УДК 627.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Е.О. Савкова*, О.В. Ченгарь

* Донецкий национальный технический университет
Украина, г. Донецк, ул. Артема, 58
E-mail: helen-savkova@rambler.ru
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: OVChengar@sevsu.ru

В статье предложен метод для выбора параметров структурных элементов компьютеризированной системы мониторинга, который позволяет определять конфигурацию системы исследований до проведения измерений в заданном водном регионе. Такая система позволит получать информацию о гидрофизических параметрах водной среды с заданной точностью, учитывая их микроструктуру.

Актуальность мониторинга неоднородностей гидрофизических параметров водной среды. Исследование структуры деятельного слоя водных пространств: океанов, морей, озер, водохранилищ, рек и прудов – в последнее время приобрело особую актуальность. Это связано с тем, что деятельный слой водной среды является зоной наиболее активных физических процессов и образует основную сферу жизнедеятельности разных живых организмов. Моделирование его структуры представляет непосредственный интерес для океанического рыбного промысла, подводного мореплавания, разведки шельфов, гидроакустики и т.п. Исследование характеристик пограничного слоя водной среды является одним из самых важных этапов в построении модели циркуляции атмосферы, необходимой для математических методов прогноза погоды. Численные долгосрочные прогнозы погоды сейчас находятся на такой стадии, на которой их дальнейшее усовершенствование возможно лишь с учетом влияния на атмосферу водной среды, как могущественного инерционного аккумулятора тепла. Итак, регулярность исследования процессов в водной среде, и особенно в его верхнем деятельном слое, приобретает исключительную важность.

Численные измерения профилей основных термодинамических характеристик водных пространств показывают, что океан почти повсеместно представляет собой тонко стратифицированную среду, в которой существуют сравнительно однородные по свойствам слои толщиной от десятков метров до десятков сантиметров, разделенные тонкими граничными прослойками с резкими изменениями термодинамических характеристик [1].

Учитывая многопараметрический и непостоянный характер физических процессов, которые протекают в океане, современный гидрофизический эксперимент требует, как правило, комплексного подхода. В современной океанографии основными средствами исследования являются автоматизированные системы сбора, передачи, обработки и хранения результатов наблюдений [2]. На вход таких систем поступает информация о разных гидрофизических величинах, которые измеряются датчиками. Исходной информацией являются данные, как о непосредственно наблюдаемых полях, так и о вычисленных с помощью уравнений на основе данных предыдущих наблюдений. Эта информация может формироваться в виде массивов, таблиц и графиков.

В настоящее время на вооружении океанологов и гидрофизиков находится большой арсенал разного рода зондирующих [3, 4], буксируемых [5], и автономных многоканальных измерительных гидрофизических систем [6, 7]. По способам применения системы делятся на вертикально-зондирующие, горизонтально-зондирующие и размещаемые на подводных аппаратах, буях. Однако,

большей частью они непременно оснащиваются каналами измерения основных гидрофизических параметров – температуры, удельной или относительной электрической проводимости, гидрофизического давления и скорости. Однако, существующие вертикально-зондирующие системы не позволяют целенаправленно получать данные о мелкомасштабной турбулентности и параметрах слоистой структуры водной среды с необходимыми метрологическими характеристиками. В связи с этим возникает задача разработки аппаратных и программных средств, которые обеспечивают измерение параметров турбулентных слоев с достаточной дискретностью по глубине для восстановления информации о гидрофизических полях с погрешностью, не превышающей заданную.

В результате анализа принципов мониторинга основных параметров [8] установлено, что при разработке систем мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды необходимо учитывать план проведения экспериментов. Проведенные исследования показали необходимость разработки структурно-алгоритмической организации системы мониторинга неоднородностей гидрофизических полей водной среды, которая включает модели, методы и алгоритмы для определения характеристик распределения мелкомасштабной турбулентности по глубине, на основании которых осуществляется планирование экспериментальных исследований с минимальными экономическими затратами.

В статье [9] предложена объектно-эволюционная модель информационно-измерительных систем и разработанный на ее основе алгоритм имитационного моделирования процесса вертикального зондирования. Рассмотрено использование модели и алгоритма для определения структуры системы мониторинга гидрофизических полей водной среды, с помощью которой можно получить достаточный не избыточный объем данных за минимальное время зондирования с заданной точностью.

Постановка задачи. На основе выполненного структурно-алгоритмического анализа информационно-измерительной системы мониторинга гидрофизических параметров водной среды, которая учитывает неоднородности исследуемых полей, и предложенной функциональной схемы системы мониторинга [10, 11] необходимо:

– разработать метод и алгоритм определения параметров конфигураций системы мониторинга неоднородностей гидрофизических полей водной среды, которые позволят выбрать структуру системы, удовлетворяющую предложенному критерию эффективности ее функционирования;

– провести исследование предложенной структурно-алгоритмической организации системы мониторинга неоднородностей гидрофизических полей водной среды на разных наборах тестовых данных и с использованием плана зондирования и модели глубины залегания квазиоднородного слоя [8].

Цель статьи: определение параметров структурных элементов компьютеризированной системы мониторинга неоднородностей гидрофизических полей, которые удовлетворяют заданному критерию эффективности.

Выбор методов определения оптимальной структуры системы мониторинга. Предлагается алгоритм, в котором выполняется перебор возможных вариантов параметров структурных элементов системы, влияющих на ее функционирование, а, следовательно, и на значение критерия эффективности. В качестве критерия эффективности функционирования информационно-измерительной системы мониторинга выбрана функция стоимости эксперимента, аргументами которой являются скорость зондирования V и интервал опроса датчиков Δt (1):

$$S = f(V, \Delta t) \longrightarrow min \quad (1)$$

при ограничении на погрешность системы (2):

$$\sigma \leq \sigma_{зад} \quad (2)$$

где $\sigma_{зад}$ – заданная погрешность измерений.

