

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Зори А. А., Савкова Е. О.

Донецкий национальный технический университет, факультет КИТА

Abstract

Zori A.A., Savkova E.O. Using simulation modelling for determination characteristics of small-scale turbulence. The problem of small-scale turbulence characteristics simulation use for sounding characterization is considered in this article. The developed system allows the probe sinking speed or sensors readout frequency tuning in order to increase the accuracy of the experimental data, describing subjected to turbulence layers.

Постановка проблемы исследования тонкой структуры гидрофизических полей океана

Особенностью исследования океанографических процессов является переработка большого количества информации, обусловленного случайным характером этих процессов. Такие исследования требуют одновременного применения значительного числа датчиков и измерительных приборов, размещенных в различных точках океанических водных масс. Все это вызывает большие материальные затраты и ставит границы практической осуществимости как самих измерений, так и обработки их результатов даже при применении ЭВМ. Поэтому при организации измерений физических процессов в океане важно решить задачу получения необходимых представлений об этих процессах на основе минимального количества измеряемой информации. Организованная таким образом система получения и обработки океанографической информации будет оптимальной. Ее нельзя создать без глубоких представлений о механизме явлений и процессов в океане, а эти представления, в свою очередь, невозможно получить без измерительных приборов и автоматизированных методов обработки. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений в современном понимании базируются на использовании в качестве технических средств исследований специализированных автоматизированных систем сбора, передачи и обработки океанографической информации.

Изучение океанографических полей в масштабах всего океана основывается на наблюдениях многих экспедиций, проводившихся на протяжении длительного времени судами различных стран. Для того, чтобы выполняемые при этом наблюдения могли использоваться для построения карт и атласов, являющихся основной формой представления информации об океанографических полях, необходимо измерения проводить по одной и той же методике в течение длительного времени. При этом наблюдения приобретают «стандартный» характер.

Цель и задачи исследования тонкой структуры гидрофизических полей океана

Целью данной работы является разработка методики моделирования профилей гидрофизических параметров, обеспечивающую получение достоверной информации о тонкой структуре гидрофизических полей океана при минимальных объеме данных и времени проведения эксперимента.

Поставленная цель требует решения следующих задач:

- анализ и обоснование математических моделей вероятностных распределений параметров мелкомасштабной турбулентности;
- определение скорости зондирования или частоты опроса датчиков на основании принятой имитационной модели распределения параметров мелкомасштабной турбулентно-

сти;

- формирование базы данных полученных результатов.

Разрабатываемая методика позволит получать и систематизировать информацию о распределении мелкомасштабной турбулентности в океане, при этом:

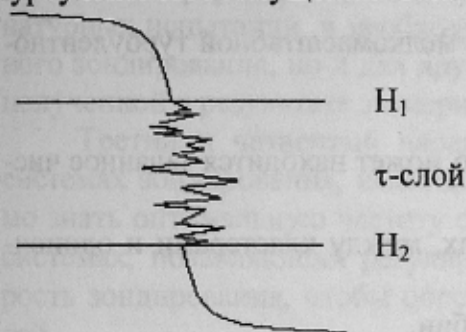
- будет снижен уровень избыточности данных на этапе измерений;
- уменьшится время зондирования, что способствует использованию экспедиционного судна для решения других не менее важных задач комплексного эксперимента;
- уменьшатся материальные затраты на проведение экспериментальных исследований.

Основные параметры, характеризующие мелкомасштабную турбулентность

Мелкомасштабная турбулентность при вертикальном зондировании характеризуется следующими параметрами:

- количество турбулентных возмущений в заданном диапазоне глубин;
- вертикальные размеры турбулентных возмущений;
- расположение турбулентных возмущений относительно друг друга по глубине.

Под толщиной турбулизированного слоя (вертикальный размер возмущения) понимается разность глубин ($H_2 - H_1$), в пределах которых амплитуда пульсаций превышает нулевой уровень (рис. 1), что можно определить при вертикальном зондировании. Толщина турбулентного слоя, как и величина пульсаций в нем, может служить параметром для сравнения турбулентных возмущений. Такой слой называют τ -слой.



Как показано в [1], статистические совокупности геометрических размеров турбулентных возмущений и вертикальных измерений скорости течения хорошо описываются одно и двух параметрическими экспоненциальными распределениями. Это обусловлено удачно выбранными масштабами пространственного осреднения результатов измерений τ -слоев.

Выбор масштабов в свою очередь определяется целями исследования и техническими возможностями измерительной аппаратуры.

Совокупности малых расстояний, характерных для кластеров, представляются экспоненциальным распределением с одним параметром:

Рисунок 1 – Турбулизированный слой

делением с одним параметром:

$$F_2(h_2) = 1 - \exp(-\beta * h_2), \quad (1)$$

где β - параметр распределения;

h_2 - расстояние между τ -слоями в кластере.

