

Бесплатно.

Академия наук СССР  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова  
Атлантическое отделение

На правах рукописи  
УДК 551.465.58:551.46.085

РАЗЖИВИН Виктор Алексеевич

СВОБОДНОПАДАЮЩИЕ ЗОНДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ  
ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ  
В ОКЕАНЕ

(Специальность II.00.08 - океанология)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Калининград  
1988

Работа выполнена в Институте океанологии им. П. П. Ширшова Академии наук СССР

Научный руководитель:

доктор технических наук профессор Н. В. ВЕРШИНСКИЙ

Научный консультант:

кандидат физико-математических наук В. Н. НАБАТОВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук профессор В. М. ПЛУЖНИКОВ

кандидат физико-математических наук Е. П. ВАРЛАТЫЙ

Ведущая организация:

Морской Гидрофизический институт АН УССР

Защита диссертации состоится "29" ноября 1988г.

в 14 часов на заседании Специализированного совета К 002.86.02 в Институте океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР по адресу: Москва, II72I8, ул. Красикова, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института океанологии.

"октябрь" 1988г.

Специализированного  
совета  
физико-математических наук

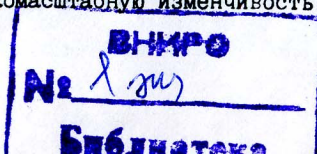
С. Г. ПАНФИЛОВА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема изучения течений являлась и является одной из самых важных в познании человеком океана. Влияние течений на судоходство, климат, продуктивность океана, на процессы перемешивания и создания общей устойчивости структуры вод всегда ставило задачи по их исследованию в ряд наиболее актуальных. Одним из основных направлений в изучении течений на современном этапе является изучение их тонкой структуры - неоднородностей в поле скорости с вертикальными масштабами от единиц сантиметров до десятков метров. Причинами возникновения таких неоднородностей могут являться инерционные колебания, внутренние волны, боковая конвекция и т. д.

Экспериментально получено, что наибольшие сдвиги скорости течений наблюдаются в зонах скачков плотности, причем наличие сдвига и скачка плотности нередко ведет к обострению обоих градиентов. Это свидетельствует о тесной связи тонкой структуры в поле скорости с тонкой плотностной стратификацией. Без изучения тонкой структуры скорости течений невозможно исследовать перенос энергии и массы от крупномасштабных процессов к микропроцессам (микротурбулентность), изучить причины формирования тонкой стратификации в полях температуры, солености и плотности. Однако в настоящий момент имеется отставание в уровне знаний океанологов с тонкой структуре течений по отношению к тонкой стратификации плотности, температуры и солености. При изучении поля скорости исследователи встретились с целым рядом серьезных трудностей: создание новой аппаратуры, разработка методов измерений, обработка полученной информации и ее интерпретация.

Одним из наиболее перспективных классов приборов, позволяющих изучать мелкомасштабную изменчивость гидрофизических



полей в океане являются свободнопадающие зонды. Только они, лишенные воздействия качки корабля (буя), в отличие от зондов привязного типа, способны измерять профиль скорости течений с разрешением по пространству до единиц сантиметров. Отсутствие вибраций кабеля значительно повышает пороговое разрешение зондов по амплитуде измеряемой характеристики. Но свободнопадающий зонд постоянно подвергается динамическим воздействиям окружающей среды, воздействиям тех неоднородностей, которые он призван измерять. В результате исследователь получает профиль относительной скорости движения зонда и среды, являющийся суперпозицией профиля скорости течений и профиля скорости движения самого зонда. Очень широкий диапазон масштабов неоднородностей зонд измеряет со значительными искажениями. Неучет собственных движений прибора ведет либо к сужению диапазона изучаемых неоднородностей (до единиц метров), либо к возможностям допущения неверной интерпретации материалов измерений.

