камеры и рельсовые пути, по которым транспортирующая камера доставляется к декомпрессионному павильону. На промежуточном посту установлен энергощит и щит подачи компонентов газовых смесей.

Для определения содержания кислорода в газовой смеси ПЛ С-3 внутри имелся пленочный оксиметр непрерывного действия, основной же газовый анализ проводился на поверхности. Для этого через 4 часа на поверхность выбрасывались пробы газовой смеси, которые набирались насосом в волейбольные камеры. На береговом пульте управления имелись газоанализаторы: ПГАКа и ПАК-3 — на кислород; Холдена — на кислород и углекислоту; ПГА ДУМ — на углекислоту и индикаторные трубки — на угарный газ. Один раз в два дня делался хроматографический анализ газовой смеси на содержание в ней вредных примесей.

В задачи эксперимента 1969 г. входило: проверка работы всех механизмов и устройств ПЛ С-3, транспортирующей камеры и декомпрессионного павильона и разработка методики проведения биоакустических и медицинских исследований. С целью проверки всех систем жизнеобеспечения с 11 по 14 октября 1969 г. в ПЛ С-3, установленной на глубине 25,5 м, находились три испытателя — А. Монкевич, Д. Румянцев и автор (командир экипажа). Газовая смесь, подававшаяся на эту глубину, состояла из 14—15% кислорода, остальное составлял азот. Первый эксперимент прошел успешно: установка для регенерации газовой смеси поддерживала содержание углекислого газа от 0,3 до 0,7%, угарного газа — менее 0,001%, а других вредных примесей в атмосфере ПЛ С-3 обнаружено не было. Оптимальный режим работы электронагревателей обеспечивал в ПЛ С-3 температуру, равную 24—25°C. 14 октября испытатели были переведены в транспортирующую камеру, поднятую затем на поверхность и соединенную с ПДК-2, здесь они прошли ступенчатую декомпрессию в течение двух суток.

Одновременно с переходом испытателей в ПДК-2 в ПЛ С-3 зашли три члена основного экипажа — А. Игнатъев (командир экипажа), В. Беззаботнов и Е. Савченко, которые проработали под водой 14 суток. Одной из основных задач была разработка методики биоакустических исследований. Для этой цели была сконструирована и изготовлена цилиндрическая вольера, представляющая собой металлический каркас, обтянутый капроновой делью (рис. 3). В вольере, установленной на подводную лабораторию плавучим краном, находились гидрофоны и осветители, внутри ПЛ С-3 имелись усилитель и магнитофон. Через иллюминаторы, расположенные на трех горизонтах, просматривалась большая часть вольеры и производились визуальные наблюдения, фотографирование и киносъемка рыб (ставрида, ласкирь, катраны и скаты), предварительно запущенных в вольеру. Такие же наблюдения велись и за пределами ПЛ С-3. Предполагается, что развитие такого рода исследований позволит изучить суточную активность рыб, а также их реакцию на биологические шумы. Вероятно, подобные наблюдения представят наибольший интерес в период нерестовой активности рыб, когда их биологические шумы могут быть наиболее интенсивными.

Таким образом, проведенный эксперимент показал, что с помощью подводной лаборатории и вольеры можно вести непрерывные наблюдения за рыбами. Обеспечить такие наблюдения погружениями с поверхности практически не представляется возможным, так как на глубине 25 м аквалангист может проработать не более 25 минут и потребуется очень большой штат для проведения непрерывных наблюдений. Эксперимент с подводной лабораторией, на которую одета вольера, проведен впервые, поэтому естественно, что возник целый ряд трудностей: гибель большей части рыбы, доставляемой рыбаками (очевидно, в дальней-

шем следует использовать обнаруженную акванавтами четко выраженную реакцию ставриды на свет и заманивать ее таким образом в вольеру), и быстрый выход из строя гидроакустической

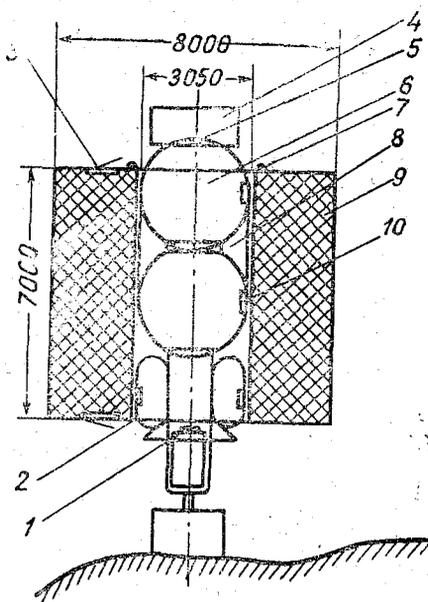


Рис. 3. Схема установки вольеры на подводную лабораторию ПЛ С-3.

1—выходной люк в ПЛ С-3; 2—опорный фланец; 3—люк для запуска биологических объектов; 4—верхняя площадка; 5—верхний люк ПЛ С-3; 6—ПЛ С-3; 7—рым; 8—верхняя балластная цистерна; 9—вольера; 10—иллюминатор.

аппаратуры и усилителей (всю ее следует перед экспериментом в течение длительного времени проверять в декомпрессионной камере).

В программу медицинских исследований входили дистанционные наблюдения за основными физиологическими функциями акванавтов по схемам, принятым в космической медицине, и изучение реакции акванавтов на специальные пищевые рационы, приготавливаемые ими внутри ПЛ С-3 из пищевых концентратов.

## ИЗУЧЕНИЕ СЛОЯ СКАЧКА МЕТОДОМ ПОДКРАШИВАНИЯ ПОТОКА КРАСИТЕЛЕМ

Наблюдения процессов перемешивания в слое скачка, проведенные в 1965 г. лабораторией подводных исследований Ленинградского гидрометеорологического института на Черном море, позволили обнаружить наличие значительных вертикальных градиентов скоростей течения и изменчивости направлений течения непосредственно в слое скачка. Была отмечена связь изменения поля скорости в слое скачка с изменением поля плотности, т. е. температуры [1].

С целью более детального изучения этого явления летом 1966 г. был проведен эксперимент по исследованию динамики слоя скачка методом подкрашивания потока красителем. Результаты этого опыта изложены в настоящей статье. Эксперимент проводился в прибрежной зоне Черного моря с научно-исследовательского судна «Нерей».

Прослеживание картины перемешивания водных масс решалось путем подкрашивания потока на нужном горизонте хорошо растворимым в морской воде красителем, например флуоресцеином. Флуоресцеин, растворяясь в водном потоке, дает возможность проследить и зафиксировать на фотопленку его развитие.

Метод подкрашивания потока применялся при исследовании различных процессов в море как в нашей стране, так и за рубежом. В работе Вудса и Фусбери [2] описывается методика применения красящего вещества для подкрашивания потока в слое температурного скачка. Английские исследователи прослеживали трансформацию окрашенного поля в слое скачка в вертикальном и в горизонтальном направлениях, получив при этом очень интересные результаты. В отличие от эксперимента Вудса и Фусбери, в нашей работе основное внимание уделялось мелкомасштабным процессам турбулентности в окрашенном потоке и исследованию течений непосредственно по оси слоя скачка.

Для подкрашивания потоков широко применялись различного типа источники краски. В данном случае для изучения динамики

ческих процессов в слое скачка использовался непрерывный точечный источник краски.

Схема постановки эксперимента заключалась в следующем. С борта судна, стоящего на якоре или швартовочном буге, опускался трос до глубины 50—60 м (чтобы полностью захватывался слой скачка). На глубине наибольшего температурного градиента на трос навешивался маркер, представляющий собой заключенную в резиновую оболочку, пропитанную флуоресцеином гаклю. Выше и ниже этого маркера, т. е. слоя наибольшего температурного градиента, на расстоянии от него от 1 до 2 м навешивалось еще по одному маркеру. Резиновые оболочки разрывались, и краска вымывалась из маркеров, дрейфуя по потоку в виде окрашенных следов.

Расстояния между маркерами определялись интенсивностью слоя скачка. Если температурный градиент значителен, что хорошо воспринималось исследователем по резкому переходу от верхнего теплого слоя к нижнему холодному, маркеры располагались ближе друг к другу. В случае размытого слоя скачка маркеры разносились на большие расстояния. Максимальный разнос маркеров ограничивался углом зрения объектива, прозрачностью воды и подводной освещенностью.

Аквалангист производил фотосъемку окрашенных потоков в плане, в профиль и в перспективе. Фотосъемка выполнялась фотоаппаратом «Ленинград», заключенным в водонепроницаемый бокс УКП. Пленка А-2, чувствительностью 180 ед. ГОСТа, объектив «Юпитер-12», диафрагма 2,8, выдержка  $1/30$  сек. Одновременно с производством фотосъемки вторым акванавтом делался зондаж температуры, скорости и направления течения. Измерение этих характеристик велось от поверхности до глубины порядка 50 м через каждые 5 м. Температура измерялась обычным термометром, скорость и направление течения РИСТОм (ротаметрический измеритель скорости и направления течения). Таким образом, наблюдения и фотографирование динамических процессов, протекающих в слое скачка, привязывались к конкретным гидрологическим условиям в данной точке моря.

Помимо навешивания маркеров для изучения процессов перемешивания и поворотов течения в слое скачка производилось наблюдение дрейфа вертикального следа красителя, создаваемого с помощью красящих «бомбочек». С борта судна по тросу сбрасывался грузик с привязанной к нему паклей, пропитанной разведенным в клее флуоресцеином. При падении «бомбочка» прочерчивала заметный окрашенный след, который под действием течения изменял свою форму (см. рисунок). При наличии градиентов в скоростях течения по вертикали, след давал характерный изгиб. Последовательное фотографирование следа в слое скачка давало возможность получить от кадра к кадру эпюры скоростей тече-

ния. Линией отсчета служило положение следа «бомбочки», зафиксированное на первом фотокадре. Снимки, сделанные через известные промежутки времени из фиксированной точки, позво-

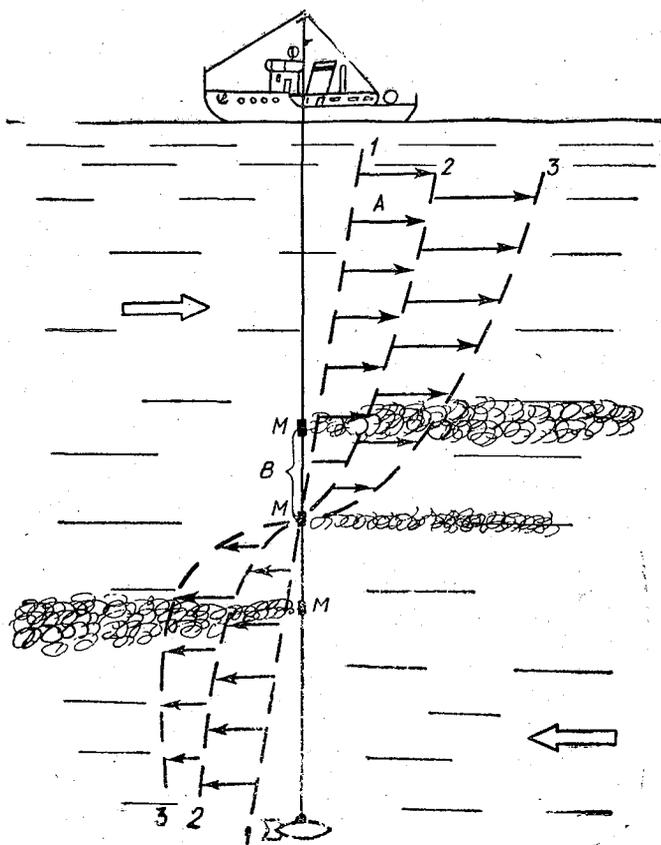


Схема. расположения маркеров на тросе и эпюры скоростей течения, прочерченные красителем.

ляли определить скорости течения на любых горизонтах в слое скачка. Масштабом служило расстояние между маркерами на тросе.

### Результаты подводного метода наблюдений

Наблюдение и фотографирование дрейфующего подкрашенного потока выявило картину расслоенности в слое скачка. Краситель, вымываясь из маркера, на протяжении нескольких десятков метров дрейфовал довольно отчетливой струей, незначительно изменяя свои размеры по вертикали. В горизонтальной плоскости след красителя постепенно растекался, образуя тонкую

делену. Смешивания следов от выше- и нижерасположенных маркеров не наблюдалось даже при расположении их на расстоянии 1 м друг от друга. Иногда из окрашенного следа можно было наблюдать выпадение кристаллов флуоресцеина, которые, падая вниз, прочерчивали микроэпюру. Очень длительное время эти микроэпюры сохраняли свою толщину, изменяясь только по форме.

Обычно окрашенный след от маркера, выставленного на верхней границе слоя скачка, расслаивался, образуя в вертикальной плоскости несколько тонких слоев с разной степенью вертикальной турбулентности. Наименьшая степень турбулизации наблюдалась на горизонте максимальных температурных градиентов.

Ниже по течению прослеживалось растекание потока в горизонтальной плоскости на отдельные следы, внешним видом напоминающие слоистые облака. Интенсивность и положение слоя скачка постоянно менялись. Маркеры, которые находились на границе слоя скачка, могли оказаться в самом слое или выйти за его пределы. При этом характер следа почти всегда изменялся. Если по оси слоя скачка растекание красителя в большинстве случаев было спокойным и след стелился тонкой пленкой, то за пределами слоя скачка можно было заметить утолщение следа и появление небольших вихрей.

С помощью навешенных маркеров можно было наблюдать не только расслоенность и уровень вертикальной турбулентности, но и проследить повороты течений. Такие повороты течения наблюдались 7 августа 1966 г. Данные вертикального распределения температуры воды, скорости и направления течения, приведенные в табл. 1, показывают, что окрашенный поток на горизонте 47 м двигался по направлению  $260^\circ$ , а на горизонте 50 м — по направлению  $180^\circ$ . Угол расхождения в направлении потоков менялся. Был момент, когда он достигал почти  $180^\circ$ , а затем в течение 4—5 мин постепенно уменьшался до  $90^\circ$ . Очень часто наблюдалось расхождение потоков на  $30\text{—}40^\circ$ . 19 сентября 1966 г. в этом же районе наблюдалась интересная картина распределения течений в слое скачка. На уровнях верхнего и нижнего маркеров окрашенные потоки шли в одном направлении, а на уровне среднего маркера, т. е. по оси слоя скачка, течение было направлено в противоположную сторону. Во время наблюдения этого явления был произведен зондаж температуры, а также скорости и направления течения от поверхности до глубины 40 м. Как видно из результатов зондажа (табл. 2), ось слоя скачка находилась на горизонте 28 м. На горизонтах 23, 28, 33 м было вывешено по одному маркеру. По компасу было установлено, что на горизонте верхнего маркера направление течения было  $350^\circ$ , на уровне среднего маркера —  $150^\circ$  и на уровне нижнего маркера направление течения было также равно  $350^\circ$ .

Ровно через час было произведено вторичное наблюдение за растеканием красителя и измерены скорости и направление тече-

ний на горизонтах расположения маркеров. Картина распределения течений несколько изменилась. Так, на уровне верхнего маркера направление осталось равным  $350^\circ$ , на уровне среднего стало равным  $80^\circ$  и на уровне нижнего —  $30^\circ$ . Еще через час наблюдения были снова повторены. К этому времени ось слоя скачка поднялась примерно до горизонта 25 м, и слой обострился. Маркеры были перевешены на глубины 24, 25 и 26 м. Измерение направлений течения на этих горизонтах дало следующие результаты: горизонт 24 м —  $90^\circ$ , горизонт 25 м —  $100^\circ$ , горизонт 26 м —  $120^\circ$ .

Таблица 1

Распределение температуры воды, скорости и направления течения

Горизонт наблюдения, м	Температура воды, °С		Течение по РИСТу	
	зондаж водолазом	глубоководный термометр	скорость, см/сек	направление, град
0	26,9			
5	23,4		3	270
10	23,2	23,87	10	270
15				
20	22,0	22,25	5	270
25	21,5		2	290
30	20,5	20,58	2	180
35	19,5		10	260
40	18,7	18,14	7	270
45	17,2		8	260
50	13,4	11,54	2	180
60		9,63		

Таблица 2

Зондаж температуры воды, скорости и направления течения, произведенный водолазом

Горизонт, м	Температура воды, °С	Т е ч е н и е	
		скорость, см/сек	направление, град.
5	22,4	9	90
10	22,4	6	350
15	22,4	8	360
20	22,6	7	360
25	21,8	6	360
30	14,6	2	180
35	11,0	3	360
40	10,1		

Изменение положения слоя скачка за время наблюдений на данной станции (3 часа), по-видимому, было связано с прохождением короткопериодных внутренних волн. Период таких волн определить не удалось, что обуславливалось трудностью непрерывного наблюдения под водой; во всяком случае, как следует из вышеприведенных данных, этот период длился меньше часа. При организации непрерывных наблюдений в слое скачка можно будет определить и период этих колебаний.

Процесс изменения интенсивности слоя скачка был, как правило, связан с изменением направления течения в слое. При расхождении потоков температурные градиенты в слое уменьшались, при однонаправленном движении потоков в слое — возрастали.

Часто можно было наблюдать, как подкрашенный след меандрирует по течению в горизонтальной плоскости. Изгибы следа можно объяснить тем, что слой скачка, постоянно изменяя свою глубину, уходил с горизонтов, на которых были навешены маркеры. Существующий поворот в направлении течения по вертикали и создавал такие изгибы следа в горизонтальной плоскости.

Наблюдения за развитием вертикального следа красителя позволили установить наличие значительных вертикальных градиентов скорости течения на границах слоя скачка. По оси слоя скоростные градиенты были намного меньше. Это свидетельствовало о расслоенности в самом слое, его динамической неоднородности.

Одна из особенностей слоя, имевшая место почти во всех наблюдениях, — смена прозрачности воды у слоя скачка. На верхней границе хорошо выраженного слоя скачка происходило заметное ухудшение прозрачности за счет оседания мельчайших организмов на более плотной холодной воде. Ниже слоя скачка прозрачность резко улучшалась. В качестве примера можно привести наблюдения 12 августа 1966 г., когда горизонтальная видимость в воде на верхней границе слоя скачка (глубина 25 м) была равна 3 м, а ниже слоя скачка (глубина 30 м) порядка 10 м.

### Заключение

Проведенными исследованиями не ставилась цель получить исчерпывающую картину формирования слоя скачка и его изменчивости. Эти исследования экспериментального характера были направлены на отработку подводного метода наблюдений и выявление возможностей его применения к исследованию слоя скачка.

Выполненные эксперименты показали, что подводные наблюдения с применением фотосъемки дают возможность по-новому изучать слой скачка в море. Подводный метод позволил проследить повороты течений до  $180^\circ$  на расстоянии менее 3 м по вертикали, что практически невозможно уловить приборами с судна. С помощью прямых подводных наблюдений были выявлены большие температурные (более  $2^\circ$  на 1 м) и скоростные (более 10 см/сек

на 1 м) градиенты в слое скачка. Как показали результаты экспериментов, хорошо выраженный слой скачка обычно расслоен на ряд тонких слоев, характеризующихся различным уровнем турбулентности.

Подкрашивание потоков и фотосъемка их даст возможность изучить микродинамическую структуру слоев, в частности проследить образование и развитие отдельных вихрей и микротурбулентное перемешивание на различных горизонтах в слое скачка.

Подводные наблюдения в комплексе с новейшими методами автономного сбора гидрологических данных с различных горизонтов дадут возможность более детально исследовать динамическую структуру слоя скачка в море.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурнашев В. Х., Джус В. Е., Кунец Т. А., Лабейш В. Г., Майер А. В., Мерлин В. М. Опыт визуальных наблюдений за слоем скачка в море. Океанология, т. VI, вып. 5, 1966.
2. Woods J. D., Fosberry G. G. Observations of the behaviour of the thermocline and transient stratifications in the sea made visible by dye markers. Malta-65. Underwater Assotiation.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСЬ ТЕЧЕНИЯ САМОПИСЦАМИ БПВ-2 В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПОСТАНОВОК

Вопросы влияния гидрометеорологических факторов на работу автономной буйковой станции наблюдения течения и возможности достоверной оценки материалов наблюдений в последнее время неоднократно рассматривались в печати. В частности, этим вопросам посвящены статьи [1] и [2]. С целью изучения поведения самописцев в буйковой постановке на волнении были проведены лотковые испытания в лаборатории Ленинградского института водного транспорта [3].

Начиная с 1963 г. лабораторией подводных исследований ЛГМИ был поставлен ряд натуральных экспериментов по кино съемке поведения самописцев БПВ-2 под водой. Этим экспериментам предшествовали лабораторные исследования с целью определения величины записываемой скорости самописцем БПВ-2 при различных углах расположения самописцев к оси потока. Получен график распределения записываемой скорости (рис. 1). Кроме того, по данным обработки натуральных кино съемок поведения самописца в буйковой постановке, проведенных на Черном и Каспийском морях, построены кривые нормального распределения углов разворота самописца относительно оси потока. Примеры распределения для случаев волнения более и менее 2 баллов приведены на рис. 2, где высоты волн взяты по шкале Титова [4]. Как видно на графиках, рыскание самописцев относительно оси потока при значительном волнении может служить причиной возникновения ошибок в измерении самописцем скорости течения, причем записываемая скорость будет меньше действительной скорости течения. Величина ошибки может быть определена из сопоставления вероятностных кривых распределения углов разворота вертушки с кривой зависимости показаний скорости от угла положения ее относительно оси потока.

К сожалению, выводы по лабораторному моделированию и натурной кино съемке системы буйковой станции не были подтвер-

ждены материалами непосредственных наблюдений. Такая попытка предпринята в настоящей работе, цель которой заключалась в получении синхронных записей скоростей и направлений течения тремя самописцами в различных вариантах постановок.