Двухпараметрические экспоненциальные распределения описывают разнообразие толщин слоев с относительно более высокими скоростями течения:

$$F_3(h_3) = 1 - \exp[-\gamma * (h_3 - h_0)], \quad (2)$$

где h_3 - расстояние между кластерами и одиночными τ -слоями;

γ и h_0 - параметры распределения.

По статистическим данным $h_0 \approx 20$ м. Возможно это минимальная толщина τ -слоя с относительно более высокой скоростью течения [3]. Начиная с такой толщины τ -слой приобретает устойчивость во времени; сумма $\gamma^{-1} + h_0$ характеризует среднюю толщину слоев с

повышенной скоростью течения, на границах которых можно ожидать генерацию турбулентности.

Функция распределения толщин слоев также имеет вид:

$$F_1(h_1) = 1 - \exp(-a * h_1), \quad (3)$$

где α – параметр распределения,

h_1 – толщина τ -слоя.

Параметры a, β и γ , в свою очередь, являются случайными величинами, условная плотность вероятности которых описывается зависимостью:

$$g_2(\mu / k, \sum_{i=1}^k h_i) = \frac{(\sum_{i=1}^k h_i)^k}{(k-1)!} * \mu^{k-1} * \exp(-\mu * \sum_{i=1}^k h_i), \quad (4)$$

где μ – общее обозначение параметров a, β или γ ;

k – число измерений;

$\sum_{i=1}^k h_i$ – сумма толщин τ -слоев либо расстояний между ними.

Значения k и $\sum_{i=1}^k h_i$ – приведена в таблицах /2/. Вычисления этих параметров выполнены

на основании данных большого объема предварительных зондирований на протяжении всего времени исследований океана.

Таким образом данные о вертикальной структуре поля мелкомасштабной турбулентности сводится к определению:

- распределений толщин τ -слоев
- определение толщины слоя воды, в границах которого может находиться заданное число τ -слоев;
- определению расстояний между τ -слоями в кластерах, между кластерами и одиночными τ -слоями;
- определению числа τ -слоев в заданном диапазоне глубин.

Разработка алгоритма определения параметров мелкомасштабной турбулентности

Основой методики этих расчетов служит имитационное моделирование процесса вертикального зондирования. Алгоритм имитационного моделирования состоит из следующих шагов:

- 1) выбор типа параметра распределения расстояний между τ -слоями: β с вероятностью p или γ с вероятностью $(1-p)$;
- 2) моделирование конкретного значения параметра β или γ как случайной величины для распределения расстояний между τ -слоями /используются плотности вероятностей β или γ типа (4);
- 3) моделирование конкретного значения расстояния h_2 или h_3 до τ -слоя с помощью распределений (1) или (2) с параметром, полученным на втором шаге;
- 4) моделирование конкретного значения параметра α как случайной величины для распределения толщины τ -слоя (3), используя выражения для плотности вероятности α из (4);
- 5) моделирование конкретного значения толщины τ -слоя h_1 , описываемой распределением (3);
- 6) определение глубины залегания очередного τ -слоя $z_i = z_0 + h_2$ (или h_3). Определе-

ние нижней границы (начальное значение глубины) для следующего цикла моделирования

$$z_{0,i+1} = z_i + h;$$

7) проверка условия: если $z_{0,i+1} \geq Z$ (нижняя граница глубины для моделирования), то моделирование прекращается. В противном случае повторяется цикл, начиная с шага 1.

Из последовательности шагов алгоритма видно, что его практическое применение базируется на знании оценок параметров α, β и γ в формулах (1)-(3) и их плотностей вероятностей, вычисленных по формулам типа (4).

Оценки этих параметров рассчитываются по данным предыдущих зондирований в том регионе океана, где планируется проведение гидрофизических исследований. Результаты расчетов для некоторых акваторий приведен в литературе /2/.

При определении стратегии проведения гидрофизического эксперимента, целью которого является сбор данных о тонкой структуре полей океана, необходима информация о:

1. регионе (акватории) океана, где проводятся исследования;
2. глубине зондирования;
3. скорости зондирования;
4. частоте опроса датчиков;
5. интервале зондирования по глубине для стационарного слоя;
6. интервале зондирования по глубине для прослоек с мелкомасштабной турбулентностью;

Эта информация должна быть определена при настройке системы перед проведением натуральных испытаний, и необходима не только для задачи определения стратегии вертикального зондирования, но и для других программных модулей, предназначенных для обработки полученной в результате эксперимента информации.