Траектория движения зонда может быть определена либо техническими средствами (системой акустического лоцирования), либо посредством расчетов на основе математических моделей. Первый способ связан со значительными техническими трудностями и материальными расходами. Второй способ более доступен, но его точность во многом зависит от качества применяемой модели. Математическое моделирование кроме коррекции результатов измерений позволяет выявить основные особенности нестационарных движений свободнопадающих зондов, причины их возникновения и возможные пути уменьшения их влияния на результаты измерений.

Проблеме изучения тонкой структуры скорости (ТСС) тече-

ний методом свободнопадающих зондов и посвящена настоящая работа.

Цель работы. Целью работы является развитие метода измерений профиля течений в океане, включая ТСС, с помощью свободнопадающих зондов и обоснование физической интерпретации экспериментальных данных.

Основные задачи:

- анализ характерных особенностей тонкой структуры поля скорости течений, существующих методов ее исследования и обоснование вывода о наиболее перспективном методе;
- разработка оптимальной по сложности и качеству математической модели, описывающей динамику свободнопадающего зонда в условиях реального океана;
- обоснование основных требований к конструкции свободнопадающих зондов исходя из конкретных гидрофизических задач;
- разработка математической модели коррекции результатов измерений, выполненных с помощью свободнопадающих зондов;
- экспериментальная проверка полученных математических моделей;
- оценка характеристик ТСС и выявление механизмов ее генерации по имеющимся данным измерений с помощью свободнопадающих зондов.

Научная новизна. В диссертационной работе обобщены имеющиеся до настоящего времени сведения о тонкой структуре течений. Выявлены характерные значения параметров ТСС: вертикальные масштабы неоднородностей и присущие им значения сдвига скорости.

Разработана математическая модель, описывающая динамику цилиндрического зонда с хвостовым оперением при его свободном падении в условиях наличия ТСС. На основе этой модели выявлены основные конструктивные параметры зонда, влияющие на его динамику (удлинение зонда, метацентрическая высота, характеристики и тип хвостового оперения). Анализ их влияния дал возможность разработать основные требования к зонду с целью получения заданных динамических характеристик. Рекомендованы способы изменения этих характеристик (частота свободных колебаний и параметров затухания) у зондов, находящихся в эксплуатации.

Разработана и опробирована методика экспериментальной проверки математических моделей, описывающих динамику свободнопадающих зондов и получения эмпирических оценок и инерционных характеристик этих зондов.

Осуществлена экспериментальная проверка математической модели в лабораторных условиях на специально созданной установке. Проверка показала, что предложенная модель гораздо лучше описывает горизонтальный снос зонда, чем ранее предложенные модели. Экспериментально проверено описание моделью колебаний зонда.

Предложена и опробирована в численных экспериментах и на натуральных данных математическая модель восстановления профиля скорости течений с точностью до постоянной составляющей. Модель позволяет исключить из измерений вклад динамических погрешностей зонда и, тем самым существенно расширить диапазон изучаемых неоднородностей.

Впервые получены достоверные данные о ТСС с разрешением по вертикали порядка  $1\text{ м}$ . Это позволило проанализировать до-

вольно сложную вертикальную структуру течения (Гвианского течения) в широком диапазоне вертикальных масштабов неоднородностей.

Практическая ценность. Результаты работы могут использоваться при разработке новых свободнопадающих зондов с заданными динамическими характеристиками, оптимальными в конкретных гидрофизических измерениях. Анализ динамики зонда и ее учет в измерениях, предложенный в работе, необходим при интерпретации результатов. Метод восстановления профиля скорости течений существенно расширяет возможности использования свободнопадающих зондов при изучении ТСС.