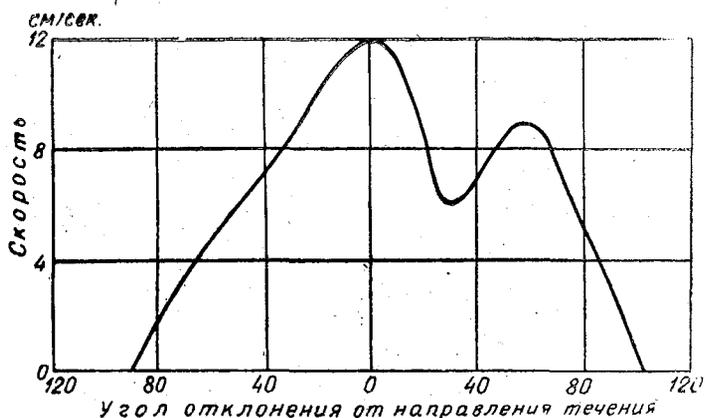


Рис. 1. Распределение записываемой скорости при различных углах положения самописца к оси потока.

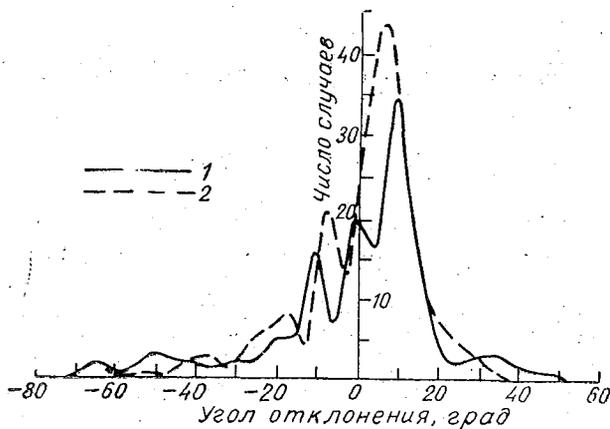


Рис. 2. Кривые распределения углов положения самописца относительно оси потока.

1—для волнения более 2 баллов; 2—для волнения менее 2 баллов.

Схема эксперимента предусматривала работу самописцев в следующих вариантах постановок (рис. 3):

1) постановка самописца на несущий кронштейн, жестко закрепленный на подводной мачте;

2) постановка самописца на автономной буйковой станции;

3) постановка самописца на системе типа «катамаран».

Все три постановки обеспечивали одинаковость условий по глубине места и горизонтам расположения самописцев.

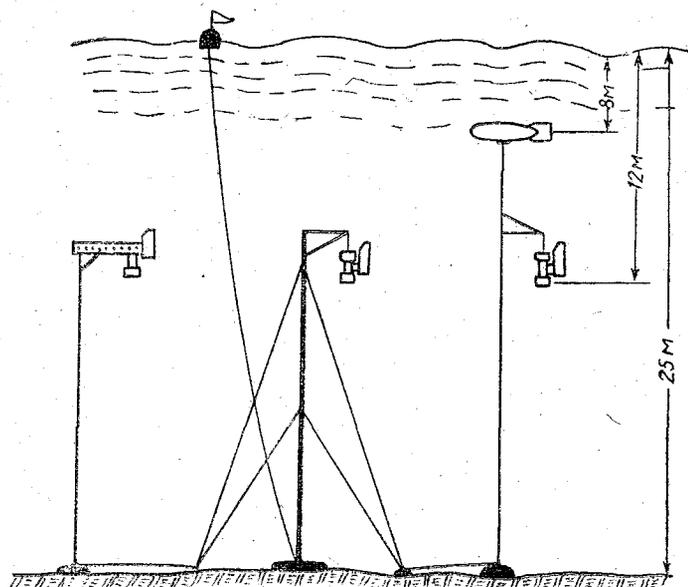


Рис. 3. Схемы вариантов постановок самописцев.

Подводная мачта представляла собой металлическую штангу, состоящую из двух колен длиной 7 м каждое. Мачта устанавливалась на глубине 25 м и крепилась двумя ярусами растяжек к донным якорям по трем направляющим через  $120^\circ$ . На мачту жестко крепился кронштейн для подвешивания самописца БПВ-2 в месте, обеспечивающем нахождение крылатки самописца на глубине 12 м. Подвешивание самописца на жестко закрепленном кронштейне обеспечивало неподвижность вертикальной оси подвески самописца и исключало возможность продольно-поперечных движений его в потоке под воздействием волнения и течения. Поэтому при обработке материалов по измерению течения данные по вышеуказанному самописцу считались эталонными и с ними сравнивались данные двух других самописцев.

Автономная буйковая станция с заглубленным бум устанавливалась в непосредственной близости от подводной мачты. Буй автономной буйковой станции с положительной плавучестью, равной 150 кг, заглублялся на 8 м. На тросе станции, на горизонте 12 м с помощью кронштейна подвешивался самописец БПВ-2.

Вся система крепилась к 200-килограммовому якорю, который связывался металлическим поводком с основанием мачты.

Установка типа «катамаран», конструкция которой была разработана и предложена к испытаниям морским отделом СЗУ ГМС, представляла собой буй, состоящий из двух пенопластовых пластин с общей положительной плавучестью 70 кг, скрепленных металлическими стержнями [5]. С одной стороны буя жестко навешивался самописец БПВ-2, причем крылья-обтекатели самописца выносились на буй, с другой стороны крепился трос, идущий к 50-килограммовому якорю (рис. 4). Предварительно «катамаран» вывешивался, т. е. регулировались точ-

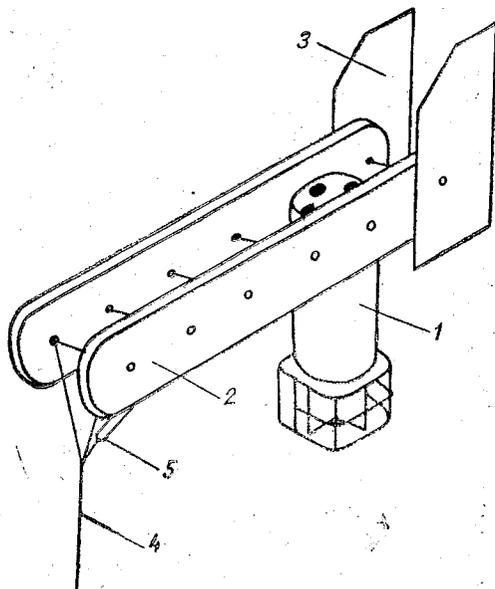


Рис. 4. Буй установки «катамаран» с подвешенным самописцем.

1—самописец БПВ-2; 2—пенопластовые полосы; 3—крылья-обтекатели; 4—трос; 5—талреп.

ки подвеса самописца и крепления троса для того, чтобы буй занимал устойчивое горизонтальное положение в потоке. Дополнительная регулировка производилась непосредственно под водой при помощи специального талрепа. Система «катамаран» также устанавливалась в непосредственной близости от подводной мачты.

На всех трех самописцах были поставлены 10-минутные диски, и часовые механизмы самописцев одновременно пускались в ход.

В ходе эксперимента получены данные одновременной записи течения по трем самописцам продолжительностью 50 часов и двум самописцам (на мачте и буйковой станции) продолжительностью 96 часов (рис. 5). При обработке материала все данные разбива-

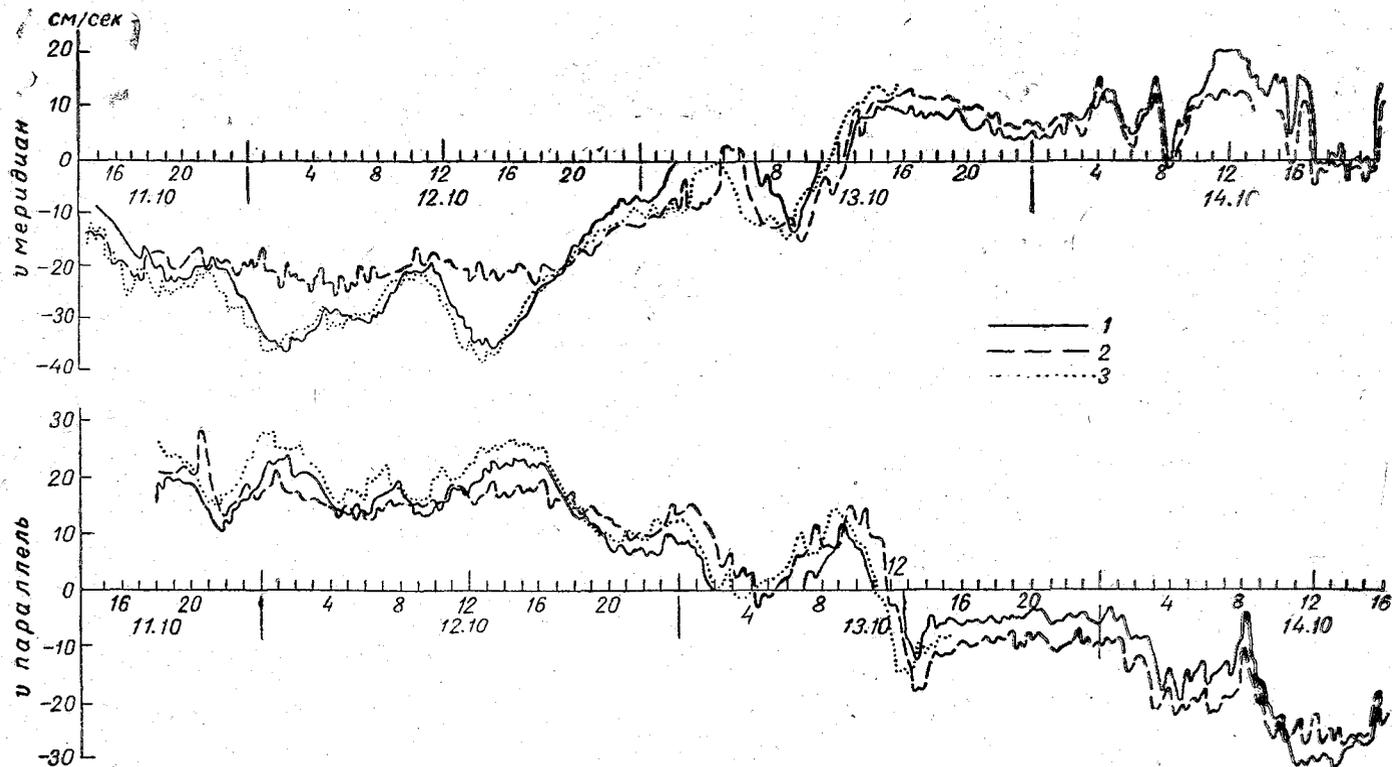


Рис. 5. Запись составляющих скоростей течения на меридиан и параллель самописцев БПВ-2, установленных на мачте (1); буйковой станции (2); «катамаране» (3).

лись на два ряда по условиям гидрологической обстановки в районе проведения эксперимента. Первый ряд включал данные при режиме волнения до 2 баллов (1—2 балла), второй — при режиме волнения более 2 баллов (3—4 балла).

При обработке данных эксперимента приняты следующие обозначения измеряемых величин составляющих скоростей течения по БПВ-2:  $x_i$  — установленной на мачте;  $y_i$  — в буйковой постановке;  $z_i$  — установленной на системе «катамаран».

Для каждого ряда вычислены следующие вероятностные характеристики:

1) средние величины  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ;

2) среднеквадратичные отклонения величин  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ , оценивающие вероятностную ошибку измерения скоростей течения

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - y_i)^2}{n}}; \quad \sigma_{xz} = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - z_i)^2}{n}};$$

3) коэффициенты корреляции

$$r_{xy} = \frac{\Sigma \Delta x_i \Delta y_i}{n \sigma_x \sigma_y}; \quad r_{xz} = \frac{\Sigma \Delta x_i \Delta z_i}{n \sigma_x \sigma_z};$$

4) мера рассеяния коэффициента корреляции

$$E = \pm 0,67 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}};$$

5) критерий реальности связи, определяющий достаточность ряда наблюдений (при достаточной продолжительности ряда наблюдений  $\kappa > 10$ )

$$\kappa = \frac{r}{E};$$

6) уравнения регрессии величин  $x$ ,  $y$ ,  $z$

$$x - \bar{x} = \frac{\Sigma \Delta x \Delta y}{\Sigma \Delta y^2} (y - \bar{y}),$$

$$x - \bar{x} = \frac{\Sigma \Delta x \Delta z}{\Sigma \Delta z^2} (z - \bar{z});$$

которые позволяют осуществить переход от измеряемых величин скоростей течения к действительным значениям величин;

7) мера рассеяния уравнений регрессии, характеризующая точность данного уравнения

$$\sigma = \pm \sigma_x \sqrt{1 - r^2}.$$

Результаты вычислений вышеуказанных характеристик приведены в табл. 1, из которой видно, что данные самописцев как в буйковой постановке, так и в постановке типа «катамаран» дают неплохую связь с данными самописца, установленного на мачте и принятыми за эталонные. Лишь в трех случаях коэффициенты корреляции несколько меньше 0,8. Причем, не заметно существенной разницы в величине коэффициента корреляции для обоих режимов волнения, только при волнении свыше 2 баллов увеличивается сама ошибка, что видно из значений  $\sigma_{xy}$  и  $\sigma_{xz}$ . К сожалению, наблюдений при сильном волнении (свыше 4 баллов) не было, поэтому трудно говорить, насколько могут быть искажены показания самописцев в этом случае.

Скорости течения, снятые с лент самописца, установленного на «катамаране», ближе к действительным значениям, чем данные буйковой станции. При этом знак ошибки в измерении скоростей течения самописцем на «катамаране» отрицательный в отличие от знака ошибки, возникающей при измерении скоростей течения самописцем в буйковой постановке. Это объясняется тем, что установка «катамаран» более устойчива в потоке, ее движения сводятся в основном к продольным перемещениям, из-за которых записываемая скорость завышается. Самописец в буйковой постановке при тех же условиях более подвержен крутильным колебаниям в потоке, в результате которых записываемые скорости занижены по сравнению с действительными.

Величина ошибки меньше во всех случаях измерения скорости течения самописцем в постановке типа «катамаран», чем при измерении скорости самописцем в буйковой постановке. Особо следует остановиться на случаях, когда скорость течения в районе эксперимента была равна нулю. Все эти случаи выделены в отдельный ряд и для этого ряда подсчитывались только средние значения величин  $y_i$ ,  $z_i$ , характеризующие ошибки, возникающие в результате чисто волнового воздействия на систему постановки.

Из данных табл. 2 видно, что без стабилизирующего влияния течения самописцы, перемещаясь в водной среде под влиянием волнения, пишут несуществующую скорость. Причем, постановка типа «катамаран» в этом случае менее устойчива, чем буйковая станция.

Таким образом, по результатам последних лабораторных исследований и натуральных экспериментов дополнительно к выводам, приведенным в работах [1, 2, 3], можно сделать следующие выводы о работе самописцев в различных вариантах постановок при воздействии на них волнения и течения:

1. Обработка одновременной записи показала лучшую связь измеряемых и действительных скоростей течения при волнении не свыше 4 баллов, чем ожидалось по данным лабораторных исследований и натурной киносъемки.

2. Возникновение ошибок в измерении скоростей течения самописцем БПВ-2 происходит вследствие продольных колебаний

Результаты статистической обработки данных течения, снятых с лент  
самописцев БПВ-2 в различных вариантах постановок

№ п/п	БПВ-2 в буйковой постановке		БПВ-2 в постановке типа «катамаран»	
	Волнение до 2 баллов, $n=108$	Волнение свыше 2 баллов, $n=108$	Волнение до 2 баллов, $n=108$	Волнение свыше 2 баллов, $n=170$
С о с т а в л я ю щ и е   н а   м е р и д и а н				
1	$\bar{x} = -17,4; \bar{y} = -17,9$	$\bar{x} = -26,0; \bar{y} = -22,0$	$\bar{x} = -17,4; \bar{z} = -19,1$	$\bar{x} = -13,6; \bar{z} = -17,4$
2	$\sigma_{xy} = 4,9$	$\sigma_{xy} = 9,3$	$\sigma_{xz} = 3,6$	$\sigma_{xz} = 5,1$
3	$r_{xy} = 0,78$	$r_{xy} = 0,76$	$r_{xz} = 0,93$	$r_{xz} = 0,96$
4	$E = \pm 0,02$	$E = \pm 0,03$	$E = \pm 0,01$	$E = \pm 0,01$
5	$\kappa = 31$	$\kappa = 27$	$\kappa = 103$	$\kappa = 269$
6	$\sigma = 4,1$	$\sigma = 6,5$	$\sigma = 2,4$	$\sigma = 4,4$
7	$x = 1,4y + 7,6 \pm 4,1$	$x = 1,11y - 1,6 \pm 6,5$	$x = 1,03z + 2,3 \pm 2,4$	$x = 0,97z - 1,5 \pm 4,4$

## С о с т а в л я ю щ и е   н а   п а р а л л е л ь

1	$\bar{x} = 12,5; \bar{y} = 14,2$	$\bar{x} = 16,7; \bar{y} = 15,2$	$\bar{x} = 12,5; \bar{z} = 15,4$	$\bar{x} = 9,9; \bar{z} = 11,7$
2	$\sigma_{xy} = 4,8$	$\sigma_{xy} = 5,3$	$\sigma_{xz} = 4,1$	$\sigma_{xz} = 5,0$
3	$r_{xy} = 0,79$	$r_{xy} = 0,85$	$r_{xz} = 0,90$	$r_{xz} = 0,96$
4	$E = \pm 0,02$	$E = \pm 0,02$	$E = \pm 0,01$	$E = \pm 0,01$
5	$\kappa = 33$	$\kappa = 47$	$\kappa = 75$	$\kappa = 208$
6	$\sigma = 3,0$	$\sigma = 3,3$	$\sigma = 2,2$	$\sigma = 0,9$
7	$x = 1,13y - 3,5 \pm 3,0$	$x = 1,56y - 7,0 \pm 3,3$	$x = 0,78z + 0,3 \pm 2,2$	$x = 0,79z + 0,7 \pm 0,9$

Ошибки, возникающие в отсутствие течения за счет чисто волнового воздействия на системы постановок

Волнение	Самописец в буйковой постановке	Самописец в постановке типа „катамаран“
Менее 2 баллов	$\overline{\Delta v} = 5,0 \text{ см/сек},$ $n = 65$	
Более 2 баллов	$\overline{\Delta v} = 9,3 \text{ см/сек},$ $n = 120$	$\overline{\Delta v} = 11,0 \text{ см/сек},$ $n = 70$

системы станции и разворотов самописца относительно оси потока. Степень влияния на величину и знак ошибки в измерении скорости течения каждого из этих видов движения зависит от соотношения сил воздействия волнения и течения.

3. При прочих равных условиях самописец в постановке типа «катамаран» дает более близкие к действительным значениям величины скоростей течения, чем самописец в буйковой постановке, за исключением случаев отсутствия течения в районе станции. Данную постановку можно рекомендовать при организации станций наблюдения течения в мелководных частях водоемов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Извеков М. В., Кудрявцев Н. Ф. Колебания систем автономных станций под действием волнения и их влияние на точность измерения течения. Труды ААНИИ, т. 210, 1961.
2. Кудрявцев Н. Ф. Колебания систем автономных станций под действием волн и задачи повышения точности измерения морских течений. Труды ААНИИ, т. 254, 1963.
3. Городенский Н. Б., Кудрявцев Н. Ф., Лабейш В. Г. Исследование на модели воздействий течений и волнения на автономную станцию наблюдений за течениями. Труды ААНИИ, т. 210, 1961.
4. Титов Л. Ф. Инструкция по прогнозам морского ветрового волнения. Гидрометеиздат, 1951.
5. Соколов И. П. К вопросу о наблюдении над течениями с помощью самописцев. Материалы II совещания специалистов устьевиков и семинара по исследованию гидрологического режима морских устьев рек в ГОИНе. ГОИН, 1966.

В. Х. БУРНАШЕВ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ

Вопрос об исследовании динамических явлений в приземном слое атмосферы с обобщением для придонного слоя достаточно изучен как экспериментально, так и теоретически. В то же время экспериментальное исследование придонного пограничного слоя еще не вышло за рамки модельных опытов. Хорошо известны работы И. К. Никитина [1], Н. С. Знаменской [8], А. Б. Клавена [9] и многих других, выполненные в лотках фотографическим и кинематографическим методами. В настоящей работе излагается попытка экспериментального исследования динамической структуры придонного слоя в море с помощью подводной киносъемки. Основными задачами эксперимента были: получение осредненных эпюр придонных скоростей в натуральных условиях, распределение гидродинамических характеристик в придонной области и сравнение на основании этих данных гипотез Прандтля и Кармана о пути свободного перемешивания в пристеночной области, основанных на полуэмпирической теории турбулентности. Работы выполнялись в 1966 и 1968 гг. на Черном море.

### Методика натуральных наблюдений

Наблюдения динамических явлений в придонной области велись в прибрежном районе Черного моря около Сухумского мыса, на участке дна, покрытого илистым песком. Рельеф дна ровный на площади не менее 100 м<sup>2</sup>. Глубина проведения эксперимента 10—12 м.