Третий и четвертый параметры являются взаимозаменяемыми. В информационных системах зондирования, имеющих средства управления скоростью зондирования необходимо знать оптимальную частоту опроса датчиков для определения скорости зондирования. В системах, позволяющих регулировать частоту опроса датчиков, необходимо задавать скорость зондирования, чтобы определить дискретность опроса измерительных преобразователей.

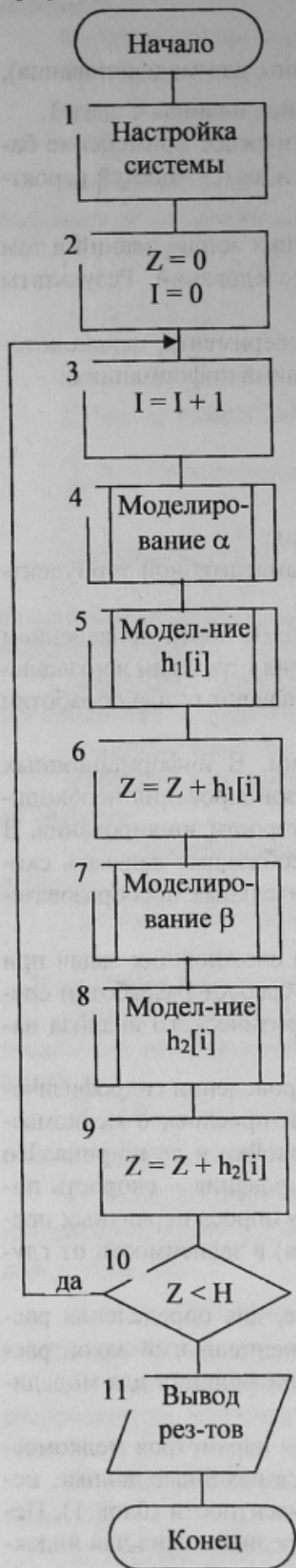
Автоматическое определение особых точек и слоев – одна из сложнейших задач при первичной обработке океанографических наблюдений. Ее решение требует разработки специальных приемов. То же самое следует сказать и в отношении критического анализа наблюдений во время их первичной обработки.

Для определения стратегии вертикального зондирования при проведении гидрофизического эксперимента необходимо получить данные о распределении прослоек с мелкомасштабной турбулентностью по глубине, т.е. глубина залегания прослойки и ее ширина. По этим данным программный модуль просчитывает параметры зондирования – скорость погружения зонда (для систем с регулированием скорости) или частоту опроса первичных преобразователей (для систем, позволяющих управлять частотой опроса) в зависимости от глубины.

Как видно из методики моделирования, представленной выше, для определения расстояний между τ -слоями и толщины прослоек используется экспоненциальный закон распределения (1 – 3). Поэтому в программе использован метод обратной функции для моделирования случайной величины/4/.

На рис. 2 представлен алгоритм имитационного моделирования параметров мелкомасштабной турбулентности. Перед проведением эксперимента задаются исходные данные, необходимые для моделирования параметров тонкой структуры турбулентности (блок 1). Переменная Z определяет текущее значение глубины, а переменная I предназначена для индексации значений. Блоки 3-9 образуют тело цикла, в котором моделируется параметр α по

формуле 4 (блок 4) с вероятностью 0,99. Далее с использованием полученного значения по формуле 10 моделируется значение расстояния до очередного τ -слоя (блок 5). Эти два действия повторяются (блоки 7, 8) для определения толщины слоя. В блоках 6 и 9 подсчитывается значение глубины. Если выполнено моделирование для всего заданного диапазона глубин (блок 10), то моделирование заканчивается и производится вывод параметров зондирования по слоям (блок 11).



Программа разработана с использованием объектно-ориентированного языка программирования Borland Delphi. Результаты моделирования, полученные с помощью этой программы, приведены в таблице 1. Во втором столбце этой таблицы показаны экспериментальные данные о распределении турбулизированных прослоек, приведенных в /2/.

Эта же информация представлена в виде диаграмм на рис.3.

Анализ результатов моделирования

Анализ полученных значений параметров распределения турбулизированных прослоек показал, что расхождение результатов моделирования и данных, приведенных в литературных источниках составляет менее 5 %, что является удовлетворительным при определении стратегии проведения вертикальных зондирований океанических водных масс. При этом измерения параметров в слоях с мелкомасштабной турбулентностью согласно данным моделирования не приведет к потере информации, поскольку на рисунке видно перекрытие прослоек, вычисленных по модели, и прослоек, полученных в процессе измерений. Следовательно, предлагаемая методика может быть использована при гидрофизических исследованиях.