На защиту выносятся:

1. Методы описания нестационарного движения свободнопадающего зонда под влиянием возмущений, присутствующих в среде.
2. Математическая модель и метод восстановления профиля скорости течений по показаниям свободнопадающего зонда. Полученный профиль используется для анализа ТСС и ее характеристик в существенно более широком диапазоне частот.
3. Результаты анализа влияния конструктивных параметров зонда на его динамику в режиме свободного падения. Выявлены ключевые параметры, определяющие динамические характеристики зонда. Определены основные требования к зонду, исходя из конкретных гидрофизических задач.
4. Результаты применения метода к интерпретации натуральных данных.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на 7-й научной конференции молодых ученых Ленинградского гидрометеорологического института (Ленинград, 1983г.), на Ш-й Республиканской конференции по проблемам гидромеханики

(Киев, 1984г.), на Всесоюзном совещании по техническим средствам освоения и изучения океана (Геленджик, 1985г.), на У-й Всесоюзной конференции "Технические средства изучения океана" (Ленинград, 1985г.), на Всесоюзной Школе по техническим средствам изучения и освоения океанов и морей (Геленджик, 1987г.), на IV Республиканской конференции по проблемам гидромеханики (Киев, 1987г.), на III-м Съезде советских океанологов (Ленинград, 1987г.), на коллоквиумах Лаборатории морской турбулентности Института океанологии АН СССР и Отдела экспериментальных гидрофизических исследований Атлантического отделения Института океанологии АН СССР.

Публикации. Основное содержание работы изложено в работах I-10

Структура и объем работы. Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения. Объем диссертации 99 страниц основного текста и 39 рисунков. Список литературы содержит III наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи работы.

Первая глава посвящена анализу существующих сведений по тонкой структуре течений, методов ее исследований, выбору наиболее перспективного метода.

Описывается предмет исследований - тонкая структура течений, ее проявления в океане. Рассматриваются возможные механизмы, приводящие к ее возникновению. Приводятся характерные вертикальные масштабы и значения сдвига скорости. Дается

исторический обзор результатов исследований тонкой структуры течений. Рассматривается история развития методов изучения ТСС. Анализируются их положительные и отрицательные стороны. Обосновывается выбор, в качестве наиболее перспективного, метода свободнопадающих зондов. Приводится критический анализ существующих математических моделей, описывающих горизонтальное увлечение зонда течением.

Вторая глава посвящена вопросам динамики свободнопадающего зонда, разработке математических методов описания его неустановившихся движений. Рассматриваются общие уравнения движения свободнопадающего зонда в продольно-поперечной плоскости. В качестве зонда взят длинный вертикальный цилиндр с обтекаемой носовой частью и хвостовым оперением в виде плоских стабилизаторов или венчика щеток. В итоге на основании анализа основных гидродинамических сил, действующих на зонд, получена следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} (m + \lambda_{22})V\alpha \frac{d\theta}{dt} + (m + \lambda_{11})\frac{dV}{dt} &= \Delta \rho g SL - \frac{1}{2} \rho_0 C_x SV^2; \\ (m\lambda_{00} + \lambda_{26})\frac{d^2\theta}{dt^2} + (m + \lambda_{11})V\frac{d\theta}{dt} - (m + \lambda_{22})\alpha\frac{dV}{dt} - (m + \lambda_{22})V\frac{d\alpha}{dt} &= \\ = \frac{1}{2} \rho_0 C_y \alpha SV^2 + \frac{1}{2} \rho_0 C_y^\omega SLV\frac{d\theta}{dt} - \Delta \rho g SL\theta + \frac{2}{\pi} \rho_0 C_d \gamma SV^2 \alpha^2; \\ (J_z + \lambda_{66})\frac{d^2\theta}{dt^2} + (m\lambda_{00} + \lambda_{26})V\frac{d\theta}{dt} - (m\lambda_{00} + \lambda_{26})\alpha\frac{dV}{dt} - (m\lambda_{00} + \lambda_{26})V\frac{d\alpha}{dt} &= \\ = \frac{1}{2} \rho_0 m_z^\alpha SLV^2 \alpha + \frac{1}{2} \rho_0 m_z^\omega SL^2 V\frac{d\theta}{dt} - mg\lambda_{00}\theta; \end{aligned} \quad (I)$$

где  $m$  - масса зонда,  $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{22}$ ,  $\lambda_{26}$ ,  $\lambda_{66}$  - присоединенные массы жидкости,  $\alpha$  и  $\theta$  - углы атаки и дифферента,  $V$  -