Основным методом наблюдений выбран кинематографический метод; отдельные стороны наблюдаемых явлений фиксировались визуально. При исследовании структуры пограничного слоя визуализация потока достигалась введением в придонный слой красителя с помощью медицинского шприца с длиной иглы 25 см. Визуализация потока красителем нейтральной плавучести имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими метода-

ми фиксации поля скоростей. Измерительные приборы, вводимые в поток, могут существенным образом исказить его структуру. Кроме того, эти приборы записывают интегральную скорость, и масштаб осреднения зависит от инерционности прибора. Краситель нулевой плавучести не имеет инерции и повторяет малейшие пульсации потока, фиксируя мгновенное поле скорости. После ряда испытаний в качестве красителя был взят раствор флюоресцеина в морской воде с плотностью, соответствующей плотности морской воды в месте проведения эксперимента. Для получения количественных характеристик поля скорости репером и масштабом длин служила рейка круглого сечения диаметром 6 мм и длиной 500 мм, воткнутая в грунт. Водолаз, вводящий краситель, располагался ниже по течению и в стороне от пуска красителя. Перемещение шприца по вертикали вдоль репера при одновременном выдавливании красителя создавало подкрашенный столбик нейтральной плавучести, который сносился потоком. Возмущение, вносимое в поток движением руки водолаза и шприца при большой длине иглы и ее толщине порядка 0,3 см, оказывалось незначительным, так как это движение проходило в ламинарном режиме  $Re \approx 1$ . Опыты, выполненные для определения характера этого возмущения в покоящейся жидкости и при малых скоростях течения (около 10 см/сек), позволяют считать, что оно пренебрежимо мало по сравнению с турбулентными явлениями в придонной области.

Процесс сплывания и диффузии столбика красителя фиксировался 16-мм кинокамерой «Адмира-16 А Электрик» в боксе с широкоугольным объективом «Ларгор-12,5». Для экспонирования использовалась 16-мм киноплёнка А-2 и Д<sub>н</sub> чувствительностью 180 и 350 ед. ГОСТа соответственно, что позволило на глубине 10 м производить киносъёмку без дополнительного освещения. Скорость съёмки составляла 8 и 12 кадров/сек. Водолаз-оператор для уменьшения возмущения в потоке также располагался ниже по течению и сбоку от объекта съёмки.

Наблюдавшееся в некоторых опытах отклонение в направлении течения в придонном слое по сравнению с вышележащими слоями фиксировалось визуально, хотя в порядке опыта выполнена и плановая киносъёмка сплывания красителя. Визуально отмечалось время вымывания красителя из слоя прилипания (в непосредственной близости от дна).

Эксперименты проводились при отсутствии волнения, при различных скоростях течения. Диапазон скоростей течения около дна, охваченный опытом, составлял от 0,9 до 14 см/сек. Толщина слоя, за которым проводились наблюдения, — 20 см. Наблюдавшиеся скорости течения были условно разделены на три режима: режим I — малые скорости, режим II — средние скорости, режим III — большие скорости. Режим I охватывал средние скоро-

сти в слое 20 см в пределах от 0,9 до 2,9 см/сек, режим II — от 4,5 до 8,5 см/сек, режим III — от 4,0 до 13,7 см/сек. Режим III был выделен отдельно из-за больших градиентов скоростей.

### Обработка материалов наблюдений

Основной задачей обработки отснятых киноматериалов было получение эпюр средней скорости придонного течения, изучение процесса диффузии столбика красителя и явлений на нижней границе турбулентного слоя, вихреобразования и вымывания красителя из ламинарного подслоя.

Для построения эпюр скорости определялись осредненные за период съемки (3—5 сек) величины скорости на расстояниях 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 см от дна. При этом каждый кадр киноплёнки проектировался на экран с помощью покадрового проектора. Отношение размера репера на экране и истинного размера определяло масштабный коэффициент для получения истинных значений скорости.

Для каждого из отмеченных выше горизонтов, отсчитываемых по сантиметровой рейке — реперу, определялось расстояние от репера до ближайшего края столбика красителя и ширина столбика красителя на данном горизонте. Значение скорости по  $i$ -му и  $i+1$ -му кадру определялось как

$$v_{xi} = \frac{\left(S_{i+1} + \frac{l_{i+1}}{2}\right) - \left(S_i + \frac{l_i}{2}\right)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  — временный интервал между кадрами, определяемый скоростью съемки.

При измерении принималось, что диффузия красителя на переднем и заднем краях облака одинакова и для исключения ошибки, возникающей при измерении толщины облака за счет диффузии — нечеткие края облака, — расстояние от репера до облака дополнялось половиной ширины облака, т. е. исследовался дрейф центра столбика красителя. Средняя величина скорости течения на данном горизонте определялась по формуле

$$\bar{v}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{xi}, \quad (2)$$

где  $n$  — число обрабатываемых кадров.

При общем количестве кадров для каждого спуска 50—70 ошибки отдельных измерений, связанных главным образом с неточным определением края столбика красителя, становятся несущественными; средняя квадратичная ошибка в скорости, порождаемая этой неточностью, имеет величину примерно 0,1 см/сек.

Эпюры осредненных скоростей, полученных в результате обработки 16 пусков при разных значениях средних скоростей потока около дна толщиной 20 см представлены на рис. 1. Все 16 эпюр

обобщены для трех принятых режимов течения. Таким образом, увеличен масштаб осреднения эпюр придонных скоростей до 15—20 сек. Эпюры для трех режимов представлены на рис. 2. На рисунках видно, что с увеличением средних значений скоростей увеличиваются градиенты скоростей. Во всех выполненных опытах в придонном пограничном слое наблюдалось движение, характерное для обтекания гидравлически гладких пластин. Бугорки шероховатости на дне не выступали за пределы ламинарного подслоя, толщина которого была около 0,5—1,0 см. За пределами ламинарного подслоя развивались турбулентные явления.

Принятая методика вычисления средних скоростей допускает возможность существования систематических ошибок. Во-первых, ошибки в определении величины скорости могут возникнуть в случае неперпендикулярности оптической оси объектива к направлению течения. Они пропорциональны косинусу угла между направлением течения и оси объектива и, как правило, невелики. Во-вторых, возможны ошибки в определении высоты расположения отдельных участков всплывающего столбика над дном. Величина этих ошибок может достигать значений 1,0—1,5 см. Другие ошибки, связанные, например, с аберрацией края кадра, незначительны.

Для выявления процесса вихреобразования у нижней границы турбулентного слоя на экране отмечалось перемещение отдельных клубов красителя как в основном столбике, так и после его выхода из кадра, выделяющихся из ламинарного подслоя. Прослеживание перемещения таких клубов и изменение их формы от кадра к кадру дало возможность установить кинематическую структуру придонного слоя-траектории и скорости частиц конечного объема. Для определения траекторий частиц в относительном движении в ряде случаев применялся также метод «следящей камеры» — перемещение экрана в направлении среднего течения от кадра к кадру со средней скоростью данного слоя. Основную трудность на этом этапе обработки составляет индивидуализация отдельных клубов при их малой контрастности, к тому же меняющейся во времени вследствие диффузии. Однако большое количество обработанных траекторий пятен красителя (около 40) позволяет считать, что принятая методика обработки вскрывает главные характерные стороны явления.

### Анализ эпюр средних скоростей

Сравнение гипотез Прандтля и Кармана производилось из предположения о логарифмическом распределении скоростей в придонной области. На рис. 2 показано, что экспериментальное вертикальное распределение осредненных скоростей удовлетворяет логарифмическому закону, предложенному Прандтлем

$$\frac{v_x}{v_*} = \frac{1}{\kappa} \ln z + C. \quad (3)$$

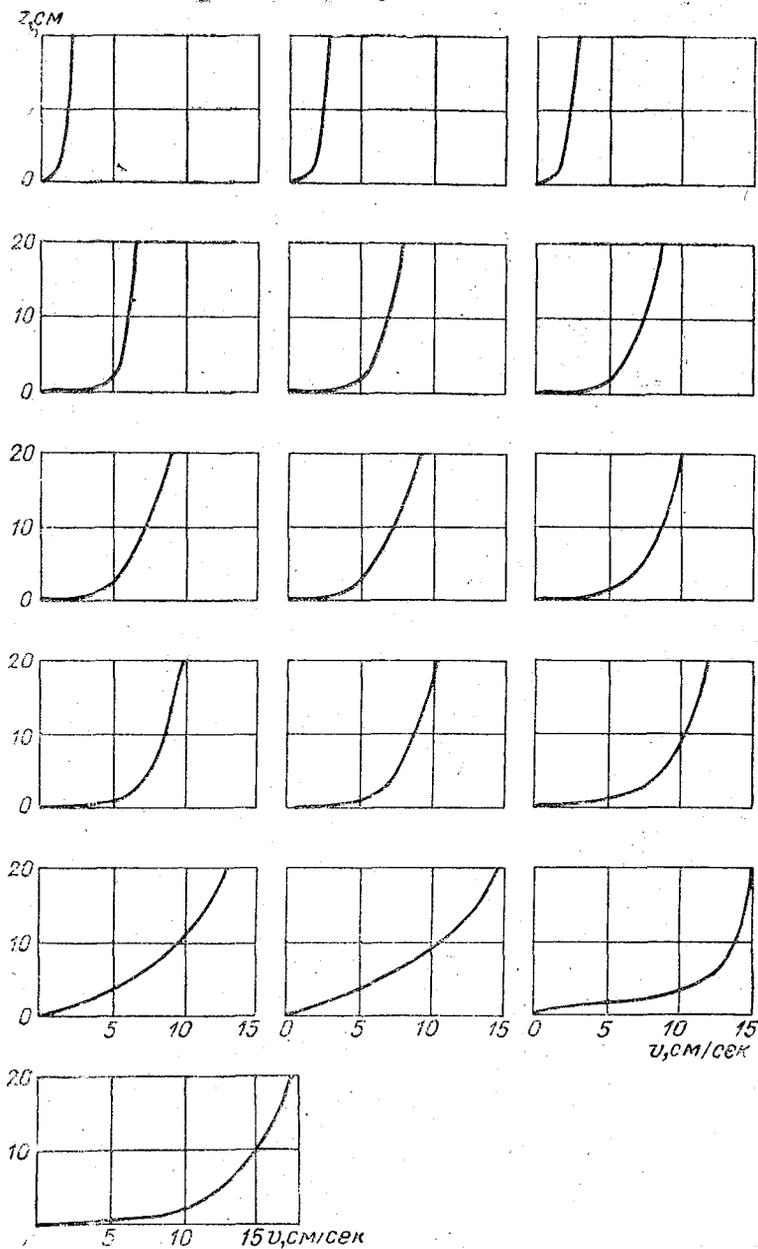


Рис. 1.

На рисунке эпюры осредненных скоростей представлены на полулогарифмическом графике — расстояния от дна отложены по оси ординат в логарифмическом масштабе. Все значения скоростей легли на прямые линии. Нанесены эмпирическая и теоретическая

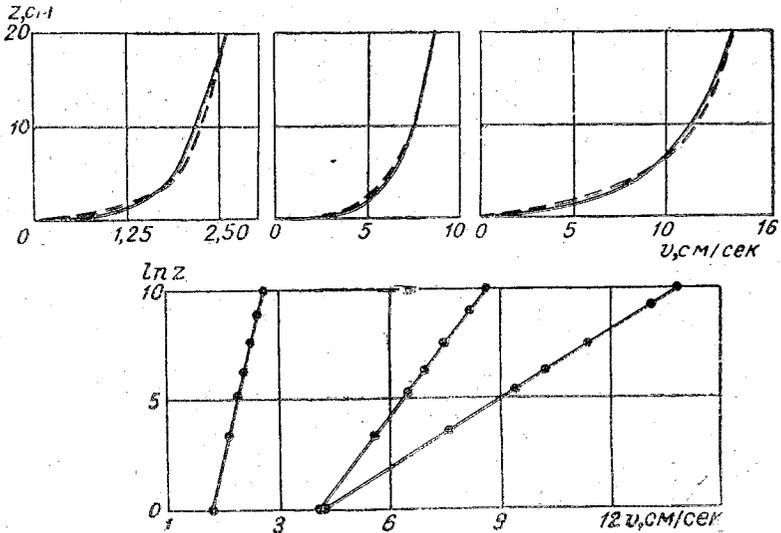


Рис. 2.

эпюры. Значения скоростей, найденные экспериментально, вполне согласуются с логарифмической кривой. Хорошо видно, что в зависимости от режима течения меняется угол наклона прямой. Упрощенная формула Сеттона

$$\frac{\bar{v}_x}{v_*} = \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{9v_* z}{\nu} \right) \quad (4)$$

и степенной закон распределения скоростей

$$\frac{\bar{v}_x}{v_*} = \text{const} \left( \frac{v_* z}{\nu} \right)^{\frac{1}{z}} \quad (5)$$

хуже соответствуют наблюдаемым эпюрам, чем общий логарифмический закон (3).

Согласно общепринятым представлениям полуэмпирической теории турбулентности, турбулизация осуществляется за счет диффузии конечных масс жидкости, которые движутся беспорядочно во всех направлениях подобно молекулам в кинетической теории газов. При этом аналогом длины свободного пробега молекул является величина с размерностью длины — «путь перемешивания».

вания», который учитывает еще и размеры диффундирующих масс. В соответствии с выводами полуэмпирической теории, величина касательного напряжения  $\tau$  между слоями при их относительном движении, возникающая из-за турбулентности, равна

$$\tau = \rho l^2 \left( \frac{d\bar{v}_x}{dz} \right)^2, \quad (6)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости;  $\bar{v}_x$  — средняя продольная составляющая скорости;  $z$  — поперечная координата (расстояние от дна). Наряду с касательным напряжением  $\tau$  часто используется связанная с ним величина динамической скорости  $v_*$ , причем,  $v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ .

Предполагается, что в придонной области торможение потока происходит только вследствие трения о дно. В этом случае приходится сделать вывод, что касательное напряжение  $\tau$  и динамическая скорость  $v_*$  на любом (малом) расстоянии от дна остаются неизменными. Действительно, в придонной области влиянием горизонтального обмена количеством движения можно пренебречь. В этих условиях оказывается возможным определить вертикальную структуру придонного пограничного слоя — распределение по вертикали  $z$ , пути перемешивания  $l$  и коэффициент виртуальной вязкости  $K_z$ .

Наиболее простая гипотеза о распределении в потоке пути перемешивания  $l$  предложена Прандтлем. По этой гипотезе  $l$  возрастает при удалении от ограничивающей поток поверхности пропорционально расстоянию  $z$

$$l = \kappa z, \quad (7)$$

где  $\kappa$  — постоянная Кармана — безразмерный параметр. Величина  $\kappa$ , по опытным данным Никурадзе, полученным в результате анализа потерь напора в трубах и измеренных эпюр скоростей, равна 0,4. Гипотеза Прандтля хорошо подтверждается опытом в непосредственной близости от пристеночной области, но с удалением от нее приводит к неправдоподобным результатам.

Второй общеизвестной гипотезой относительно величины пути перемешивания является гипотеза Кармана. Исходя из предположения о подобии пульсационных движений в потоке и ограничиваясь первыми двумя производными при разложении  $v_x$  в ряд по степени  $z$ , Карман получил приближенную формулу для  $l$

$$l = \kappa \frac{\frac{dv_x}{dz}}{\frac{d^2v_x}{dz^2}}. \quad (8)$$

В отличие от гипотезы Прандтля, связывающей распределение пути перемешивания только с геометрическим положением частицы, гипотеза Кармана определяет  $l$  в зависимости от осредненного скоростного поля.

Кроме гипотез Прандтля и Кармана, заслуживает внимания анализ движения завихренной частицы конечного объема в потоке с неравномерным распределением скоростей, предпринятый Фабрикантом. Поперечное распределение пути перемешивания в трубе, полученное Фабрикантом, наиболее точно отвечает экспериментальным данным Никурадзе для всего сечения трубы. Однако использование результатов Фабриканта для анализа структуры придонного пограничного слоя в море оказалось невозможным, так как в опытах осталась неизвестной глубина, на которой первая производная скорости обращается в нуль, что имеет место на оси трубы.

По осредненным эпиурам скоростей для всех пусков были графически определены первые и вторые производные скорости по высоте. По формулам (7) и (8) найдены значения пути перемешивания. По известным значениям  $l$  и градиенту скорости определялись:

коэффициент виртуальной вязкости

$$K_z = l^2 \frac{d\bar{v}_x}{dz}, \quad (9)$$

величина тангенциального напряжения

$$\tau = K_z \frac{d\bar{v}_x}{dz} \quad (10)$$

и значения динамической скорости

$$v_* = l \frac{d\bar{v}_x}{dz}, \quad (11)$$

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \sqrt{u' \omega'} \quad (12)$$

Значения динамических характеристик представлены в таблице. На рис 3, 4, 5 приведены графики изменения этих характеристик с высотой  $z$  для всех трех режимов. Кроме того, на рис. 6 представлено распределение осредненных за весь период гидродинамических характеристик. Анализ этих рисунков показывает, что условию постоянства динамической скорости и тангенциального напряжения более отвечает гипотеза Прандтля. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что процесс рассматривается в слое толщиной 20 см, что по сравнению с общей глубиной места является величиной исчезающе малой, т. е. явление происходит

на очень близком расстоянии от дна и в этой зоне вполне возможно линейное распределение пути перемешивания  $l$ .

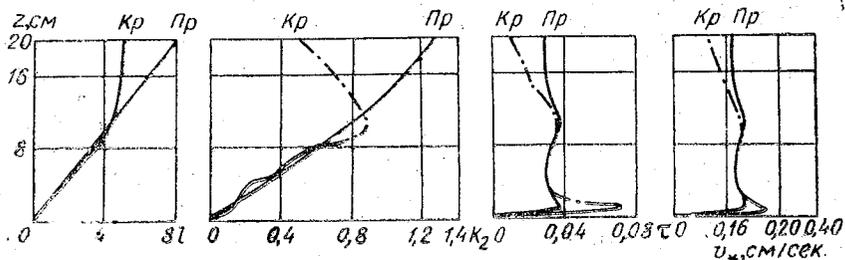


Рис. 3

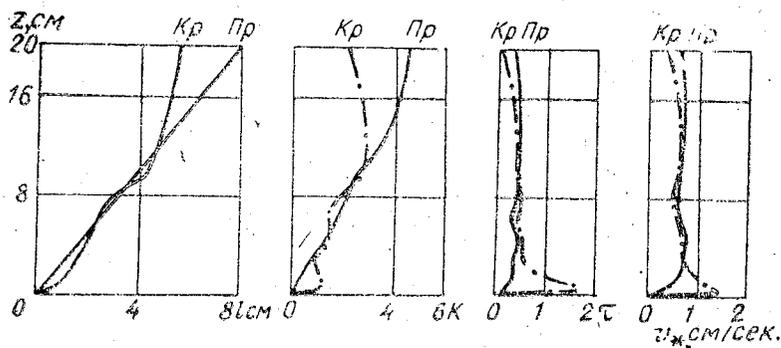


Рис. 4.

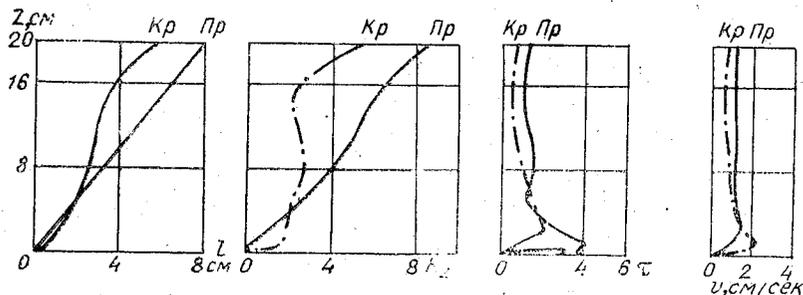


Рис. 5.

Помимо чисто качественного анализа, материалы исследования позволяют количественно определить кинематические характеристики в придонной области. Особый интерес представляют характеристики, относящиеся к границе слоя прилипания и пере-

ходного турбулентного слоя. В гладких руслах толщина вязкого слоя определялась отношением

$$N = \frac{\bar{v}_* \delta}{\gamma} \quad (13)$$

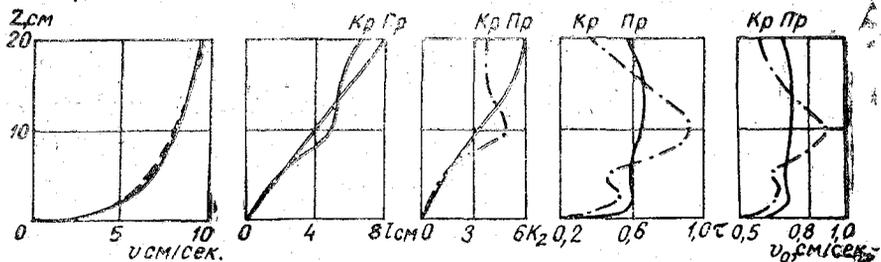


Рис. 6.

Величина  $N$  для течения у гладкой стенки является константой, не зависящей от числа Рейнольдса, а зависящей только от соотношения динамической скорости и скорости на верхней границе слоя прилипания. Поэтому после несложных преобразований число  $N$  можно представить в виде

$$N = \frac{\bar{v}_\delta}{v_*} \quad (14)$$

Для течений в гладких и шероховатых руслах при режимах гидравлически гладкого течения на границе вязкого слоя, по экспериментальным данным работы [1], число  $N$  равняется 5, 6. Поэтому скорость на верхней границе слоя прилипания можно определить соотношением

$$\bar{v}_\delta = 5,6 \bar{v}_* \quad (15)$$

которое остается справедливым для всех случаев опытов как в гладком, так и в шероховатом русле при всех режимах турбулентного течения, начиная от режимов гидравлически гладкого русла и включая область с квадратичным сопротивлением. Не изменится оно также с изменением относительной шероховатости [1].

Высота придонного слоя прилипания по данным эксперимента в Черном море составила по соотношению  $\bar{v}_\delta = 5,6 \bar{v}_*$  для малых течений: режим I=9,4 мм, режим II=10 мм, режим III=15,9 мм. Для сравнения результаты высота слоя прилипания определялась также графически по точкам, в которых касательная к первой производной от скорости становилась параллельной оси абс-

цисс, т. е. постоянной. Эти точки характеризуют верхнюю границу слоя, в котором скорости изменяются по линейному закону. Для режима I  $\delta=8,2$  мм, для режима II  $\delta=8,6$  мм и для режима III  $\delta=9,8$  мм (рис. 7). Из сравнения видно, что высоты, вычисленные по соотношению (15), завышены. Характерным является то, что с увеличением скорости высота слоя прилипания увеличивается.