Использованные источники

1. Парамонов А. Н. Автоматизация гидрофизического эксперимента. Л.: Гидрометеиздат. – 1982. – 224 с.
2. Поздынин В. Д. Элементы вероятностного описания мелкомасштабной турбулентности в океане. Л.: Гидрометеиздат. –1989. – 52 с.
3. Белоцерковский О. М., Опарин А. М. Численный эксперимент в турбулентности: от порядка к хаосу. М.: Наука. - 2000. – 222 с.
4. Бусленко Н. П. Математическое моделирование производственных процессов. М.: Наука. – 1964. – 312 с.

Рис. 2 – Алгоритм имитационного моделирования параметров мелкомасштабной турбулентности

Таблиця 1 – Результати моделювання параметрів τ -слоев и данные измерений

Результаты моделирования		Данные измерений	
Глубина залегания τ -слоя	Толщина τ -слоя	Глубина залегания τ -слоя	Толщина τ -слоя
2,350	0,944	2	2
5,575	5,431	18	4
14,618	3,796	30	6
20,529	0,753	39,5	4
25,111	2,487	44	1
31,411	1,138	46	3
32,804	5,880	54	1
40,271	3,493	60	7
47,370	0,450	69	3
57,160	1,322	72	2
59,606	7,561	75	3,5
69,990	7,526	82	5
79,098	0,398	88	2,5
83,390	7,467	97	4
91,789	3,790	109	19
95,900	0,991	129,5	8,5
97,303	0,379	141	6
99,068	0,133	149	2
99,840	4,628	159	3
105,336	2,443	165	4
109,915	1,764	171	2,5
111,937	2,236	176	2
119,891	0,617	179	7
124,971	1,520	186	1
127,270	5,022	190	2,5

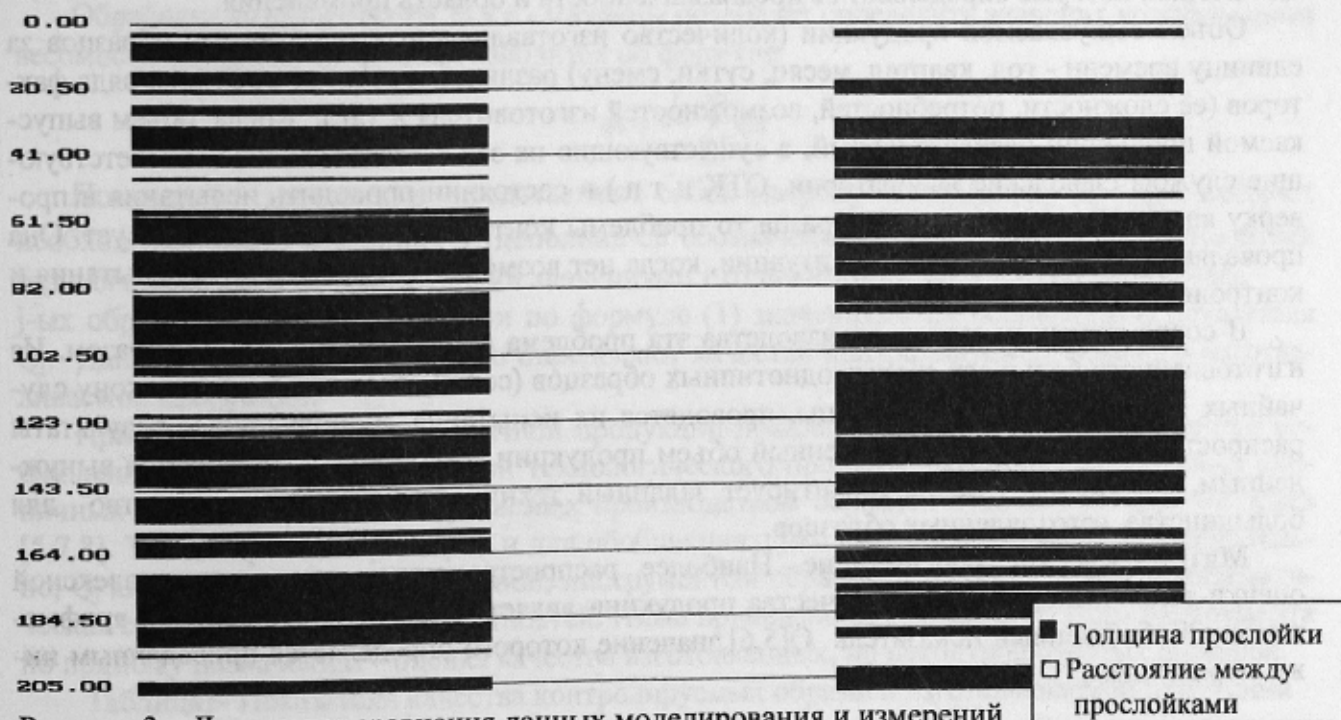


Рисунок 3 – Диаграмма сравнения данных моделирования и измерений