скорость движения зонда,  $\Delta \rho$  - разность плотностей воды и зонда,  $S$  и  $L$  - площадь миделева сечения и длина зонда,  $g$  - ускорение свободного падения,  $\rho_0$  - плотность среды,  $C_x$  - коэффициент продольного сопротивления,  $X_0$  - метacentрическая высота,  $C_y^\alpha$ ,  $C_y^\omega$ ,  $m_z^\alpha$ ,  $m_z^\omega$ ,  $C_d$  - гидродинамические коэффициенты позиционных и демпфирующих сил и моментов,  $\gamma$  - удлинение зонда, отношение длины к диаметру,  $J_z$  - его момент инерции. Система (I) описывает свободное падение зонда в продольно-поперечной плоскости при малых углах атаки  $\alpha$  и дифферента  $\theta$ .

Выражения для гидродинамических коэффициентов зависят от формы тела зонда и его хвостового оперения. Для оперения, выполненного в форме щеточного венчика, создающего большое продольное сопротивление ( $C_x \geq 1$ ), коэффициенты определяются по следующим выражениям:

$$C_y^\alpha = 2 + C_0 + C_x, \quad m_z^\alpha = (2 - C_0 - C_x) \mathcal{X},$$

$$C_y^\omega = (C_0 + C_x - 2) \mathcal{X}, \quad m_z^\omega = -(C_0 + C_x + 2) \mathcal{X}^2,$$

где  $C_0$  - коэффициент продольного сопротивления корпуса без оперения,  $\mathcal{X}$  - относительное плечо силы, равное отношению к длине зонда удаления точки приложения этой силы от центра вращения. В наших расчетах для сил, действующих на носовую и кормовую части зонда, принималось  $\mathcal{X} = 0,5$ .

Для плоских стабилизаторов, при которых сохраняется относительно низкое продольное сопротивление, запись гидродинамических коэффициентов имеет вид:

3\*

$$C_y^\alpha = 2 + C_0 + 2\pi\varepsilon, \quad m_z^\alpha = (2 - C_0 - 2\pi\varepsilon) \mathcal{X},$$

$$C_y^\omega = (C_0 + 2\pi\varepsilon - 2) \mathcal{X}, \quad m_z^\omega = -(C_0 + 2\pi\varepsilon + 2) \mathcal{X}^2,$$

где  $\varepsilon$  - относительная площадь стабилизаторов, равная отношению площади стабилизаторов к площади миделева сечения корпуса зонда. Величина коэффициента  $C_d$  (сопротивление при поперечном обтекании цилиндра) для модельных расчетов принята постоянной и равной 1,2.

В анализе движения зонда по вертикали оцениваются параметры нестационарного участка, в случае его разгона при нулевой начальной скорости. Показано, что разгон зонда до скорости  $W = W_0 N$ , где  $W_0$  - установившаяся скорость погружения, а  $N$  - величина от 0 до 1, происходит за время

$$t = \frac{1}{A_2} \ln \frac{1+N}{1-N}$$

где  $A_2 = f(C_{x0}, L, \rho_0, \Delta \rho)$ . Разгон происходит на дистанции

$$S_2 = \frac{\rho_1 (1 + \mu_{11}) L}{\rho_0 C_{x0}} \ln \frac{1}{1 - N^2}$$

где  $\mu_{11}$  - коэффициент присоединенной массы воды,  $\rho_1$  - средняя по объему плотность зонда. Величина участка разгона сильно зависит от величины суммарного коэффициента продольного сопротивления  $C_{x0}$ . Для достижения скорости падения, равной  $0,99 W_0$ , зонду с  $C_{x0} = 0,1$  требуется пройти более 40 своих длин, а с  $C_{x0} = 4$  всего около одной длины корпуса.