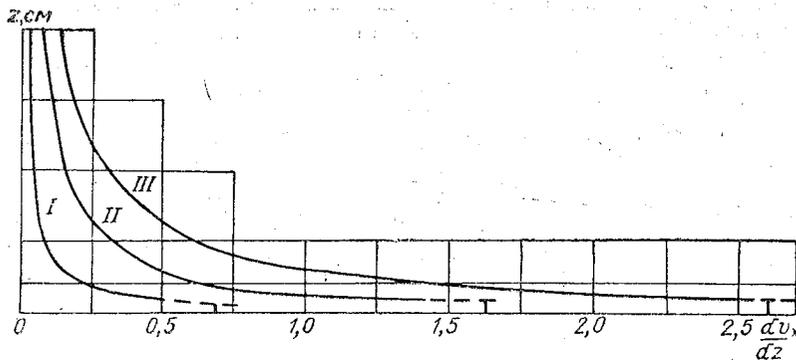


Рис. 7.

Визуальные наблюдения за подкрашенным вязким слоем также показывают, что его толщина колеблется в пределах 0,8—1,2 см, что хорошо согласуется с найденными значениями.

Рост толщины слоя прилипания с увеличением скорости, видимо, можно объяснить тем, что с увеличением скорости уменьшается давление в потоке жидкости, а гидростатическое давление остается постоянным, определяемым общей глубиной потока. Поэтому возникает определенная подъемная сила, которая увеличивает толщину слоя прилипания. В то же время увеличение высоты слоя прилипания с увеличением скорости противоречит соотношению (13), так как  $N$  — величина постоянная, и с увеличением динамической скорости толщина слоя прилипания должна уменьшаться при постоянной кинематической вязкости.

Была предпринята попытка по динамическим характеристикам определить коэффициент сопротивления русла для натурального потока в море. Для этой цели использовалось эмпирическое соотношение, позаимствованное из [1] в форме

$$\lambda = \frac{2}{\left(\frac{v_x}{v_*}\right)^2}, \quad (16)$$

причем использовались данные, вычисленные как по методу Кармана, так и по методу Прандтля. Изменение коэффициента сопротивления русла представлено на рис. 8, где отчетливо видно, что с горизонта 10 см значения  $\lambda$ , вычисленные по Прандтлю и Кар-

ману для всех режимов течения, остаются близкими и мало меняются с высотой. Отсюда можно сделать вывод, что слой от 1 до 10 см от дна является слоем, на верхней границе которого влияние дна перестает сказываться или влиять на поток, т. е. предполагается наличие переходного слоя от слоя прилипания к основному турбулентному потоку. О высоте 10 см, как о характерной точке, свидетельствует и изменение гидродинамических характеристик на этой высоте, вычисленное для осредненного за весь период наблюдений поля скорости (рис. 6). Характерное изменение

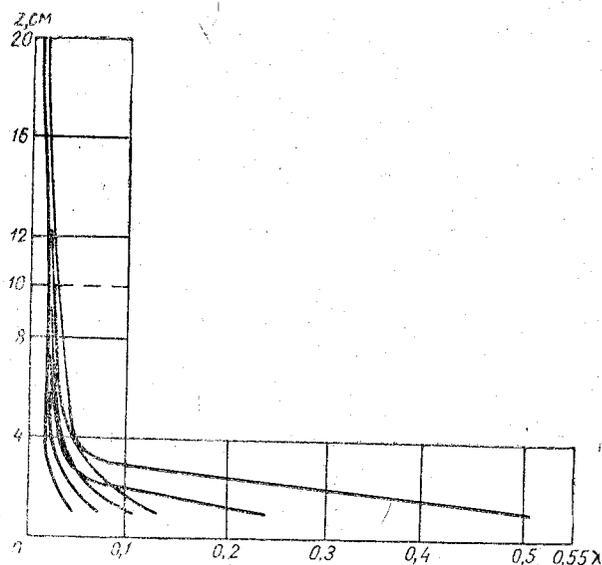


Рис. 8.

видно и на графике распределения продольной составляющей среднеквадратичного пульсационного отклонения по высоте (рис. 9).

И. К. Никитин [1] утверждает на основании экспериментальных данных, а также по материалам других авторов, что коэффициент сопротивления русла  $\lambda_d$ , отнесенный к придонной скорости, является величиной постоянной, равной 0,063 для всех плоских равномерных турбулентных потоков, независимо от степени шероховатости и деления на области сопротивления. На основании соотношения

$$\lambda_d = 2 \frac{\overline{v_x^2}}{v_d^2} = 0,063 \quad (17)$$

утверждается, что в тех случаях, когда средняя скорость по своим значениям приближается к придонной, коэффициент сопротивления  $\lambda_d$ , должен стремиться к постоянной величине. Экспериментальные данные, полученные на Черном море, позволили прове-

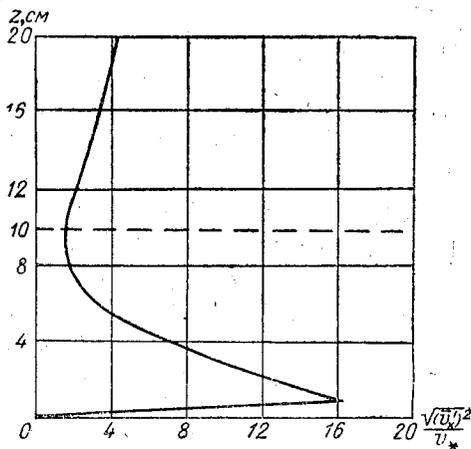


Рис. 9.

рить и это эмпирическое соотношение, определенное при моделировании. Отношение квадратов динамической и придонной скоростей, осредненных за весь период наблюдений на Черном море, умноженное на два, оказалось в точности равным значению 0,063, что показывает хорошую согласованность данных, полученных при моделировании к натурным условиям. Выявленный в результате исследований 10-сантиметровый слой у дна позволяет судить о нем как о слое возникновения и развития турбулентности.

### Структура турбулентного придонного слоя

Полуэмпирические теории удовлетворительно описывают поле осредненных скоростей, но не вскрывают механизма возникновения и развития турбулентности. Именно эта задача представляется наиболее важной в настоящее время. Анализ материала описываемых наблюдений позволяет выявить ряд характерных черт процесса.

Траектории клубов (пятен) красителя, построенные по последовательным кадрам, обнаруживают следующую картину. После смыывания основного столбика краски за пределы кадра подкрашенным остается только ламинарный подслой. На нем наблюдается в отдельных местах набухание в виде гребней волн, перемежающихся по течению. Из гребня вытягивается вверх по течению язык краски, иногда распадающийся на отдельные пятна, которые опускаются затем вниз, встречаясь со струей, подняв-

шейся из следующего гребня. В итоге краситель охватывает некоторый объем жидкости, смещающийся вниз по течению. Последовательно расположенные вихревые жгуты как бы скатываются по верхней границе ламинарного слоя с постоянной продольной скоростью, равной осредненной скорости  $\bar{v}_x$  на высоте расположения оси вихревого шнура. Схематическое расположение отдельных вихревых колец в придонном слое показано на рис. 10.

Вихревые жгуты имеют в поперечном сечении почти круглую, слегка овальную форму с продольной осью, несколько приподнятой вверх по направлению течения. В отличие от классической

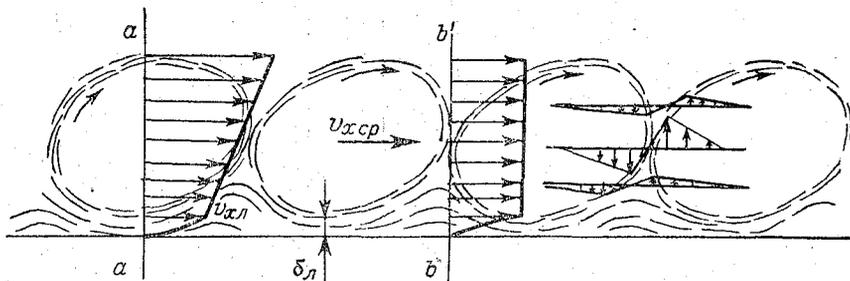


Рис. 10.

картины распределения скоростей в свободном вихре, для которой характерно гиперболическое возрастание скоростей вблизи оси, вихревые скорости внутри вихревых жгутов, «катящихся» по ламинарному подслою, практически постоянны, т. е. весь шнур вращается как твердое тело.

По-видимому, такой характер движения, когда турбулентное ядро потока отдалено от ламинарного подслоя вихревыми «катками», является энергетически невыгоднейшим: в этом случае потери энергии связаны лишь с внутренним трением в соприкасающихся слоях двух соседних вихревых «катков» и с необходимостью приводить в движение жидкость, заполняющую пространство между этими катками (нечто подобное волновому сопротивлению при движении тела по верхней жидкости).

Угловая скорость вихревых катков определяется разностью осредненных скоростей  $\omega = \frac{2(\bar{v}_x - \bar{v}_s)}{d}$  (здесь  $\bar{v}_s$  — скорость на верхней границе ламинарного подслоя,  $d$  — диаметр вихревого шнура). Окружные скорости вращения на «ободе» катка достигали величины порядка 1 см/сек.

Представление о слое вихревых «катков» над ламинарным подслоем позволяет объяснить характер изменения продольной и вертикальной составляющих скорости в этой области. Так, продольный компонент скорости  $\bar{v}_x$  при прохождении середины вихря (сечение  $a-a$ , рис. 10) равномерно возрастает с высотой.

В пространстве между соседними вихрями (сечение  $b-b$ )  $\bar{v}_x$  остается постоянным, равным средней скорости перемещения вихря (скорости его центра  $\bar{v}_x$ ).

Амплитуда пульсаций продольного компонента равна нулю на уровне центров системы вихревых шнуров и достигает максимума, равного

$$\frac{1}{2}(\bar{v}_x - \bar{v}_\delta)$$

на горизонтах  $z = \delta$  и  $z = \delta + d$ , где  $\delta$  — толщина ламинарного подслоя. Поперечный компонент скорости  $v_z$  имеет максимальную величину на границе двух соседних вихрей при  $z = \delta + \frac{d}{2}$ , здесь его амплитуда равна  $\bar{v}_x - \bar{v}_\delta$ . С приближением к  $z = \delta$  и  $z = \delta + d$  амплитуда  $v_z$  убывает до нуля.

Таким образом, если формально применять к пристенному слою теорию турбулентности, то рейнольдсовы напряжения  $= \rho v_x^1 v_z^1$  оказываются равными нулю при  $z = \delta$ ;  $z = \delta + \frac{d}{2}$  и  $z = \delta + d$  в силу обращения в нуль одного из компонентов пульсационной скорости  $v_x^1$  или  $v_z^1$ . Этот вывод не соответствует действительности, так как движение здесь имеет упорядоченный характер. Представление о турбулентности, как о хаотичном перемещении частиц по всем направлениям, к нему неприменимо.

Ограниченное количество опытов не позволило определить устойчивость вихревой структуры придонного слоя, а также дать четкую картину поля пульсационных скоростей при  $z > \delta + d$ . Однако некоторые оценки показывают, что иногда имело место как бы «выдавливание» отдельного вихревого индивидуума из пристенного слоя в более высокий слой.

В ряде случаев отмечена потеря индивидуальности отдельным вихревым шнуром, как бы «ассимиляция» его соседями. На более высоких горизонтах, порядка  $z = (2 \div 4)d$ , также отмечены вихревые образования с тем же направлением вращения, что и в придонном слое, но с несколько большим диаметром и меньшими окружными и угловыми скоростями. Эти оценки показывают большую сложность динамических явлений в придонном слое, их описание требует статистической обработки материала, объем которого должен намного превышать содержание описываемых опытов. Кроме того, необходимо усовершенствование методики наблюдений и обработки.

Представление о вихревой структуре придонного слоя хорошо согласуется с экспериментальными данными других авторов [1, 7, 8]. По представлению А. А. Саткевича, принужденными вихрями считаются вихри, вектор которых составляет некоторый угол с вектором основного движения. В этом случае на вихрь действует

подъемная сила, отрывающая его от дна в толщу потока, и величина его тем больше, чем больше угол между вихрем и скоростью. Очевидно, что отрывающийся вихрь является основным переносчиком энергии в потоке. В этом смысле интересно рассматривать потери энергии в плоской постановке задачи и взять для расчета скорости рассеяния энергии формулу М. Е. Кондратьева, выведенную им из формулы Стокса

$$\Phi = \frac{\mu b^2 \bar{v}_x^2}{4} \left( \frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2} \right)^2, \quad (18)$$

где  $\mu$  — физическая вязкость;  $\bar{v}_x$  — горизонтальная составляющая скорости;  $a$  и  $b$  — полуоси эллипса.

По данным, полученным в результате экспериментов, малая полуось эллипса равна 1,5 см, а большая полуось составляет 2,3 см при средней составляющей вдоль дна скорости потока, равной 7,2 см/сек, скорость рассеяния энергии 428 эрг/см. Из выражения (18) видно, что основной перенос осуществляется вихрями большого диаметра.

Очередной целью эксперимента является выяснение спектра размеров вихревых образований. Причины отрыва вихрей от дна определяются, по-видимому, теми же причинами, что и увеличение толщины вязкого слоя с увеличением скорости набегающего потока.

Эксперименты, проводимые на Черном море, нельзя считать законченными, так как в этом случае определялась только одна продольная составляющая скорости, т. е. рассматривалась плоская задача. Для получения составляющей скорости по всем трем осям, а также для увеличения периода осреднения необходимо применение стереофотоъемки перемещения под действиями потоков дискретных взвешенных частиц нейтральной плавучести, т. е. для полного сравнения с экспериментальными данными, полученными в лотке, необходимо в натуральных условиях применить методику, сходную с лабораторными наблюдениями.

Предполагается, что работы по исследованию динамической структуры придонного слоя будут продолжены лабораторией подводных исследований Ленинградского гидрометеорологического института.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин И. К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. Изд-во АН УССР, Киев, 1963.
2. Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков. Гидрометеиздат, Л., 1962.
3. Великанов М. А. Динамика русловых потоков. Гостехиздат, М., 1954.
4. Минский Е. М. Турбулентность руслового потока. Гидрометеиздат, Л., 1952.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. Физматгиз, М., 1959.
6. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. Изд-во ИЛ, М., 1951.

7. Михайлова Н. А. О структуре турбулентного потока при наличии взвешенного потока. *Метеорология и гидрология*, № 7, 1961.
  8. Знаменская Н. С. Экспериментальные исследования грядового движения наносов. *Труды ГГИ*, вып. 108, 1963.
  9. Клавен А. Б. Лабораторные исследования структуры придонного слоя. *Труды ГГИ*, вып. 120, 1965.
  10. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. Изд-во АН СССР, М., 1952.
-

## МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГАЛЕЧНЫХ НАНОСОВ В РАЙОНЕ СУХУМСКОГО МЫСА

Сухумский мыс является хорошо выраженным дельтовым выступом р. Гумисты и представляет низменную равнину, близкую по форме к треугольнику.

Дно у берега в районе Сухумского мыса и полоса пляжа, примыкающая к морю, сложены галькой различного состава, крупности и окатанности, которая образует хорошо выраженную зону шириной 20—60 м. Галька является также основным компонентом наносов, слагающих Сухумский мыс.

Наиболее полное геоморфологическое обследование берегов в районе Сухумского мыса выполнено в 1946—1949 гг. Институтом географии АН СССР [4, 5, 6]. А. В. Живаго описана динамика берегов Сухумского мыса и обнаружена древняя дельта р. Гумисты, в настоящее время лежащая ниже уровня моря. В различные годы Институтом океанологии АН СССР производилось исследование потоков наносов у побережья Абхазии [8, 9, 11], а также изучалась морфология подводного склона в районе Сухумского мыса [13]. Однако результатами этих исследований вопросы динамики наносов и в особенности их миграция на береговом склоне мыса освещены еще не достаточно.

В основу настоящей работы положены результаты экспериментальных наблюдений над динамикой галечных наносов на береговом склоне Сухумского мыса, выполненные экспедицией лаборатории подводных исследований кафедры методов океанологических исследований ЛГМИ (в дальнейшем: ЛПИ ЛГМИ) в июле—ноябре 1969 г.

В работе использован метод наблюдений над изменением профиля пляжа и подводного склона. Метод состоит в том, что напротив опорного репера в пляж забивался ряд металлических штырей, а затем периодически измерялись длины выступающих над пляжем частей [15].

Наблюдения на Сухумском мысу велись по трем профилям, разбитым на оконечности мыса и отстоящим друг от друга на

100 м, в маловетренную погоду измерения производились подекадно, в периоды штормов — ежедневно. Наблюдения по основному профилю выполнялись в июле—ноябре, а по двум остальным — в сентябре—ноябре. Наблюдениями по профилю подводного склона охватывались глубины от 1,5 до 3 м. Дополнительно наблюдения за профилем дна подводного склона осуществлялись водолазами визуально, а также с помощью наблюдений над заносимостью отдельных объектов на дне. Данные о составе грунтов ниже границы водолазного обследования получены с помощью дночерпателя.

При выполнении работ применялся также метод петрографических сравнений галечных проб с учетом крупности и степени окатанности галек.

Характерной особенностью рельефа дна прибрежной зоны моря в районе Сухумского мыса является крутой свал глубин, который под углом естественного откоса, равного  $45^\circ$ , уходит на значительные глубины (рис. 1).

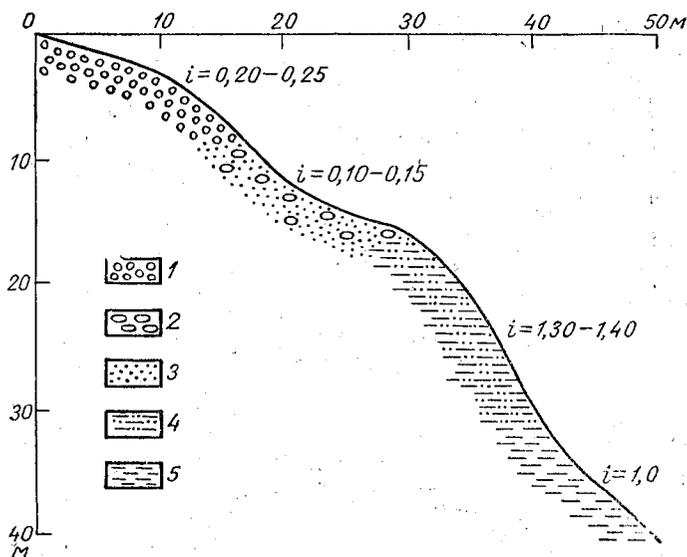


Рис. 1. Схема характерного профиля вблизи оконечности Сухумского мыса.

1—галька; 2—валуны; 3—песок мелкий; 4—илистый песок; 5—ил.

Наблюдения показывают, что в петрографическом составе пляжей Сухумского мыса преобладают песчаники и сланцы, количество которых более 50% всего состава (табл. 1). Крупность материала восточного пляжа меньше крупности пляжа западного при их относительно однородной окатанности.

Петрографический состав, %					Гранулометрический состав, см					Степень окатанности гальки, %			
Древние кристаллические породы (гранит, габбро, кварциты, кристаллы)	Метаморфизованный комплекс (песчаники и сланцы)	Вулканогенный комплекс (порфиры, туфогенные песчаники и сланцы)	Осадочный комплекс (известняки, мергель)	Породы неогитрузии (граниты)	10	10—5	5—3	3—1,5	1,5—1	1	2	3	4
Пляж на западном берегу мыса													
11,0	52,0	14,0	16,5	6,5	2,0	14,0	41,0	40,0	3,0	34,0	54,0	10,0	2,0
Пляж на оконечности мыса													
7,0	55,0	15,0	20,0	3,0	—	7,5	42,0	49,0	1,5	40,5	43,0	16,0	0,5
Пляж на восточном берегу мыса													
10,0	57,0	14,5	14,0	4,5	—	9,5	40,5	48,5	1,5	36,0	50,0	14,0	—
Пляж вблизи оконечности мыса [4]													
8,0	58,0	17,5	13,0	3,0	—	12,5	38,0	45,5	4,0	38,5	46,0	15,5	—

Трудно ожидать заметного измельчения материала на расстоянии транзита протяженностью в 2—2,5 км, поэтому можно предположить, что наиболее крупная галька при перемещении вдоль берега с запада на восток не преодолевает крутой подводный откос на оконечности мыса и уходит на глубины, лежащие за пределом наносодвижущего действия волн.

Сравнительный анализ результатов исследований, выполненных Живаго в 1948 г. [4] и ЛПИ ЛГМИ в 1969 г., показывает, что петрографический состав наносов за истекшие 20 лет практически не изменился.

На рис. 1 видно, что на глубинах 35—40 м примесь алевритовых частиц в иле исчезает. На самой оконечности мыса чистый ил прослеживается на глубине 45—50 м, однако местами под ним залегает галька.

На основании детальных наблюдений Института океанологии АН СССР считается, что нижняя граница подводного берегового склона у берегов Черного моря надежно определяется по линии исчезновения большой примеси алевритовых частиц в илах [12]. Учитывая этот критерий, можно по данным наблюдений, полученным экспедицией ЛПИ ЛГМИ, в районе Сухумского мыса принять нижнюю границу подводного берегового склона у основания мыса на глубинах от 35 до 45—50 м у оконечности мыса.

Рельеф подводной части шельфа, расположенный ниже уступа берегового склона, в районе мыса имеет сложный характер. На участках шельфа напротив Сухумского мыса подводный склон расчленен ложбинами. Врез ложбин в склон достигает 20 м, ширина — 30 м. Дно и склоны ложбин покрыты илом, под которым местами залегает галька. Устья ложбин располагаются на глубинах 70—80 м.