Горизонтальное увлечение зонда потоком наиболее трудно поддается контролю бортовыми системами прибора. На основе более полного, по сравнению с выполненными ранее, учета сил,

действующих на зонд, предлагается следующее уравнение для горизонтальной скорости зонда  $U$  при его падении с установившейся по вертикали скоростью  $W_0$ :

$$\frac{dU}{dt} = \frac{W_0 \rho_0}{(\rho_1 + \rho_0)L} [u(z_0) - U] + \frac{\rho_0 C_x W_0}{2(\rho_1 + \rho_0)L} [u(z_L) - U] + \frac{\rho_0 C_d}{(\rho_1 + \rho_0)\pi R_0 L} \int_{z_0-L}^{z_0} [u(x) - U] \cdot |u(x) - U| dx, \quad (2)$$

где  $U$  - горизонтальная составляющая скорости движения зонда,  $R_0$  - радиус его корпуса,  $z_0$  и  $z_L$  - глубины нахождения носовой и кормовой частей зонда соответственно.

В правой части выражения (2) представлена сумма основных сил, оказывающих влияние на горизонтальный снос свободнопадающего зонда. Первое и второе слагаемые представляют собой силы, действующие соответственно на носовую и кормовую части зонда. Третье слагаемое является выражением силы распределенной вдоль цилиндрической части корпуса зонда и пропорциональной квадрату относительной скорости среды. Под интегралом для учета направления действия этой силы стоит произведение относительной горизонтальной скорости на ее модуль.

Определяются основные характеристики колебательных движений зонда: частота свободных колебаний, параметры затухания. Решается система безразмерных уравнений, полученная на основе (1) при условии установившейся скорости погружения:

$$a_1 \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + a_2 \frac{d\theta}{d\tau} + a_3 \theta + a_4 \frac{d\alpha}{d\tau} + a_5 \alpha = 0, \\ b_1 \frac{d^2 \theta}{d\tau^2} + b_2 \frac{d\theta}{d\tau} + b_3 \theta + b_4 \frac{d\alpha}{d\tau} + b_5 \alpha = 0,$$

(3)

$$\text{где } a_1 = \delta + \mu_{26}, \quad b_1 = \frac{1}{12} (1 + \mu_{66}), \\ a_2 = 1 + \mu_{11} - \frac{1}{2} C_y^\omega, \quad b_2 = (\delta + \mu_{26} + \frac{1}{2} m_z^\omega), \\ a_3 = \frac{1}{2} C_x, \quad b_3 = \delta Fr^{-2}, \\ a_4 = -(1 + \mu_{22}), \quad b_4 = -(\delta + \mu_{26}), \\ a_5 = -\frac{1}{2} C_y^\alpha, \quad b_5 = -\frac{1}{2} m_z^\alpha.$$

При получении системы (3) использованы следующие обозначения:

$$\mu_{11} = \frac{\lambda_{11}}{\rho_1 S L}, \quad \mu_{22} = \frac{\lambda_{22}}{\rho_1 S L}, \quad \mu_{26} = \frac{\lambda_{26}}{\rho_1 S L^2}, \quad \mu_{66} = \frac{12 \lambda_{66}}{\rho_1 S L^3},$$

где  $\mu_{ij}$  - коэффициенты присоединенных масс, кроме этого

$$\delta = \frac{X_0}{L}, \quad Fr = \frac{W_0}{\sqrt{g L}}, \quad \tau = \frac{W_0}{L} t.$$

Решая систему (3) получаем частоту свободных колебаний ( $\omega_0$ ), параметры затуханий аperiodических  $\lambda_1$  и периодических  $\beta$  колебаний, их зависимость от  $C_x$ ,  $\delta$  и относительной площади стабилизаторов  $\varepsilon$  (отношение площади стабилизаторов к площади миделева сечения).

Построенные графики (см. рис. 1) свидетельствуют о том, что минимальные частоты собственных колебаний и максимальные значения параметров затуханий наблюдаются при величинах  $C_x$  от 3 до 5. Существенна зависимость этих параметров от метацентрической высоты ( $\delta$ ).

Для анализа вынужденных колебаний зонда при наличии в среде ТСС определяется его амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) по углу дифферента. Дается зависимость АЧХ от  $\delta$  и  $C_x$ . Оценка возможной величины погрешности, обусловленной

поперечным перемещением датчиков при колебаниях зонда, дает типичную величину около  $1+2$  см/с. Таким образом, погрешность соизмерима с величиной измеряемого сигнала и учет собственных движений зонда при анализе результатов измерений необходим.

Третья глава посвящена экспериментальной проверке предложенных уравнений. Приводится метод (лабораторная установка) для проверки уравнений, описывающих горизонтальное увлечение зонда потоком воды и колебаний зонда в безсдвиговом потоке. Приводятся результаты экспериментов, свидетельствующие, что предложенные в настоящей работе уравнения хорошо описывают названные типы движений. Согласие с экспериментом более высокое, чем у ранее существующих моделей.

Даются результаты численных экспериментов, в которых моделируется движение свободнопадающего зонда в реальном океане. На основе (2) предлагается уравнение для восстановления вертикального профиля скорости течений:

$$\frac{dV}{dt} = B \cdot R + K |\bar{R} - \delta_0| (\bar{R} - \delta_0), \quad (4)$$

$$\text{где } B = \frac{\rho_0}{\rho_1 + \rho_0} \frac{W_0}{L}, \quad \text{а } K = \frac{\rho_0}{\rho_1 + \rho_0} \frac{C_d}{\pi R_0}.$$

Уравнение (4) позволяет по измеренной зондом относительной скорости среды  $R$  и параметрам самого зонда рассчитать профиль горизонтальной скорости его движения. Учет изменения относительной горизонтальной скорости вдоль длины зонда учитывается в средней по длине корпуса измеренной относительной скорости  $\bar{R}$  и в величине  $\delta_0$ , представляющей изменение эффективной  $R$  за счет ускорений зонда:

$$\delta_0 = \int_{t_0}^{t_2} \frac{dV}{dt} dt \quad (5)$$

Численные эксперименты показали на возможность восстановления профиля скорости течения с точностью до постоянной составляющей. Отмечается также, что локальные сдвиги лучше определять по восстановленному профилю, чем из прямых измерений. В противном случае искажения могут иметь уровень самой измеряемой величины. На основе результатов работы, полученных в главе 2, разрабатываются основные требования к свободнопадающим зондам с целью создания зонда с заданными динамическими характеристиками для конкретных гидрофизических измерений. Показана возможность создания зонда, способного производить измерения как при погружении, так и при последующем всплытии.

Глава четвертая посвящена практическому использованию предложенных математических моделей на примере нескольких реальных зондов и их натуральных измерений.

Рассматриваются материалы, полученные в измерениях зондом Московского инженерно-физического института, зондом "Баклан", созданным и эксплуатируемым в Атлантическом отделе Института океанологии и зондом "Топаз", разработанным в МГИ АН УССР. Анализируется влияние собственных движений зондов на качество их измерений. Показано, что собственные колебания зонда ведут к регистрации ложного сигнала в диапазоне частот, охватывающих ТСС. При малых величинах метацентрической высоты зонда амплитуда ложного сигнала может быть весьма значительной. Увеличение площади плоских стабилизаторов смещает частоту автоколебаний в область высоких частот.

Даются примеры применения уравнения (4). По измерениям зонда "Топаз" в зоне Гвианского течения произведено восстановление профилей скорости течений для зональной и меридио-