Как известно, побережье в районе Сухумского мыса открыто ветрам различных румбов, с преобладанием ЮЮЗ, ЮЗ, ЗЮЗ направлений. Ветры этих направлений образуют волны, подходящие по нормали к берегу и поэтому обуславливают в основном поперечное перемещение гальки как в приурезовой полосе, так и по всему береговому склону. Это подтвердилось наблюдениями над скоростью перемещения окрашенных галек, выброшенных в приурезовой полосе мыса (табл. 2). Наблюдения показали, что уже при волнении 3 балла и подходе волны под углом 60—70° к берегу крупная галька округлой формы в основном перемещается на большие глубины. Только 2—7% всего количества материала перемещается вдоль берега со скоростью 13—21 м/час. С усилением волнения количество гальки, уносимой вниз по склону, возрастает. При ветре юго-западного направления и волнении 5—6 баллов только 3% количества мелкой гальки перемещается вдоль берега со скоростью 85 м/час. Вся остальная масса галечных наносов в основном сползает вниз по склону.

Таблица 2

Крупность гальки, см	Степень окатанности гальки	Количество выброшенных галек, шт.	Найденные гальки, %	Скорость перемещения гальки вдоль берега, м/час
Ветер ЮЗ, волнение 3 балла				
2—4	1—2	100	21	28
4—8	1—2	100	7	21
8—10	1—2	50	4	13
Ветер ЮЗ, волнение 4 балла				
2—4	1—2	100	11	35
4—8	1—2	50	4	26
8—10	1—2	50	0	—
Ветер ЮЗ, волнение 5—6 баллов				
2—4	1—2	100	3	85
4—8	1—2	100	0	—
8—10	1—2	50	0	—

Сделанный вывод в значительной степени подтверждается также данными профильных наблюдений, начатых в районе Сухумского мыса 25 июля 1969 г. (рис. 2, 3).

Первоначальный типичный профиль пляжа в районе мыса состоял из следующих элементов: к урезу воды был обращен крутой вогнутый склон из гальки средних и мелких размеров. Плавная кривая склона постепенно выполаживаясь уходила под уровень моря (рис. 2). С увеличением глубины крупность гальки увеличивалась. Верхняя часть вогнутого склона образовывала довольно мощный береговой вал, выше которого находился вал меньших размеров. Далее располагалась полоса ровного, пологого, наклонного берега, переходящая в более древний береговой вал, не подверженный воздействию волн даже при сравнительно сильном волнении. По мере удаления от уреза крупность материала росла. В районе последнего вала залегали крупные валуны с примесью песка.

В течение августа—октября 1969 г. в районе Сухуми преобладала маловетренная погода. В августе скорость ветра не превышала 10 м/сек, а волнение моря 4 баллов. В сентябре скорость ветра достигала 15 м/сек, а волнение 5 баллов. В этот период в основном наблюдалось формирование профиля в узкой зоне у уреза воды. Волны, высота которых не превышала 1,5 м, постоянно выбрасывали с прилегающей к урезу воды части дна мелкий материал, наращивая ближайший к морю береговой вал. За

три месяца наблюдений этот береговой вал увеличился по высоте примерно на 0,5 м, выдвинувшись одновременно больше чем на 2 м в сторону моря. В то же время дно в приурезовой части моря углубилось на 0,2—0,3 м.

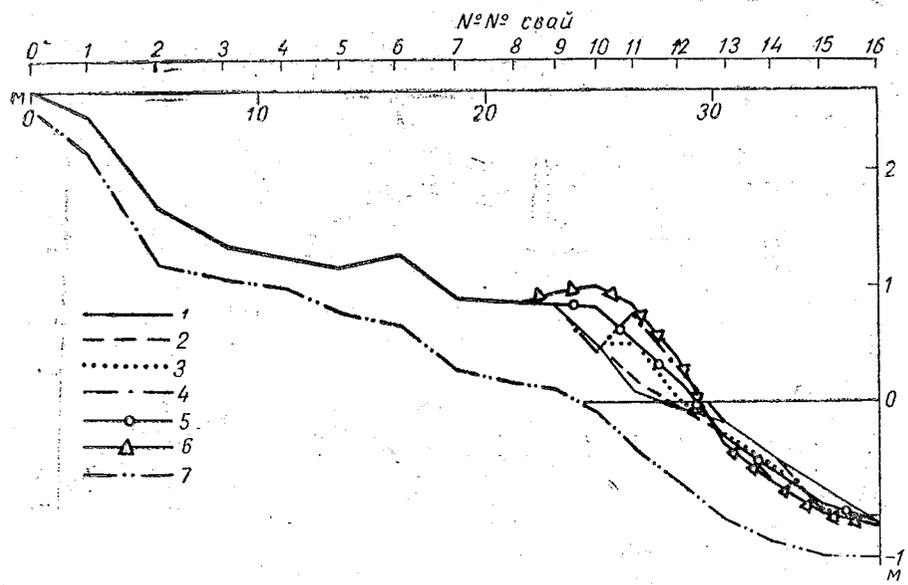


Рис. 2. Изменения профиля галечного пляжа в 100 м западнее оконечности Сухумского мыса по съемке в июле—ноябре 1969 г.  
1—25/VII; 2—15/VIII; 3—1/IX; 4—15/IX; 5—1/X; 6—15/X; 7—1/XI.

Значительные изменения в профиле пляжа и берегового склона в районе Сухумского мыса были зарегистрированы после необычайно сильного шторма 28—29 октября 1969 г.

В районе Сухумского мыса скорость ветра значительно превышала 23 м/сек.<sup>1</sup> (рис. 4). При этом степень волнения моря достигала 8 баллов, а высота волн превышала 4 м. Ветер во время шторма был юго-западный. Волнение в период максимального развития шторма наблюдалось от юго-запада, т. е. волны распространялись по нормали к берегу. Продолжительность воздействия на мыс волн максимальных размеров — высотой 4 м, длиной 40—45 м — составила около 8 часов.

После прекращения ветра береговая черта еще в течение суток подвергалась воздействию морской зыбы высотой до 2 м и длиной до 50—60 м. Заплеск прибойной волны достигал 60—70 м от уреза воды. Наибольшие изменения в профиле пляжа произошли в приурезовой области (рис. 2, 3).

<sup>1</sup> В связи с заклиниванием пера самописца, скорость ветра свыше 23 м/сек не могла быть зарегистрирована.

Береговой вал, примыкавший к морю, был срезан полностью, при этом урез воды передвинулся в глубь мыса на 4,5 м по сравнению с урезом воды по съемке 15 октября и на 3 м в сравнении с данными съемки 25 июля. Абсолютная высота берега в приуре-

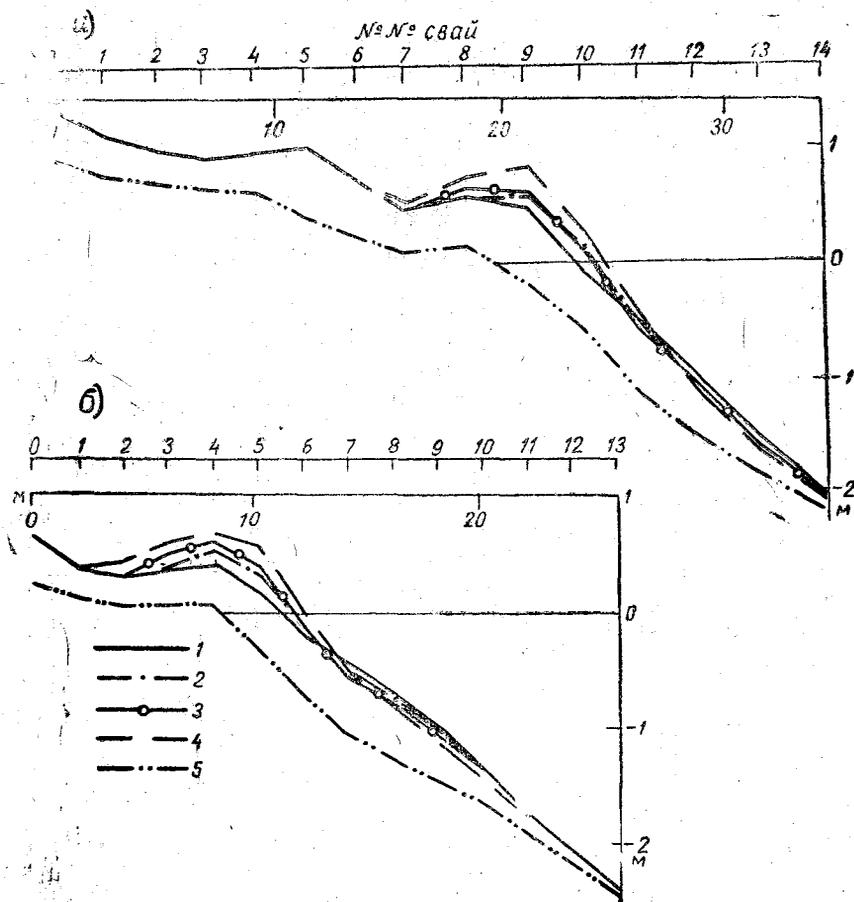


Рис. 3. Изменения профиля галечного пляжа в районе Сухумского мыса по съемке в сентябре—ноябре 1969 г.

*а*—в 100 м восточнее оконечности мыса; *б*—на оконечности мыса; 1—1/IX; 2—15/IX; 3—1/X; 4—15/X; 5—1/XI.

зовой области за период шторма уменьшилась на 0,8—0,9 м. Второй береговой вал был также смыт полностью. Высота смытого слоя пляжа второго вала составила 0,5—0,6 м. Прибойный поток в значительной степени абродировал древний береговой вал, располагавшийся в 40 м от уреза воды. Его крутой склон, обращенный к морю, был размыт на 0,4 м. Всего в плане профиля пляжа во время шторма было смыто примерно 12 м<sup>2</sup> гальки, т. е. объем

материала, смытого с одного метра береговой полосы, составил около  $12 \text{ м}^3$ . Результаты наблюдений по двум другим профилям показали картину размыва, сходную с размывом, описанным выше.

Таким образом, можно считать ориентировочно, что за 8 часов шторма с 1 км береговой полосы Сухумского мыса было смыто  $10$  тыс.  $\text{м}^3$  гальки и песчано-гравийного материала.

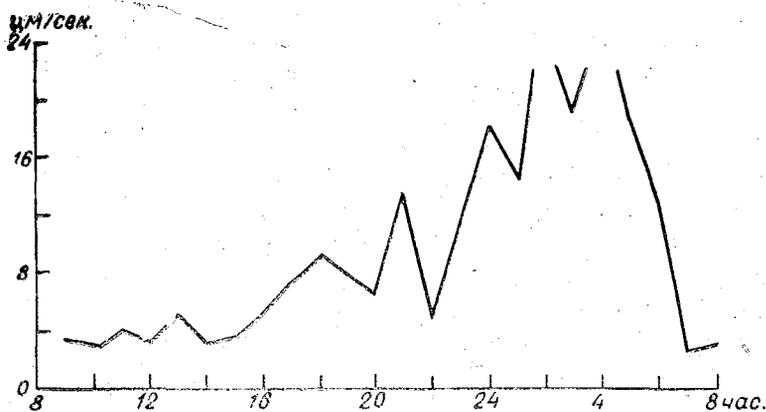


Рис. 4. Ежечасная скорость ветра 28—29 октября 1969 г. в районе Сухумского мыса.

Размыв подводного склона в приурезовой области был также значительным. При общем уполаживании склона величина размыва дна в волно-прибойной зоне составила  $0,4—0,6 \text{ м}$ . Всего по профилю площадь размыва составила  $6—7 \text{ м}^2$ , т. е. объем материала по отношению к 1 м береговой полосы достиг  $6—7 \text{ м}^3$ . Однако уже на глубине более  $3 \text{ м}$  на профиле размыва не наблюдалось, а ниже по склону отмечалась аккумуляция материала. Водолазное обследование подводного берегового склона после окончания шторма показало, что основная масса материала, смытого с пляжа на оконечности мыса, отложилась по склону на глубинах  $25—45 \text{ м}$ , образовав подводный вал высотой до  $2 \text{ м}$ , причем мористый склон вала оказался круче склона, обращенного к пляжу.

На оконечности Сухумского мыса якорная установка высотой более  $0,5 \text{ м}$  и диаметром  $1,5 \text{ м}$ , расположенная на глубине  $28 \text{ м}$ , была полностью покрыта галечником, валунами и песком. Под слоем песка и гальки также оказались стальные тросы, связывающие установку с берегом. На глубине  $32 \text{ м}$  якорная установка весом  $30 \text{ т}$  и высотой  $2,5 \text{ м}$  была передвинута вниз по склону на  $40$ -метровую глубину и на три четверти высоты покрыта галькой крупного и среднего размера.

Результаты наблюдений дают возможность предположить, что образование подводного вала начинается на глубине, где прямое воздействие штормовых волн отсутствует. Эта глубина должна быть не менее половины длины наблюдавшихся штормовых волн, т. е. 24—26 м. Действительно по наблюдениям на глубине 28 м высота подводного вала превышала 0,5 м.

На глубине 40 м галечная гряда имела высоту около 2 м. По характеру заносимости объекта на этой глубине можно было заключить, что мористый склон образовавшегося вала был значительно круче склона, обращенного к берегу. Таким образом, мористый склон подводного вала достигал глубин 45—50 м, а вся протяженность по склону отложившейся гряды наносов составила 50—60 м.

Считая максимальную высоту образовавшегося вала 2 м, протяженность его по склону 55 м, а конфигурацию образования в первом приближении близкой к неправильному треугольнику, площадь профиля подводной гряды можно принять равной  $55 \text{ м}^2$ , а величину объема материала, отложившегося на склоне относительно 1 м береговой полосы, —  $55 \text{ м}^3$ . В то же время объем материала, смытого с пляжа и из приурезовой области также относительно 1 м береговой полосы, составил  $18 \text{ м}^3$ . Таким образом, ориентировочные расчеты показывают, что объем материала, отложившегося на краю подводного склона у оконечности мыса, примерно в 3 раза превышает объем материала, смытого с противоположного пляжа. Следовательно, в данном случае зафиксировано не только отложение на краю берегового склона Сухумского мыса материала, смытого с прилежащего пляжа, но и отложение материала вдольберегового потока наносов, который не смог обойти выступ мыса и отложился на глубине, лежащей за пределами наносодвижущего действия волн.

Так как основная масса материала на подводном береговом склоне отложилась на глубинах, выходящих из зоны воздействия штормовых волн, то перемещение гальки вверх по склону не должно происходить. Поэтому в дальнейшем следует ожидать размыва образовавшейся гряды придонными компенсационными течениями и сноса всего материала вниз по откосу на большие глубины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Н. А. Исследования вдольберегового перемещения песчаных наносов в море. Изд-во «Наука», М., 1966.
2. Буданов В. И. Методика экспедиционных исследований береговой зоны моря. Изд-во «Наука», М., 1964.
3. Жданов А. М. Истирание галечных наносов под действием волнения. Бюлл. ОК АН СССР, № 1, 1958.
4. Живаго А. В. О генезисе современных галечных отложений средней части морского побережья Абхазии. Докл. АН СССР, т. 59, № 9, 1948.
5. Живаго А. В. Некоторые данные по геоморфологии и истории развития побережья Абхазии. Труды Ин-та географии АН СССР, № 51, 1952.

6. Живаго А. В. и Патрикеев В. В. Фиксирование изменений прибрежного рельефа морского дна при штормах: Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., т. 13, № 2, 1949.
  7. Зенкович В. П. Явления размыва на Кавказском берегу Черного моря. Вопросы географии, сб. 4, 1947.
  8. Зенкович В. П. Потоки береговых наносов Кавказского побережья Черного моря. Докл. АН СССР, т. 60, № 2, 1948.
  9. Зенкович В. П. Потоки наносов вдоль советских берегов Черного моря. Труды Союзморниипроекта ММФ, т. 3, 1956.
  10. Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря, т. 1. Изд-во АН СССР, М., 1958.
  11. Зенкович В. П. и Кашин Ю. С. Перемещение гальки вдоль Кавказского берега Черного моря. Метеорология и гидрология, № 5, 1949.
  12. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. Изд-во АН СССР, М., 1962.
  13. Каплин П. А., Ионин А. С. Результаты непосредственного изучения рельефа дна в прибрежной зоне моря и некоторые задачи подводных геоморфологических исследований. Труды ОК АН СССР, т. XIV, 1962.
  14. Лонгинов В. В. О роли придонных компенсационных течений в движении материала на подводном береговом склоне. Изв. АН СССР, сер. геофиз. № 2, 1951.
  15. Лонгинов В. В., Леонтьев О. К. К вопросу о динамике профиля песчаного пляжа. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. 6, 1951.
-

## О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ ШЕЛЬФА

Комплексные исследования шельфовой зоны в последние годы приобретают все больший размах. Однако с сожалением приходится констатировать, что до сего времени не существует единой методики составления кондиционных геологических карт разных масштабов, а также методики картирования субмаринной разгрузки подземных вод. Учитывая опыт как советских [2, 3, 4, 5], так и зарубежных [6, 8] исследователей, следует отметить низкую естественную обнаженность морского дна, значительные трудности при производстве небольших горных выработок (шурфов, закопущек и т. д.) — в практике изысканий последние обычно заменялись бурением; плохую видимость (особенно в устьях рек и районе выхода легко размываемых пород), а также ограничения маршрутов в легководолазном снаряжении изобатой 40 м.

В технике проведения маршрутных исследований заслуживает внимания опыт Лазаревской комплексной гидрогеологической партии. Для прохождения маршрутов по размеченным буйми створам применялся акваплан оригинальной конструкции, оснащенный компасом типа КИ-13, лагом и приспособлением для ведения пикетажного журнала. Участки маршрута составляли не более 500 м (весь маршрут до 3 км от уреза), после чего акваплангист поднимался в лодку и записи с дополнениями переписывались в обычный пикетажный журнал. При прохождении маршрутов с аквапланом достигалась большая точность выхода к контрольному бую при ограниченной видимости и в то же время сохранялась автономность плавания.

Особую область занимает методика картирования субмаринных источников, проводимая на соответствующей геологической основе. Изучение и оценка подземного стока на приморских территориях не могут считаться достаточно полными без учета субмаринной разгрузки. Об этом свидетельствуют многочисленные описания субмаринных источников, выполненные советскими и зарубежными исследователями.

В настоящее время для большинства специалистов становится ясным, что гидрогеологические исследования в шельфовой зоне должны стать неотъемлемой частью гидрогеологических работ на побережьях морей и океанов. Однако в методическом отношении характер этих работ на шельфе еще недостаточно ясен. Если говорить о прямых измерениях, то одной из самых первых задач можно назвать задачу по картированию естественных подводных источников, в которых дренируются водоносные горизонты и комплексы, широко развитые на прилегающей суше.

Под картированием здесь можно понимать следующие основные операции:

- 1) обнаружение источника;
- 2) установление и характеристика участка (или участков) его выхода на дне;
- 3) измерение физических и химических его показателей (температуры, минерализации, химического состава);
- 4) измерение дебита.

Все эти операции являются обычными для наземных источников, и в условиях суши в настоящее время довольно легко выполняются. В условиях же шельфа эти операции значительно сложнее и требуют предварительных теоретических и экспериментальных разработок. В случае достаточных температурных градиентов места концентрированной разгрузки в прибрежной зоне (обычно карстовые районы) могут быть обнаружены аэрометодами (термосъемка). При прохождении геологических маршрутов может быть проведена детальная батиметрия в придонных точках и визуальное обследование района аномалий. Таким образом была обнаружена разгрузка мощных подрусловых потоков рек Псезуапсе и Псоу. Причем, в этом случае выход пресных вод отмечался на расстоянии до 250 м в северо-западном направлении от устьев на глубинах от 4 до 10 м.

Наибольшую трудность представляет определение дебита субмаринных источников. Ряд авторов предлагает проводить изучение субмаринной разгрузки посредством электрокаротажа [1, 7], но полученные результаты замеров пока чрезвычайно приближены и характеризуют скорее качественную сторону разгрузки, чем количественную. Для повышения точности измерений необходимо детальное изучение гидродинамической структуры разгружающегося факела подземных вод, а также знание величины коэффициента турбулентной диффузии на краях факела. В дальнейшем для решения этой задачи следует обратить внимание на разработку приборов для определения мгновенного вектора скорости (в основном в диапазоне малых скоростей) и солености непосредственно в области смешения морских и разгружающихся вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брашина И. А. О возможности изучения субмаринной разгрузки карстовых вод электрокаротажным методом. *Новости карстоведения и спелеологии*, № 3, 1963.
  2. Буданов В. И. Методика экспедиционных исследований береговой зоны моря. Изд-во «Наука», М., 1964.
  3. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. Изд-во АН СССР, М., 1962.
  4. Каплин П. А., Ионин А. С. Методика подводных геолого-геоморфологических исследований. *Изв. АН СССР, серия геологическая*, № 11, 1969.
  5. Иванов Ю. А., Беляев В. А. Подводные геологические исследования в прибрежных водах южного Крыма. *Сб. Морские подводные исследования*. Изд-во «Наука», М., 1969.
  6. Эмери К. Геология окраины материка на востоке США. *Сб. Геология и геофизика морского дна*. Изд-во «Мир», М., 1969.
  7. Accerboni E., Mozetti F. Lo calizzazione dei diflussi d'acqua dolce in mare mediante un condutometro elettrico superficiale a registrazione continua. «*Boll. geofis. teor. appl.*», 1967, 9, № 36.
  8. Menard H. W. and oth. Underwater mapping by diving geologist. *Bull. Amer. assoc. of Petroleum geol.*, vol. 38, No 1, 1954.
-

К. К. ДЕРЮГИН

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ЧЕТЫРЕХ РЕЙСОВ НИС ЛГМИ «НЕРЕЙ»

Научно-исследовательское судно Ленинградского гидрометеорологического института «Нерей» предназначено для проведения учебных и производственных практик студентов океанологической специальности, а также для выполнения экспериментальных и региональных исследований по плановым научно-исследовательским темам института.

Это судно, переданное ЛГМИ в 1965 г., представляет собой однопалубный стальной двухвинтовой морской буксир полным водоизмещением 591 т, с дизелем мощностью 1200 л. с., скоростью хода в 12 узлов и автономностью плавания 16 суток. Судно построено в 1956 г. Экипаж судна состоит из 25 человек, экспедиционный состав — из 15 человек. Дооборудование судна произведено в 1967—1968 гг. (рис. 1).

Навигационное оборудование состоит из главного магнитного компаса, гирокомпаса «Гиря-М», лага «МГЛ-25», радиопеленгатора «АРП-50», РЛС «Нептун» и эхолота «НЭЛ-5» (до 2000 м). По левому и правому бортам главной палубы установлено по одной гидрологической батитермографической лебедке «ЛЭ-56-1», на барабаны которых намотано по 1420 м стального троса диаметром 4 мм. Рядом с лебедками расположены батометрические сойки, кранбалки и откидные площадки для проведения работ на гидрологических станциях. В средней части шлюпочной палубы установлена мощная буксирная лебедка, которая использовалась для постановки судна на верп — глубоководный якорь до глубины 500 м.

На корме главной палубы расположена барокамера ПДК-2, позволяющая проводить декомпрессию акванавтов после их длительного пребывания под водой во время производства подводных исследований.

Из-за отсутствия на судне специальных лабораторий для проведения работ во время рейсов были приспособлены для этих целей четыре помещения: гидрологическая лаборатория располо-

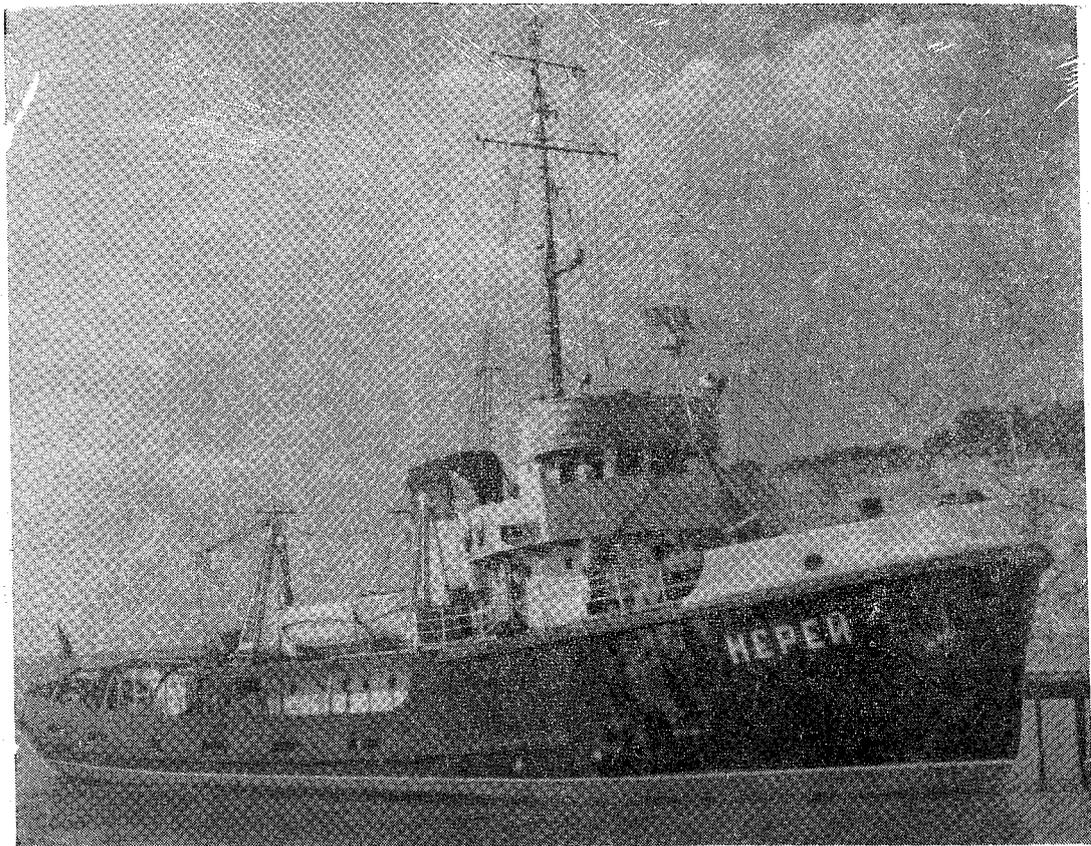


Рис. 1. Научно-исследовательское судно «Нерей».

жила на главной палубе по правому борту кормовой надстройки; волновая — на главной палубе по правому борту средней надстройки; гидрохимическая — по левому борту в передней части носовой платформы. Лаборатория камеральной обработки размещена в помещении пятиместной жилой каюты, по правому борту кормовой надстройки.

Программы экспедиционных исследований всех четырех рейсов нис «Нерей» были рассмотрены и одобрены Ученым советом гидрологического факультета ЛГМИ, согласованы с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом ГУГМС при Совете Министров СССР и другими организациями, а затем утверждены Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР и Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике.

Основной задачей экспедиций, проводивших комплексные наблюдения над метеорологическими, гидрологическими и гидрохимическими элементами в Фареро-Шетландском и Фареро-Исландском районах осенью 1968 г., летом 1969 г. и зимой 1969/70 г., являлось обеспечение граничными условиями «Натурного эксперимента по взаимодействию океана с атмосферой». В частности, предусматривалось произвести отработку научно-исследовательских вопросов по проблеме взаимодействия океан—атмосфера, продолжить изучение закономерности формирования деятельного слоя вод, осуществить получение натуральных данных для усовершенствования существующих и разработки новых методов расчета энергетических характеристик океана и его взаимодействия с атмосферой.

Подготовка к первым четырем рейсам и проведение экспедиционных исследований руководством института были возложены на кафедру методов океанологических исследований, которая и укомплектовывала состав всех экспедиций своими сотрудниками.

Первый рейс нис «Нерей» начался 10 октября 1968 г. из Новороссийска и закончился 23 ноября 1968 г. в Ленинграде (рис. 2). За этот период судно прошло 5584 мили, сделав заходы в порты Гибралтар и Берген для пополнения запасов продуктов, питьевой воды и жидкого топлива.

В состав первого рейса вошли: доцент К. К. Дерюгин (нач. экспедиции), ст. преподаватель Б. Я. Тамашунас (зам. нач. экспедиции), ассистент А. В. Некрасов, ст. инженер лаборатории подводных исследований В. Д. Грищенко и пять студентов IV курса океанологической специальности: М. М. Усенков, В. И. Сычев, В. Л. Скляренок, В. П. Точилковский, О. Х. Хачатуров. Команда судна во всех четырех рейсах, возглавленная капитаном В. Д. Такаевым и первым помощником В. Н. Поручиковым, состояла из 25 человек.

Температура воды на гидрологическом разрезе о. Льюис—Фере-банке во всей водной толще до порога Уайвилла Томсона

вследствие хорошего перемешивания мало изменялась с глубиной и соответствовала на поверхности  $12,3^{\circ}$  и на глубине около

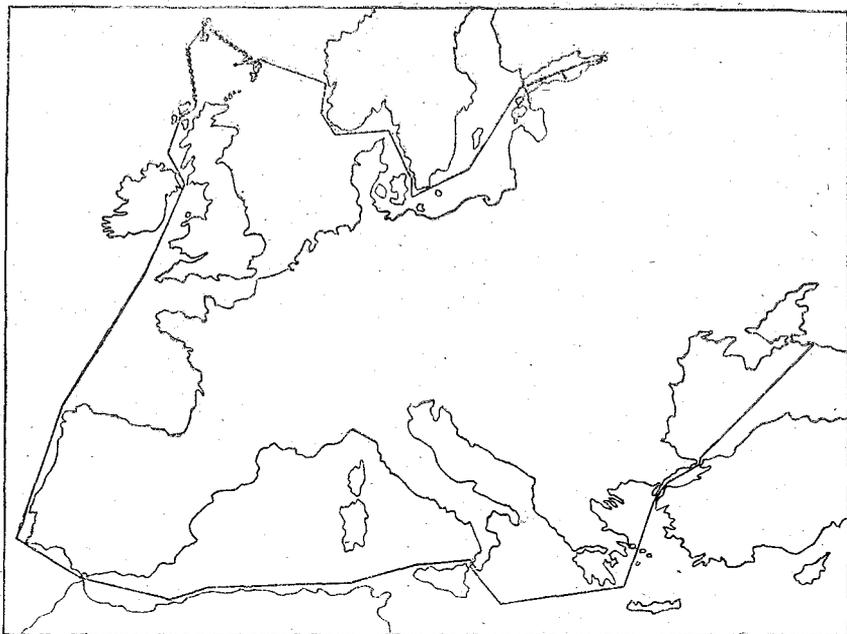


Рис. 2. Схематическая карта I рейса нис «Нерей».

1000 м —  $8,5^{\circ}\text{C}$  (рис. 3). В северной части разреза, в Фареро-Шетландском желобе, из-за подтока вод с севера температура в слое 400—600 м резко понижалась с  $9$  до  $1^{\circ}$ . В придонных горизонтах она имела отрицательные значения. Характер распределения солёности на разрезе соответствовал изменениям температуры. В южной котловине солёность с глубиной мало изменялась: от  $35,4\text{‰}$  — в поверхностном слое до  $35,2\text{‰}$  — у дна, тогда как в Фареро-Шетландском желобе она в слое 400—600 м колебалась от  $35,2$  до  $34,8\text{‰}$ . Распределение кислорода аналогично изменениям температуры и солёности. Если в южной котловине содержание кислорода составляло  $5,4\text{—}5,8$  мл/л, то в желобе оно несколько превышало  $6,4$  мл/л.

Температура воды на втором гидрологическом разрезе Фарерские острова—Шетландские острова в широкой прибрежной зоне этих островов в результате сильных течений, обуславливающих хорошее перемешивание, почти постоянная ( $9\text{—}10^{\circ}$ ), тогда как воды, заполнившие желоб, резко изменили температуру, особенно в слое 400—600 м (с  $7$  до  $1^{\circ}$ ). На глубинах ниже 600—800 м из-за подтока холодных вод с севера желоб заполнен водами с отрица-

тельными температурами, достигающими  $-0,95^{\circ}$ . Соленость в поверхностной водной толще из-за ветрового и конвективного перемешивания в осенний период почти однородна—до 250 м ( $35,2\text{‰}$ ). С увеличением глубины она несколько понижалась, достигая  $34,6\text{‰}$  в придонном слое. Содержание кислорода во всей 1200-метровой водной толще почти одинаково и соответствовало 6 мл/л—в поверхностных горизонтах и 7 мл/л—в придонном слое.

Выполненная суточная станция продолжительностью 26 часов (№ 23) на глубине 210 м 8—10 ноября к северо-западу от Шет-

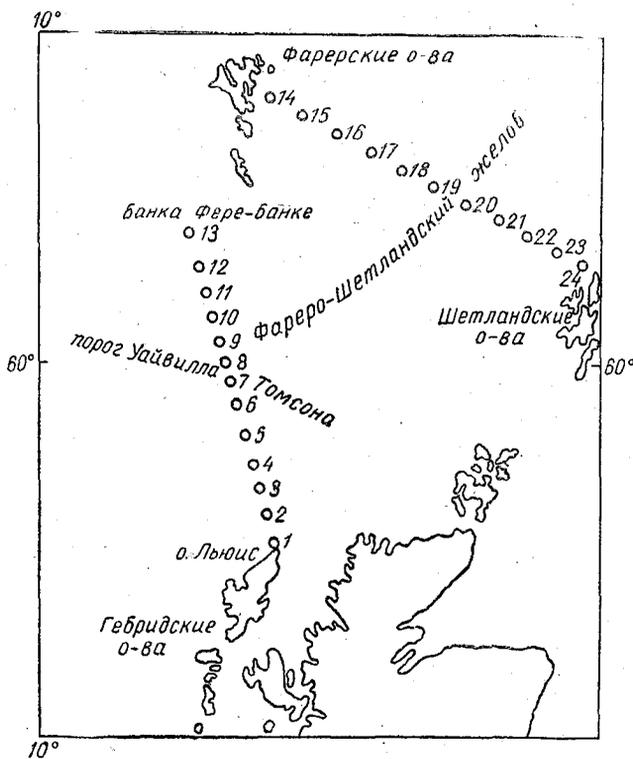


Рис. 3. Схема расположения гидрологических станций «Нерей» в 1968 г. в северной части Атлантического океана в Грейсе.

ландских островов дала весьма интересные данные. Анализ результатов наблюдений над скоростью и направлением течений, полученных вертушками БПВ-2р на горизонтах 15, 50 и 200 м с 5-минутной дискретностью, показал, что суммарное течение представляло собой поток почти однородный по всей глубине с максимальными скоростями до 50—60 см/сек и общим направ-

лением примерно  $40^\circ$ . Данные наблюдений позволили выделить приливные суточные и полусуточные течения из суммарных методом ААНИИ. Полученные эллипсы полусуточных и суточных приливных течений, а также среднего за сутки остаточного течения изображены на графиках (рис. 4), а характеристики эллип-

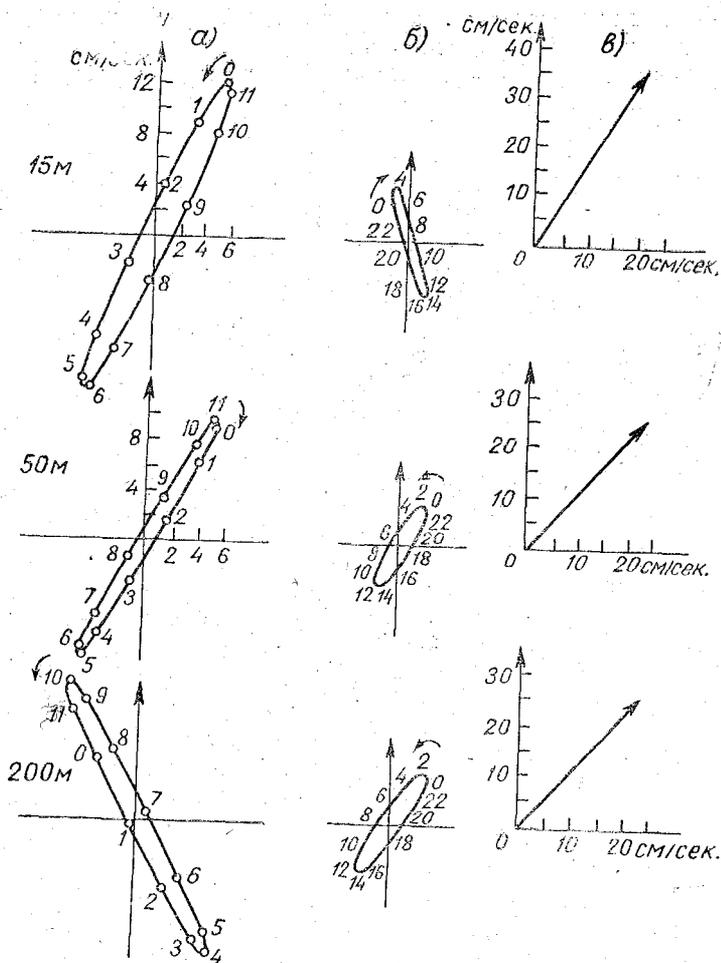


Рис. 4. Приливо-отливные течения (ст. № 23, 8—9 ноября 1968 г., I рейс).

а—полусуточные течения; б—суточные течения; в—остаточное течение (среднее за 30 суток).

сов приливных течений сведены в таблицу. Здесь  $v_{\max}$  — скорость максимального течения (большая полуось эллипса);  $v_{\min}$  — скорость минимального течения (малая полуось);  $\beta$  — коэффициент

сжатия эллипса,  $\alpha$  — направление максимального течения;  $\gamma$  — фаза максимального течения.

Горизонт, м	$v_{\max}$ , см/сек	$v_{\min}$ , см/сек	$\beta = \frac{v_{\min}}{v_{\max}}$	$\alpha^\circ$	$\gamma$ , часы
15	13,0	1,0	0,08	23	11,8
50	11,0	0,5	0,05	28	11,2
200	12,0	1,0	0,08	331	10,0
15	4,5	0,0	0,00	343	3,0
50	4,0	1,0	0,25	28	1,0
200	4,5	1,0	0,22	33	1,8

Полусуточные течения во всей толще имели практически реверсивный характер. Величина максимальной скорости мало изменялась с глубиной. Фаза максимального течения имела определенную тенденцию к уменьшению с глубиной, что объясняется, по-видимому, влиянием придонного трения. Интересной особенностью полусуточных приливных течений является разворот придонного эллипса влево по отношению двух эллипсов верхних горизонтов, где направление приливного течения совпадало с направлением остаточного течения, тогда как у дна приливное течение направлено почти поперек остаточного. Максимальная скорость суточных течений не превышала 4,5 см/сек, наблюдалась также общая тенденция к уменьшению фазы с глубиной, отмечался разворот эллипсов на обратный тому, который имел место у полусуточных течений.

Скорости остаточных течений во всей 200-метровой водной толще колебались от 42 см на глубине 15 м до 35 см в придонном горизонте, их направление соответственно изменялось с 31 на 43°. Так как наблюдения над течениями выполнялись в период промежуток, а в приливах рассматриваемого района заметно развито фазовое неравенство, то по отношению амплитуд волн  $S_2$  и  $M_2$  в различных пунктах Шетландских островов, колеблющихся от 0,32 до 0,39, можно приблизительно определить, насколько квадратные приливные течения будут меньше, а сизигийные больше, чем наблюдаемые. Приняв за среднюю величину 0,35, можно считать, что квадратные полусуточные приливные течения на 35% меньше, а сизигийные на 35% больше, чем средние, т. е. здесь наблюдаются промежуточные течения. Таким образом, в сизигию скорости полусуточных течений могут достигать 17—18 см/сек.

На пути следования нис «Нерей» в Ленинград, в Финском заливе, была выполнена сверх основного плана работ океанографическая съемка этого района Балтийского моря по четырем стандартным (вековым) гидрологическим разрезам (рис. 5). Гидрологические условия в Финском заливе в ноябре 1968 г. характеризо-

вались общей тенденцией падения температуры поверхностного слоя с запада на восток соответственно с  $4,82^{\circ}$  у входа в залив до  $2,53^{\circ}$  в районе о. Гогланд, наличием расположенного примерно на глубине 40—45 м промежуточного слоя с повышенными температурами, интенсивность которого также уменьшалась в восточном

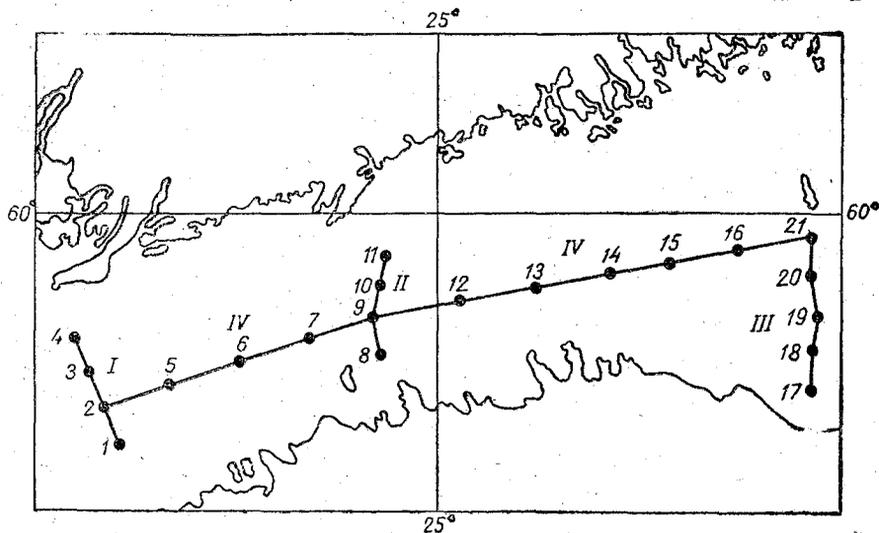


Рис. 5. Схема расположения гидрологических станций нис «Нерей» в 1968 г. в Финском заливе в I рейсе.

направлении с  $7,05^{\circ}$  на меридиане  $23^{\circ}$  до  $3,95^{\circ}$  на меридиане  $27^{\circ}$ . Придонная температура воды также понижалась в заливе с запада на восток с  $4,65$  до  $3,35^{\circ}$ .

В ноябре соленость воды на поверхности Финского залива колебалась в незначительных пределах, убывая с запада к востоку от  $6,89\text{‰}$  у входа в залив до  $5,43\text{‰}$  в районе о. Гогланд. Повышаясь постепенно с глубиной, соленость наиболее резко возрастала в придонных горизонтах, образуя тем самым здесь слой скачка. Максимальная придонная соленость наблюдалась на разрезе о. Осмуссар — полуостров Ханко и составляла  $10,75\text{‰}$ , тогда как у о. Гогланд она понижалась до  $7,48\text{‰}$ .

Содержание кислорода в поверхностной 20—30-метровой водной толще залива составляло  $8,0$ — $8,8$  мл/л. С увеличением глубины наблюдалось весьма быстрое уменьшение содержания кислорода до  $1,6$ — $1,9$  мл/л — у дна в западной части залива и до  $3,8$ — $4,3$  мл/л — в восточной. При подходе 22 ноября к о. Котлин нис «Нерей» вошел в район молодого льда сплошностью 9—10 баллов. Вся Невская губа была также забита 10-балльным льдом, толщина которого местами достигала 10—15 см.