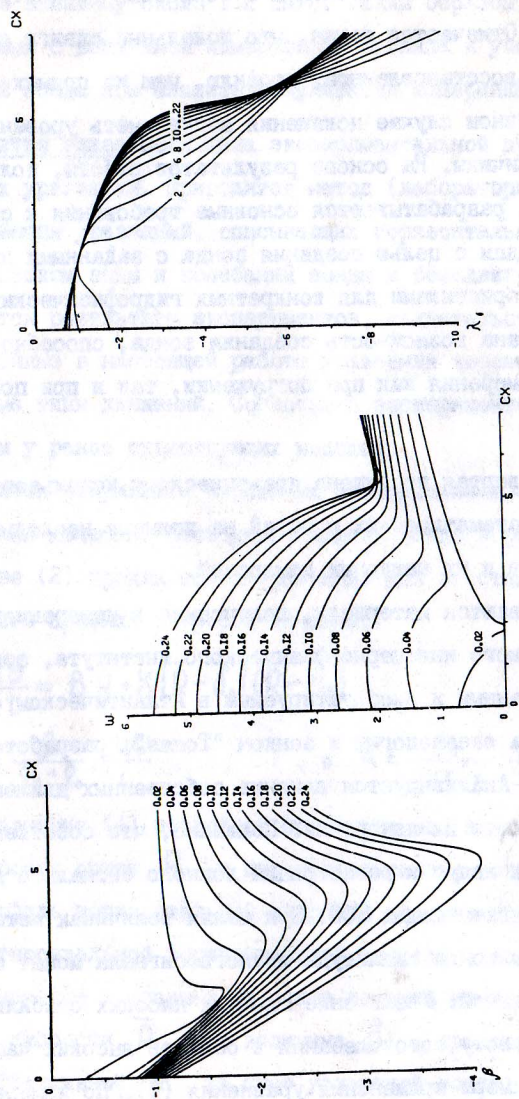


Рис. 1

Зависимость характеристик колебаний зонда от его продольного сопротивления  $C_x$  и относительной метacentрической высоты  $\beta$ :  $\lambda_1$  - параметр затухания аperiodических колебаний,  $\beta$  - параметр затухания периодических колебаний,  $\omega$  - частота свободных колебаний.

нальной составляющих. Сравнение профилей с показаниями измерителей течений, установленных на автономной буйковой станции (АБС), дало хорошее совпадение в контрольных точках (горизонты измерений на АБС). Кроме того, обнаружено совпадение основных особенностей на профиле скорости течений с неоднородностями в термохалинной структуре. Анализ показал, что верхний квазиоднородный слой (до глубины  $\sim 90$  метров) охвачен течением, имеющим направление  $\sim 160^\circ$  практически по всей его толщине. Скорость течения в пределах этого слоя менялась довольно существенно, имея максимум около 80 см/с на поверхности и минимум около 10 см/с на нижней границе слоя.

В термоклине обнаружено два квазиоднородных по солености слоя толщиной 35 и 15 метров, движущихся во взаимно перпендикулярных направлениях. Толщина градиентных прослоек на границах слоев варьирует от 2 до 5 метров. Сдвиги скорости в прослойках достигают  $0,06 \text{ с}^{-1}$ . Оценки числа Ричардсона ( $Ri \approx 0,3$ ) указывают на возможную их турбулизацию. Еще более тонкие ( $\sim 1\text{м}$ ) прослойки с высокими значениями сдвига скорости течения зарегистрированы зондом "Баклан" на нижней границе верхнего квазиоднородного слоя в Балтийском море. Достоверная регистрация сдвиговых прослоек таких вертикальных масштабов возможна только с помощью свободнопадающих зондов.

В более глубоких слоях ниже термоклина изменчивость течений как по величине скорости, так и по направлению значительно уменьшалась. На всем профиле скорости течения помимо основных особенностей, описанных выше, просматривается наличие изменчивости с масштабами 20+69 метров. Аналогичная структура наблюдалась Журбасом В.М. (Журбас В.М., 1982) и объяснялась как проявление внутренних волн.

При расчетах по натурным данным показано, что при определении вертикальных сдвигов скорости течений учет движений зонда необходим. Без такого учета искажения могут быть весьма значительны. Так, при шаге по глубине 0,75м искажения составляют  $\sim 50\%$  при значении сдвига до  $0,04+0,06 \text{ с}^{-1}$ . При более крупном шаге, около 4м, что равняется длине зонда, уровень искажений составляет  $\sim 100\%$ , а иногда и того выше. На масштабах, много больших размеров зонда, определить сдвиг без учета собственных движений зонда невозможно, т.к. искажения становятся доминирующими.

В Заключении обобщены основные результаты и выводы диссертации.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основе имеющихся данных по ТСС для реального океана в качестве наиболее характерных параметров можно принять вертикальный масштаб неоднородностей порядка 10м с присущими ему значениями сдвига  $0,04+0,06 \text{ с}^{-1}$ . На больших масштабах за характерный можно принять сдвиг  $0,01 \text{ с}^{-1}$ .

2. При изучении тонкой структуры скорости течений свободнопадающими зондами необходим учет влияния их собственных движений, поскольку временные и пространственные масштабы этих помех лежат в диапазоне масштабов ТСС.

3. Даны рекомендации по конструированию свободнопадающих зондов. Для исследования ТСС целесообразно применять зонды со щеточным оперением с коэффициентом продольного сопротивления около 2+3. Не следует стремиться к слишком большой относительной метacentрической высоте (более 0,1).

4. Показана возможность разработки зонда челночного типа, способного производить измерения как в режиме погружения, так и в режиме последующего всплытия.

5. Показано, что с помощью предложенной простой математической модели можно восстановить полный профиль горизонтальной скорости течения, включая ТСС, по показаниям свободнопадающего зонда.

6. В зоне Гвианского течения (экваториальная часть Атлантического океана) вертикальная изменчивость скорости течений отличается наличием волн декаметровой длины (20+60 метров), обусловленных влиянием внутренних волн.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Разживин В.А. Об использовании свободнопадающих зондов для исследования поля течений в океане. - Деп. ВИНТИ, 1984, № 5418-84, 13 с.
2. Разживин В.А. Математическая модель восстановления профиля скорости течения по показаниям свободнопадающего зонда. - В кн.: Проблемы гидромеханики в освоении океана, 1984, часть ПБ, Киев, с. 66-68.
3. Набатов В.Н., Разживин В.А. Выбор конструктивных параметров свободнопадающего зонда для исследования микроструктуры гидрофизических полей в океане. - В кн.: Технические средства изучения и освоения океана: тезисы доклада на У Всесоюзной конференции, Ленинград, вып. 2, с. 42.

4. Набатов В.Н., Разживин В.А. Характеристики неустановившегося движения свободнопадающего зонда. - Сборник тезисов докладов Всесоюзного совещания по техническим средствам и методам изучения океанов и морей, Москва, 1985, с. 105-106.
5. Набатов В.Н., Разживин В.А. Движение свободнопадающего зонда в потоке со сдвигом скорости. - Океанология, 1986, т. 26, вып. 5, с. 843-848.
6. Разживин В.А. Амплитудно-частотные характеристики свободнопадающих зондов. - В кн.: Технические средства и методы исследования Мирового океана. М., 1987, т. I, с. 85-86.
7. Разживин В.А., Набатов В.Н. Эмпирический метод инерционных характеристик объектов в сдвиговом потоке. - Морской гидрофизический журнал, 1987, № 4, с. 59-61.
8. Разживин В.А. Восприимчивость свободнопадающего зонда к воздействию окружающей среды. - Материалы IV Республиканской конференции по прикладной гидромеханике, часть II, Гидродинамика средств освоения и изучения океана, Киев, 1987.
9. Набатов В.Н., Разживин В.А. Некоторые вопросы динамики свободнопадающих зондов. - Материалы III-го съезда советских океанологов, 14-19 декабря 1987г. Микроструктура океана и турбулентность. Ленинград, 1987, с. 77-78.
10. Набатов В.Н., Разживин В.А. Характеристики неустановившегося движения свободнопадающего зонда. - Океанология, 1987, т. 27, вып. 6, с. 1028-1032.

Подписано к печати 13.07.88 КУ 03182. Формат 60×84/16. Объем 1,25. Зак. 883.  
Тир. 100 экз.  
Типография издательства «Калининградская правда», 236000, г. Калининград  
(обл.), ул. К. Маркса, 18.