Второй рейс нис «Нерей» начался 11 июня 1969 г. из Ленинграда и закончился 2 августа 1969 г. в Севастополе (рис. 6). За этот период судно прошло свыше 7000 миль, сделав заходы в порты Дублин и Гибралтар. В состав экспедиции второго рейса вошли: ст. преподаватель Б. Я. Тамашунас (нач. экспедиции), ст. научный сотрудник В. П. Коровин (зам. нач. экспедиции), ст. инженер лаборатории подводных исследований В. С. Беззаботнов и восемь студентов IV и V курсов океанологической

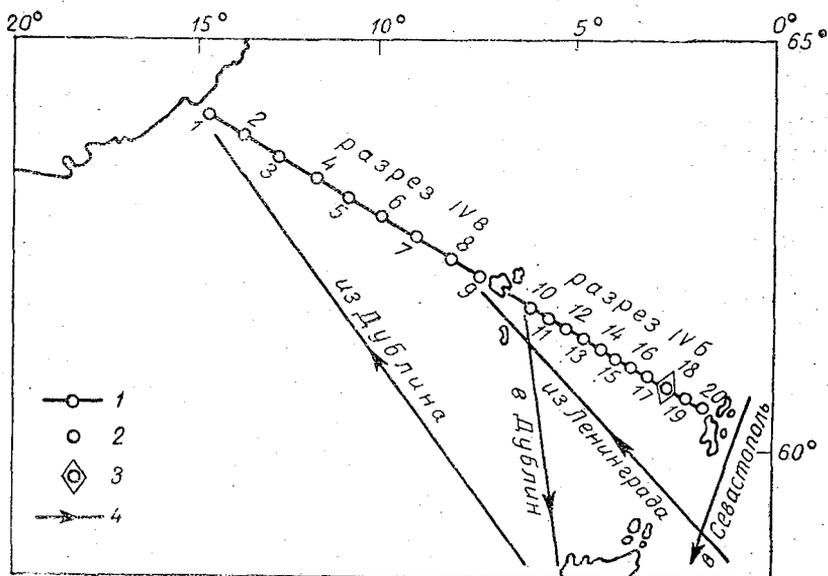


Рис. 6. Схема расположения гидрологических станций нис «Нерей» в 1969 г. в северной части Атлантического океана во II рейсе.

1—гидрологический разрез; 2—эпизодическая станция; 3—многосуточная станция; 4—переход.

специальности: М. М. Усенков, В. И. Сычев, Ю. Н. Астахов, А. И. Данилов, В. В. Денисов, Л. Н. Карлин, Е. А. Ленский и В. Л. Сенюков.

Во втором рейсе нис «Нерей» продолжило начатые в 1968 г. исследования в Фареро-Шетландском районе по программе, изложенной выше. С целью выяснения изменчивости гидрологического режима исследуемого района были произведены работы на двух гидрологических (вековых) разрезах: Шетландские острова—Фарерские острова (разрез IV б) и Фарерские острова—о. Исландия (разрез IV в). Каждый из этих разрезов был выполнен четыре раза за один месяц, с 18 июня по 18 июля 1969 г., причем на производство исследовательских работ на каждом разрезе затрачивались примерно одни сутки. Кроме того, выполнена 22—26 ию-

ния 1969 г. многосуточная станция (№ 18), расположенная к северо-западу от Шетландских островов на глубине 246 м с постановкой судна на глубоководный якорь.

Распределение температуры воды на гидрологическом разрезе Фарерские острова — Шетландские острова (разрез IV б) в течение месяца мало изменялось по времени. На поверхности она на всех четырех разрезах постепенно возрастала от  $9,5^{\circ}$  в районе Фарерских островов до  $11,5^{\circ}$  на подходе к Шетландским островам. Постепенно понижаясь с глубиной, температура воды на горизонте 250 м колебалась в среднем от  $7$  до  $8^{\circ}$  на всем разрезе. Температурный скачок наблюдался в слое примерно 250—600 м. На глубине 600 м проходила нулевая изотерма. Постепенно понижаясь ко дну, температура достигала наименьших значений, около  $-1^{\circ}$  на глубинах 1200 м. Такой же подток холодных вод с севера в этом районе наблюдался и в первом рейсе судна. Соленость на разрезе Фарерские острова — Шетландские острова мало изменялась как по времени, так и по глубине. На поверхности она в среднем колебалась в пределах  $35,3$ — $35,4\%$ . С глубиной соленость постепенно понижалась у дна и составила около  $34,9\%$ . Небольшой скачок солености, так же как и температуры, наблюдался в слое 250—600 м на всех четырех разрезах. Содержание кислорода на поверхности ( $6,10$ — $6,20$  мл/л) вследствие поглощения его из атмосферы было весьма высоким, затем содержание кислорода с глубиной несколько снизилось ( $5,7$ — $6,0$  мл/л).

Распределение температуры воды на гидрологическом разрезе о. Исландия — Фарерские острова (разрез IV в) в течение месяца, так же как и на предыдущем разрезе, мало изменялось. На поверхности температура воды на этом разрезе составляла в среднем  $8,5$ — $10^{\circ}$ . На самой глубоководной станции № 3 (около 700 м) в придонном горизонте температура воды превышала  $5^{\circ}$ ; здесь наглядно прослеживался подток теплых вод с юга, заполняющих всю 700-метровую водную толщу. Основной слой температурного скачка залегает в придонном горизонте на глубинах 300—400 м, причем минимальная температура составляла  $1,4^{\circ}$ .

Соленость на всем протяжении разреза с увеличением глубины колеблется незначительно, в среднем от  $34,3$  до  $35,4\%$  на поверхности. Во всей толще станции № 3 соленость почти постоянна и равна  $35,4$ — $35,3\%$ .

В поверхностном слое содержание кислорода достигает наибольших значений и составляет  $6,5$  мл/л. В придонных слоях его содержание относительно невелико ( $5,94$ — $5,99$  мл/л).

Во время второго рейса на нис «Нерей» были проведены некоторые экспериментальные работы. Так, для буксируемой термомосы, разрабатываемой на кафедре методов океанологических исследований, испытывались два типа датчиков. Один из этих датчиков — датчик для измерения температуры морской воды — выполнен по схеме полупроводникового мультивибратора. Достоинством датчика этого типа является то, что он дает возможность

получить зависимость частоты от температуры окружающей среды. Это достоинство термодатчика позволяет при передаче информации по кабелю частотно-импульсным методом и при применении схемы коммутации датчиков использовать коаксиальный или трехжильный кабель небольшого диаметра, имеющий ряд преимуществ. Другой тип датчика выполнен по мостовой схеме на основе полупроводниковых термосопротивлений (термисторов). Такой датчик отличается простотой схемы и надежностью в эксплуатации. Испытание датчиков проводилось с кормы судна на обычном кабеле длиной 70 м, с концевым грузом весом около 70 кг. Подъем и опускание датчиков проводились кормовым шпилем на ходу судна, шедшего со скоростью до 11 узлов.

В результате проведенных работ получена запись температуры воды в 10-метровом слое в проливе Ла-Манш, Бискайском заливе и Гибралтарском проливе в диапазоне от 12 до 22°. Скорость протяжки ленты самописца составила 60 мм/мин.

В третий рейс нис «Нерей» вышло из Новороссийска 9 декабря 1969 г. и пришло в Таллин 3 февраля 1970 г.

Весьма тяжелые ледовые условия — сплошные ледяные поля толщиной льда до 30 см в восточной части Финского залива и Невской губе в конце января и начале февраля 1970 г. — не позволили судну возвратиться в Ленинград. В третьем рейсе было пройдено 5000 миль и сделано три захода в порты Гибралтар, Глазго и Гетеборг для пополнения запасов продуктов, питьевой воды и жидкого топлива.

В экспедиционный состав вошли: сотрудники кафедры методов океанологических исследований ЛГМИ ст. преподаватель Б. Я. Тамашунас (нач. экспедиции) и ст. научный сотрудник В. П. Коровин (зам. нач. экспедиции), шесть представителей научно-исследовательских институтов Министерства судостроительной промышленности — ст. научный сотрудник В. К. Гончаров и ст. инженер В. П. Морозов, мл. научные сотрудники В. П. Попов и П. Т. Румянцев, ст. инженер Г. С. Чернышев и инженер А. И. Никитин (АН СССР). В рейсе приняли участие студенты ЛГМИ IV и V курсов океанологической специальности, проходившие производственную практику по кораблевождению и исполнявшие в экспедиции обязанности инженеров и техников-океанологов: Ю. В. Ларионов, Б. Я. Бобровский, Ю. Н. Астахов, А. И. Данилов, В. В. Денисов, Е. А. Лепский и В. Л. Сеньюков.

Отличием третьего рейса от первых двух явилось то, что экспедиция провела весьма значительные гидрофизические работы на всем пути следования судна: в Средиземноморском и Черноморском бассейнах, на переходе от пролива Гибралтар до района основных работ — северной части Атлантического океана, в Северном и Балтийском морях.

Во время плавания выполнены гидрологические исследования, материалы которых послужили ценными данными для проводи-

мых одновременно гидроакустических работ. Всего во время рейса была взята 31 глубоководная станция, из которых три выполнено в Черном море, четыре — в Средиземном море, три станции в Атлантическом океане. Все эти станции двухсерийные. Остальные десять станций вошли в продольный гидрологический разрез, выполненный в Балтийском море (рис. 7).

За период работ экспедиции на всех стандартных горизонтах проводились: наблюдения за температурой воды (356 набл.), определения солености воды (252 опр.), растворенного кислорода

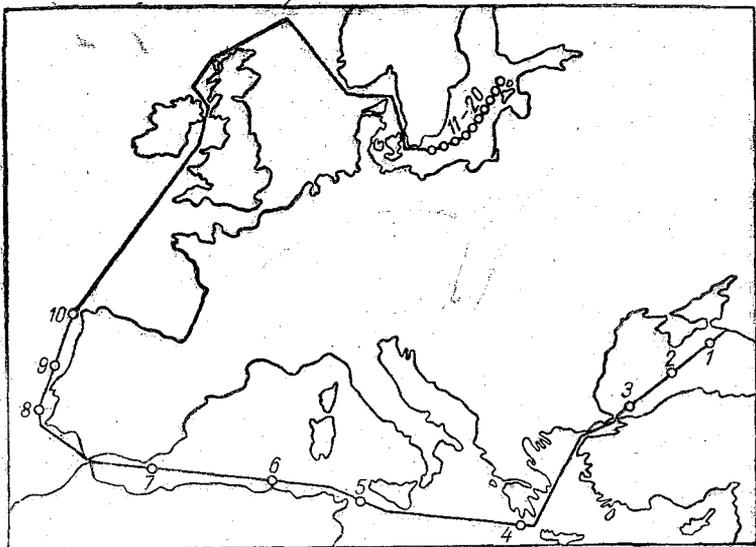


Рис. 7. Схематическая карта III рейса лис «Нерей» в 1969—1970 гг. и расположение гидрологических станций.

(354 опр.), концентрации водородных ионов (354 опр.) и определения интегрального газосодержания (98 опр.). В течение всего плавания велись срочные гидрометеорологические и ледовые наблюдения, передаваемые по радио в соответствующие службы погоды.

Метеорологические условия во время плавания на Черном и Эгейском морях были вполне удовлетворительными. Работы на первых четырех гидрологических станциях осуществлялись при ветрах восточной четверти, достигавших 4—5 баллов. Во время плавания в Средиземном море, с 15 по 27 декабря, по день захода в порт Гибралтар метеорологическая обстановка из-за сильных ветров переменных направлений не благоприятствовала плаванию, и лис «Нерей» было вынуждено искать убежища в бухтах африканского берега или отстаиваться под прикрытием островов Сре-

Диземного моря. Несмотря на тяжелые метеорологические условия, экспедиции удалось выполнить комплекс гидроакустических работ и взять три гидрологические станции (№ 5—7).

После выхода из порта Гибралтар была предпринята попытка выполнить меридиональный гидрологический разрез по 10° з. д., но из-за сильных ветров переменных направлений, достигавших 8—9 баллов, удалось с большими трудностями произвести работы только лишь на трех южных станциях этого разреза (№ 8—10). Непрекращавшиеся штормовые ветры, силою в 7—9 баллов, вызывали сильное волнение также и в основном районе работ — Фареро-Шетландском проливе. Поэтому нис «Нерей» пришлось перейти работать в Балтийское море, где 29 января на станции № 11 оно и приступило к выполнению продольного гидрологического разреза через все море. Работы на разрезе, состоявшем из 10 гидрологических станций (№ 10—20), были закончены 1 февраля.

Войдя в Финский залив, нис «Нерей» встретило мелкобитый лед 7—8 баллов, а по мере продвижения на восток судно уже 2 февраля вошло в сплошные ледяные поля мощностью 8—9 баллов с толщиной льда до 30 см. Не имея возможности самостоятельно продвигаться в таких тяжелых льдах, судно вынуждено было обратиться за помощью к ледоколу «Юрий Лисянский», под проводкой которого оно вошло в порт Таллин 3 февраля 1970 г.

Первый опыт плавания нис «Нерей» в зимние месяцы в северной части Атлантического океана, в период, обусловленный почти непрекращающейся штормовой деятельностью, с ветрами, зачастую превышавшими 8—9 баллов, вызывавшими сильное волнение, показал нецелесообразность использования в океане такого небольшого судна.

Материалы гидрометеорологических наблюдений первых трех рейсов нис «Нерей» направлялись в Центр океанографических данных, в Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Северо-Западное УГМС и Ленинградское отделение ГОИН Гидрометслужбы. Научно-технические отчеты о результатах выполненных экспедиционных исследований представлялись в МВиССО РСФСР и Госкомитет Совета Министров СССР по науке и технике.

В течение всех трех рейсов студенты IV и V курсов океанологической специальности прошли вполне хорошую производственную практику по морской гидрометрии, океанологии, кораблевождению, морскому делу и метеорологии под непосредственным руководством преподавателей института. Кроме того, студенты получили прекрасные навыки проведения экспедиционных исследований на небольшом судне в открытых районах океана, зачастую в сложных условиях штормовой погоды.

Согласно хоздоговору, нис «Нерей» с 6 июня по 10 ноября 1970 г. выполняло работы по установке навигационного оборудования на подходах к Выборгскому заливу. Условия договора по-

зволили судну проводить также и учебную практику студентов-океанологов II курса по морской гидрометрии и океанологии в соответствии с учебным планом института. Кафедрой методов океанологических исследований института, являющейся ответственной за проведение практик на трех курсах океанологической специальности, было сделано все возможное, чтобы практика студентов II курса прошла в соответствии с программами.

В состав учебно-научной экспедиции на нис «Нерей» в четвертом рейсе — июнь—август 1970 г. — в различные периоды ее работы входили: ассистент В. П. Коровин (нач. экспедиции), ассистент Е. И. Четверкин, доцент А. В. Некрасов, учебный мастер В. И. Арбузов (кафедра методов океанологических исследований), ассистенты В. Г. Бухтеев и В. А. Макаров, ст. инженер И. И. Волков (кафедра океанологии) и 42 студента-океанолога, включая 10 студентов-иностранцев.

По просьбе Северо-Западного УГМС, занимающегося изучением Выборгского залива, экспедиционные исследования на нис «Нерей» проводились в центральной части Балтийского моря (рис. 8), восточной части Финского залива — районе, расположен-

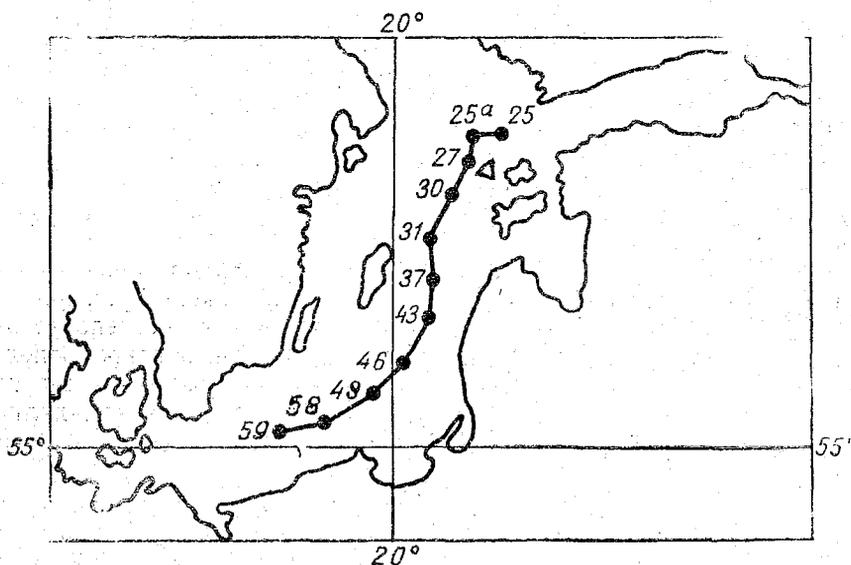


Рис. 8. Схематическая карта расположения гидрологических станций на нис «Нерей» в IV рейсе в 1970 г.

△ — трехсуточная якорная станция.

ном между о. Соммерс и о. Западный Березовый и на подходах к Выборгскому заливу.

Во всех указанных районах выполнялись комплексные работы, состоявшие из наблюдений над температурой и соленостью воды, содержанием растворенного кислорода и концентрацией водород-

ных ионов на стандартных горизонтах. Кроме того, на якорных гидрологических станциях измерялись скорость и направления течений. Все гидрологические работы сопровождались метеорологическими наблюдениями, которые велись также и в синоптические сроки в течение всего рейса. Четыре раза в сутки метеонаблюдения кодировались и передавались в адрес Ленинград—Погода.

Таким образом, в результате плавания нис «Нерей» в Балтийском море в течение всего навигационного периода 1970 г., длившегося 5,5 месяца, был выполнен план гидрографической экспедиции по установке навигационного оборудования на подходах к Выборгскому заливу по хоздоговору с хорошей оценкой, данной заказчиком. Кроме того, выполнены: стандартный гидрологический разрез в центральной части Балтийского моря, состоящий из 11 станций и одной трехсуточной якорной станции (рис. 8), три гидрологических разреза (10 станций) в восточной части Финского залива и несколько станций, расположенных на подходах в Выборгский залив.

Все полученные материалы наблюдений после обработки, помимо их использования специальными кафедрами института, были направлены в Северо-Западное УГМС. Все исследования проводились студентами-океанологами II курса. Таким образом, они прошли под непосредственным руководством преподавателей хорошую практику по морской гидрометрии, гидрохимии и океанологии и получили необходимые навыки работы в открытом море при различных гидрометеорологических условиях.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
К. К. Дерюгин. Основные направления разработок методов и приборов на океанологическом и гидрологическом факультетах ЛГМИ	3
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">А. А. Висневский.</span> О возможных способах усовершенствования автономных буйковых станций для основных гидрометеорологических наблюдений в море	7
И. А. Степанюк. Автономный термограф с дискретной магнитной записью	41
В. А. Степанюк, И. А. Степанюк. Аппаратура для дешифрирования записей на магнитной ленте	47
В. А. Бублик. Термозонд с гидроакустическим каналом связи	54
С. В. Завилейский, Т. Н. Юровская. Измерение и запись мгновенных значений температур в водном потоке	57
И. З. Ледер. Об оценке погрешности дискретных измерений температуры воды	62
Е. И. Четверкин. Расчет ненаправленных электроакустических преобразователей для автономных гидрологических систем	73
Е. И. Четверкин. К определению параметров гидроакустического канала связи для автономных гидрологических систем	80
Б. М. Поляшев, Е. И. Четверкин. К расчету оптимальной частоты гидроакустического канала связи при наличии локальных шумов источника	86
И. А. Арбузов. К точности измерения уровня гидростатическим уровнемером с воздушным колоколом	92
И. А. Арбузов, А. В. Мильштейн. Исследование динамики релейных систем автоматического регулирования в гидростатических уровнемерах с уравнивающим преобразованием	98
В. Ф. Псаломщиков. Фотоэлектрическое сканирующее устройство для записи слабых электрических сигналов	106
И. П. Спицын, С. Д. Винников. Дистанционное измерение скорости и направления потока воздуха в градирнях	109
И. П. Спицын, С. Д. Винников. Измерение количества воды, выносимой из градирни каплями и в виде пара	114
С. Д. Винников, Т. Н. Юровская. Некоторые вопросы расчета водохранилищ-охладителей	120
В. Е. Джус. «Садко-3»—лаборатория для подводных гидрофизических и биолого-геологических исследований	131
В. С. Беззаботнов. Изучение слоя скачка методом подкрашивания потока красителем	137

В. С. Беззаботнов. Сравнительная запись течения самописцами БПВ-2 в различных вариантах постановок . . . . .	144
В. Х. Бурпашев. Экспериментальное исследование распределения скорости течений в придонной области . . . . .	153
А. Ю. Агарков. Методы наблюдений и некоторые результаты исследования перемещения галечных наносов в районе Сухумского мыса . . . . .	170
Ю. Г. Юровский. О некоторых вопросах методики изучения геологии и гидрогеологии шельфа . . . . .	180
К. К. Дерюгин. Некоторые результаты первых четырех рейсов нис ЛГМИ «Нерей» . . . . .	183

Труды ЛГМИ, вып. 44.

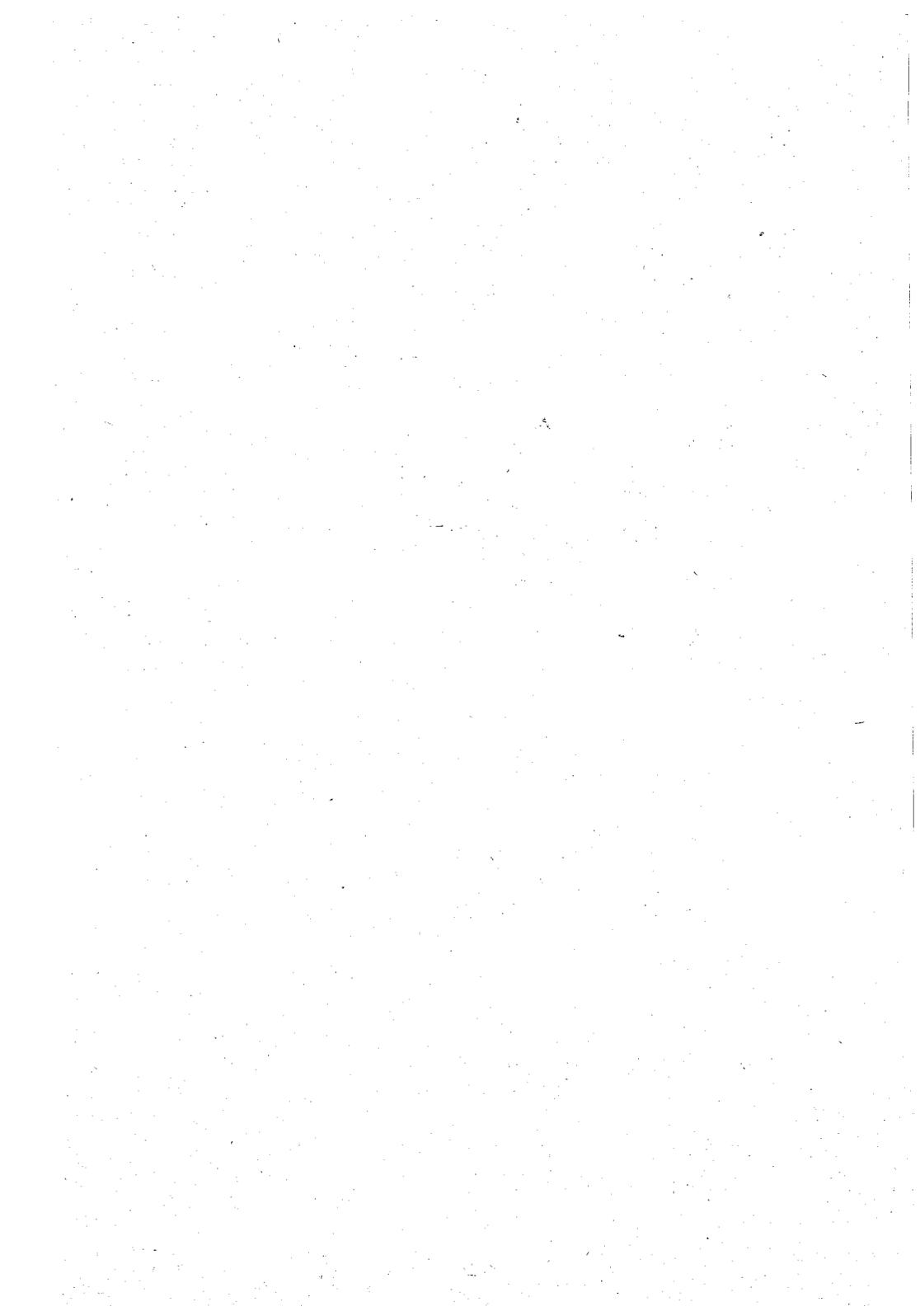
Новые методы и приборы  
для океанологических и гидрологических наблюдений

Редактор Ю. П. АНДРЕЙКОВ

---

М-25483.	Подписано к печати 22/IX 1971 г.	Тираж 500
Объем 12,5 п. л.+1 вкл.	Бумага 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	Зак. 83. Цена 1 р. 25 к.

---



УДК 551.460.18

**Основные направления разработок методов и приборов на океанологическом и гидрологическом факультетах ЛГМИ.** Дерюгин К. К. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 3—6.

Излагаются основные направления работ некоторых кафедр океанологического и гидрологического факультетов в области совершенствования существующих методов и приборов и разработки новых.

УДК 551.460.18

**О возможных способах совершенствования автономных буйковых станций для основных гидрометеорологических наблюдений в море.** Висневский А. А. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 7—40.

Приводится классификация основных методов регистрации и измерения гидрометеорологических параметров среды. Приводятся рекомендации по усовершенствованию автономных буйковых станций.

Табл. 2. Илл. 15. Библ. 15.

УДК 551.460.18

**Автономный термограф с дискретной магнитной записью.** Степанюк И. А. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 41—46.

Рассматривается конструкция и основные схемные решения разработанного в ЛГМИ автономного термографа с дискретной магнитной записью. Приведены технические параметры прибора.

Илл. 2. Библ. 3.

УДК 551.460.18

**Аппаратура для дешифрирования записей на магнитной ленте.** Степанюк В. А., Степанюк И. А. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 47—53.

Рассматривается конструкция и основные схемные решения аппаратуры для считывания информации с магнитной ленты, записанной в виде дискретных пакетов длительностью не менее 1,6 сек ЧМ-способом с пространственным разделением несущей. Даются технические параметры аппаратуры.

Илл. 2. Библ. 2.

УДК 551.460.18

**Термозонд с гидроакустическим каналом связи.** Бублик В. А. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 54—56.

Даются технические параметры термозонда для вертикального зондирования океана до глубин 500 м.

Илл. 2. Библ. 3.



УДК 551.460.18

**Измерение и запись мгновенных значений температур в водном потоке.** Завилейский С. В., Юровская Т. Н. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 57—61.

Рассматривается усовершенствованный прибор для определения температуры поля нестационарного процесса распространения теплой струи по объему холодной струи.

Илл. 2. Библ. 3.

УДК 551.46.071

**Об оценке погрешности дискретных измерений температуры воды.** Ледер И. З. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 62—72.

В работе по материалам наблюдений на отдельных многосуточных станциях дана оценка случайных ошибок, возникающих при определении температуры воды в море. В зависимости от характера ошибок они подразделяются на статистические и динамические. Используются вероятностные методы расчета ошибок.

Показано, что погрешности при работе с глубоководными термометрами возникают в основном из-за неточности выхода батометров на заданные горизонты. Как правило, ошибки возрастают с увеличением градиента температуры. Качка судна на средние показания температуры практически не оказывает влияния. Относительная погрешность как единичных измерений, так и отдельных параметров изменчивости, обусловленная случайной ошибкой, может составлять 10—30% соответствующих значений температуры. Влияние таких ошибок не сказывается на закономерном ходе температуры. Для получения естественной изменчивости нужно из суммарных величин температуры вычесть случайную составляющую.

Табл. 1. Илл. 4. Библ. 10.

УДК 551.460.18

**Расчет ненаправленных электроакустических преобразователей для автономных гидрологических систем.** Четверткин Е. И. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 73—79.

Приводится методика расчета и выбора оптимальных размеров керамических ненаправленных пьезопреобразователей, выполненных в виде полых цилиндров.

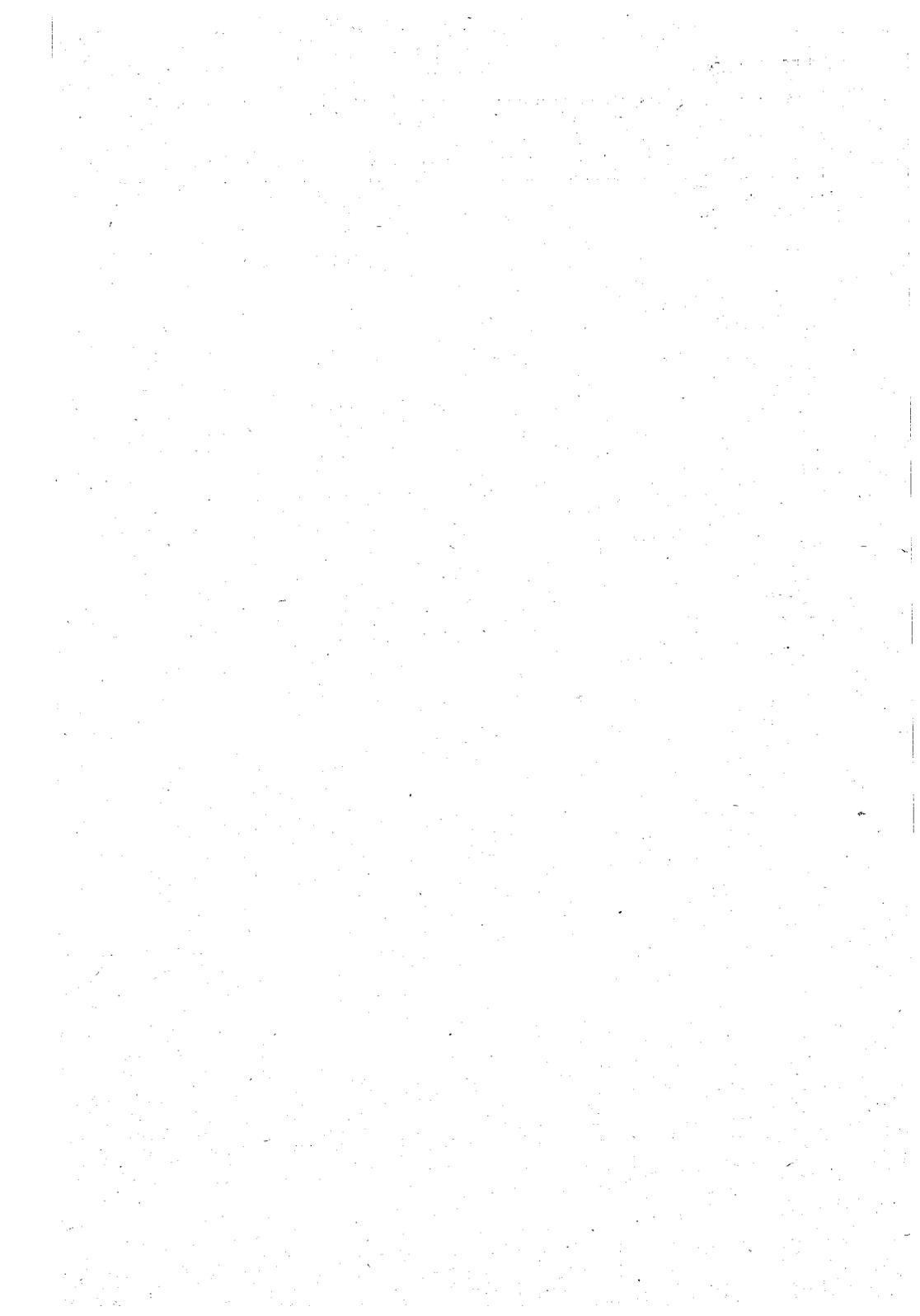
Илл. 2. Библ. 7.

УДК 551.460.18

**К определению параметров гидроакустического канала связи для автономных гидрологических систем.** Четверткин Е. И. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 80—85.

Рассматривается вопрос повышения помехозащищенности гидроакустического канала связи. Даются рекомендации по выбору рабочих частот канала связи, полосы пропускания и отношения сигнал/помеха.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 2.



УДК 551.460.18

**К расчету оптимальной частоты гидроакустического канала связи при наличии локальных шумов источника.** Поляшев Б. М., Четверткин Е. И. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 86—91.

Рассмотрены вопросы оптимизации параметров гидроакустических систем связи. Получена формула для нахождения оптимальной частоты в гидроакустическом канале связи при наличии шумов моря и локальных шумов источника, энергетическая спектральная плотность интенсивности которых аппроксимирована данным выражением. Построены графики, позволяющие определить диапазон рабочих частот при заданных расстояниях связи.

Илл. 3. Библ. 4.

УДК 551.460.18

**К точности измерения уровня гидростатическим уровнемером с воздушным колоколом.** Арбузов И. А. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 92—97.

При использовании воздушного колокола в гидростатических уровнемерах возникают методические погрешности при изменении температуры воздуха под колоколом и величины атмосферного давления над поверхностью водоема. В общем виде определение этих погрешностей весьма затруднительно, однако для гиперболического колокола, у которого величина давления воздуха под колоколом линейно зависит от глубины погружения, методические погрешности находятся сравнительно просто. Анализ показывает, что ошибка в измерении уровня прямо пропорциональна величине отношения полного объема колокола к площади поперечного сечения нижней его части.

Илл. 1. Библ. 2.

УДК 551.460.18

**Исследование динамики релейных систем автоматического регулирования в гидростатических уровнемерах с уравнивающим преобразованием.** Арбузов И. А., Мильштейн А. В. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 98—105.

В настоящее время в автоматических уровнемерах находят широкое применение датчики давления с уравнивающим преобразованием. Со многих точек зрения весьма целесообразно использование в этих датчиках релейной системы регулирования. В тех случаях, когда необходима быстродействующая система, возникают вопросы обеспечения устойчивости ее работы. В статье исследуются динамические свойства типичной для датчиков давления системы и находится связь между быстродействием системы и точностью ее работы при заданных параметрах системы.

Илл. 6. Библ. 2.

УДК 551.460.18

**Фотоэлектрическое сканирующее устройство для записи слабых электрических сигналов.** Псаломщиков В. Ф., Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 106—108.

Рассматривается фотоэлектрическое устройство, смонтированное на базе электронного потенциометра ЭПП-09, предназначенное для автоматической регистрации микротоков, измеряемых зеркальными гальванометрами с выносной световой шкалой. Устройство не потребляет энергии из измерительной цепи и может быть использовано для записи сигналов с зеркального гальванометра любой чувствительности.

Илл. 1. Библ. 4.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial data. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document provides a detailed list of items that should be tracked, such as inventory levels, supplier payments, and customer orders. It also outlines the procedures for reconciling accounts and identifying discrepancies.

In the second section, the focus is on the analysis of financial performance. This involves comparing current results with historical data and industry benchmarks. The document explains how to calculate key financial ratios and interpret their meaning. It also discusses the importance of identifying trends and potential areas of concern. The author provides several examples of how to analyze data and make informed decisions based on the findings.

The third section addresses the topic of budgeting and financial planning. It describes how to create a realistic budget that takes into account all aspects of the business, including fixed and variable costs. The document also discusses the importance of monitoring the budget and making adjustments as needed. It provides a step-by-step guide to developing a financial plan that aligns with the company's long-term goals.

Finally, the document concludes with a summary of the key points discussed. It reiterates the importance of accurate record-keeping, thorough analysis, and proactive financial planning. The author encourages readers to apply these principles to their own businesses to ensure long-term success and financial stability.

УДК 551.508+621.175.3

**Дистанционное измерение скорости и направления потока воздуха в градириях.** Спицын И. П., Винников С. Д. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 109—113.

Описывается прибор, предназначенный для дистанционного измерения скорости восходящего и нисходящего потока воздуха в градириях.

Илл. 3. Библ. 2.

УДК 628.113+66.045.5

**Измерение количества воды, выносимой из градири капли и в виде пара.** Спицын И. П., Винников С. Д. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 114—119.

Рассматривается метод измерения количества воды, выносимой из градири воздушным потоком, проходящим через нее. Приводится описание нового прибора (электронсихрометра с каплеуловителем), разработанного и изготовленного в ЛГМИ и предназначенного для измерения выносимой из градири воды, и результаты измерения им в градириях ВГ-47 и ВГ-70.

Табл. 1. Илл. 2. Библ. 7.

УДК 628.113+66.045.5

**Некоторые вопросы расчета водохранилищ-охладителей.** Винников С. Д. Юровская Т. Н. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 120—130.

Излагается методика расчета водохранилища-охладителя без применения понятия активной зоны и коэффициента использования водохранилища. В предлагаемой методике решение, так же как и у Н. М. Вернадского, ведется отдельно для гидравлической и термической частей задачи. В качестве примера приведен расчет Змиевского водохранилища-охладителя.

Табл. 2. Илл. 3. Библ. 7.

УДК 551.460.18

**«Садко-3» — лаборатория для подводных гидрофизических и биолого-геологических исследований.** Джус В. Е. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 131—136.

Статья посвящена описанию конструкций подводной лаборатории и методики проведения подводных исследований. Приведены схемы постановки подводной лаборатории на грунте и дан рациональный способ проведения декомпрессий после эксперимента.

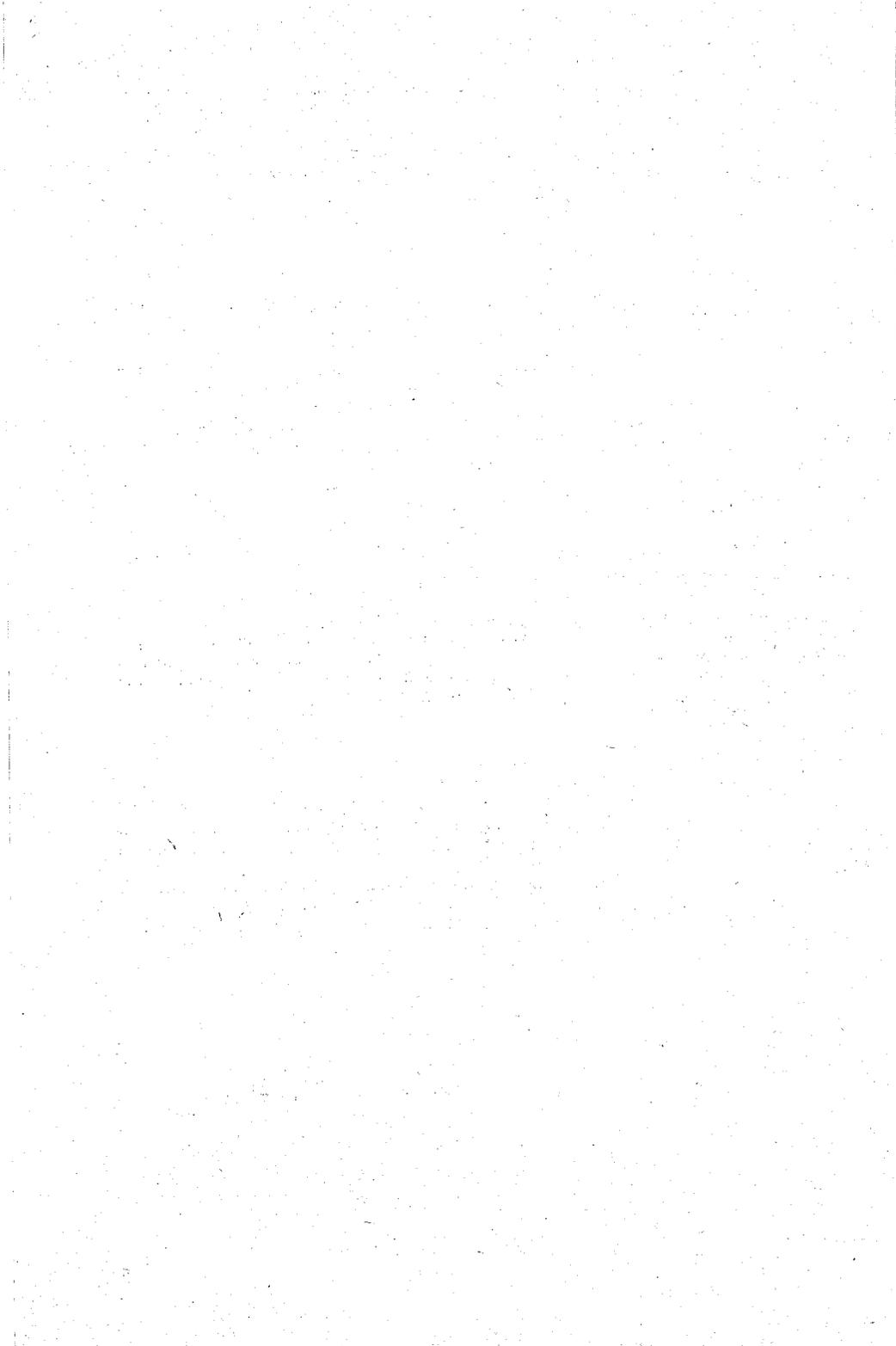
Табл. 1. Илл. 3.

УДК 551.460.18

**Изучение слоя скачка методом подкрашивания потока красителем.** Беззаботнов В. С. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 137—143.

Наблюдение течений и процессов перемешивания в слое скачка производилось методом подкрашивания потока красителем из точечного непрерывного источника краски. Велось подводное визуальное наблюдение и фотографирование следов красителя. В ходе эксперимента наблюдались значительные градиенты в скорости и направлении течения по оси слоя скачка.

Табл. 2. Илл. 1. Библ. 2.



УДК 551.460.18

**Сравнительная запись течения самописцами БПВ-2 в различных вариантах постановок.** Беззаботиов В. С. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 144—152.

В ходе эксперимента производилась одновременная запись скоростей и направлений течений самописцами БПВ-2 в трех вариантах постановок при различных гидрометеорологических условиях в районе эксперимента. Вычислены коэффициенты корреляции и выведены уравнения регрессии составляющих течения на меридиан и параллель для случаев волнения моря менее и свыше 2 баллов.

Табл. 2. Илл. 5. Библ. 5.

УДК 551.460.18

**Экспериментальное исследование распределения скорости течений в придонной области.** Бурнашев В. Х. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 153—169.

Статья посвящена исследованию динамических явлений в придонном пограничном слое. Приведена методика натурных наблюдений. Материалы исследования позволяют количественно определить кинематические характеристики в придонной области.

Табл. 1. Илл. 10. Библ. 10.

УДК 551.460.18

**Методы наблюдений и некоторые результаты исследования перемещения галечных наносов в районе Сухумского мыса.** Агарков А. Ю. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 170—179.

В статье отражены результаты экспериментальных наблюдений над перемещением галечных наносов в районе Сухумского мыса при различных гидрометеорологических условиях.

Табл. 2. Илл. 4. Библ. 15.

УДК 551.460.18

**О некоторых вопросах методики изучения геологии и гидрогеологии шельфа.** Юровский Ю. Г. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 180—182.

Рассматриваются вопросы картирования субмаринных источников и некоторые вопросы методики производства геологической съемки шельфа.

Библ. 8.

УДК 551.460.18

**Некоторые результаты первых четырех рейсов нис ЛГМИ «Нерей».** Дерюгин К. К. Труды ЛГМИ, 1971, вып. 44, стр. 183—197.

Даются краткие сведения о результатах экспедиционных исследований, выполненных научно-исследовательским судном ЛГМИ «Нерей» в рейсы 1968—1970 гг.

Табл. 1. Илл. 8.

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. No specific content can be transcribed.]



Цена 1 р. 25 к.