Для заданного набора параметров реализуется имитация процесса зондирования на основе некоторого тестового набора вертикальных профилей гидрофизических параметров для конкретной акватории океана, которые получены в результате предыдущих зондирований среды. В результате определяется время проведения эксперимента, объем полученной информации, погрешность измерений и стоимость системы.

Из всех возможных вариантов информационной измерительной системы выбираются те конфигурации, которые позволяют выполнить измерения с заданной погрешностью, то есть удовлетворяют ограничению (2), а потом определяется конфигурация с минимальной стоимостью оборудования и реализующая измерения за минимальный срок.

Решение поставленной задачи. В качестве параметров, перебор значений которых реализован в алгоритме, использованы: инерционность датчиков температуры, количество инерционных датчиков, расстояние между однотипными инерционными датчиками на гребенке, минимальная скорость двигателя, дискретность регулирования скоростью зондирования.

Если для каждого измерительного параметра использовать 10 разных значений, тогда полный перебор вариантов составит 10^5. Для каждого варианта необходимо выполнить моделирование процесса вертикального зондирования водной среды для получения данных о разных гидрофизических параметрах. Как правило, процесс моделирования требует порядка 40-60 реализаций для получения некоторых усредненных характеристик. То есть, необходимо выполнить моделирование процесса зондирования для разных вертикальных профилей (от 40 до 60 шт.), при этом желательно их разбивать на группы по участкам океана, сезонам и временам суток. Таким образом, для получения данных о системе мониторинга с одним набором параметров надо выполнить моделирование процесса зондирования разных профилей гидрофизических параметров 120–180 раз. Время выполнения одного моделирования составляет около 4 сек. (120 реализаций – 8 мин.). Тогда полный перебор 10^5 вариантов будет выполняться до 555 дней. При росте числа значений каждого варьируемого параметра эта величина будет увеличиваться.

Уменьшение времени моделированиия возможно путем определения значимых параметров и взаимовлияющих параметров. Для этого был использован метод факторного плана [12], который позволяет определить, какие из параметров структурных элементов имеют самое большое влияние на показатели работы, а также, какой набор параметров системных элементов позволит получить оптимальные характеристики системы (стоимость, время эксперимента, объем информации, погрешность измерений).

Согласно стратегии факторного плана типа 2^k в качестве уровней для каждого фактора выбраны такие:

– инерционность датчиков температуры iner: 0,3 – 0,8 с;

– количество инерционных датчиков K: 3 – 7;

– расстояние между датчиками на гребенке dr: 5 – 20 см;

– минимальная скорость двигателя Vmin: 0,5 –1 м/с;

– дискретность регулирования скоростью dv: 0 – 0,1 м/с.

Нижний уровень обозначен –1, верхний +1.

В качестве откликов системы приняты: стоимость оборудования Sob, время зондирования T, погрешность ε и стоимость с учетом оплаты эксперимента S.

В табл. 1 приведены результаты имитационного моделирования функционирования разных конфигураций системы мониторинга поля температуры для Черного моря в августе месяце с помощью факторного плана типа 2^k. В колонках «Стоимость» за единицу принята минимальная стоимость оборудования, другие значения приведены относительно минимального. Стоимостные показатели довольно относительные, потому что на

их значения влияют такие показатели, как конкуренция, спрос на рынках, оптовые закупки и т.д.

Анализ главных эффектов позволяет сделать вывод о том, что изменение расстояния между датчиками абсолютно не влияет на стоимость оборудования, но существенно влияет на время проведения зондирования (с увеличением расстояния увеличивается время проведения эксперимента) и на погрешность измерений, так как допускает пропуск турбулентных всплесков, которые не учитываются в процессе измерений.

Таблица 1

Матрица факторного плана типа 2^k

Точка плана	Фактор					Отклик			
	K	dr	iner	Vmin	dv	Sob	T	ε	S
1	-1	-1	-1	-1	-1	14,00	200,01	2,95	309,35
2	-1	-1	-1	-1	1	23,00	352,09	1,92	543,47
3	-1	-1	-1	1	-1	17,00	100,00	6,33	161,34
4	-1	-1	-1	1	1	53,00	352,09	1,92	563,47
5	-1	-1	1	-1	-1	7,75	200,01	7,41	305,18
6	-1	-1	1	-1	1	16,75	622,04	2,08	944,22
7	-1	-1	1	1	-1	10,75	100,00	19,24	157,17
8	-1	-1	1	1	1	46,75	622,04	2,08	964,22
9	-1	1	-1	-1	-1	14,00	200,01	2,97	309,35
10	-1	1	-1	-1	1	23,00	352,09	2,88	543,47
11	-1	1	-1	1	-1	17,00	100,00	5,40	161,34
12	-1	1	-1	1	1	53,00	352,09	2,88	563,47
13	-1	1	1	-1	-1	7,75	200,01	5,90	305,18
14	-1	1	1	-1	1	16,75	622,04	2,61	944,22
15	-1	1	1	1	-1	10,75	100,00	13,27	157,17
16	-1	1	1	1	1	46,75	622,04	2,61	964,22
17	1	-1	-1	-1	-1	27,33	200,01	2,30	318,24
18	1	-1	-1	-1	1	36,33	259,12	2,03	412,90
19	1	-1	-1	1	-1	30,33	100,00	2,60	170,23
20	1	-1	-1	1	1	66,33	259,12	2,03	432,90
21	1	-1	1	-1	-1	12,75	200,01	2,57	308,51
22	1	-1	1	-1	1	21,75	375,20	2,02	577,31
23	1	-1	1	1	-1	15,75	100,00	9,55	160,50
24	1	-1	1	1	1	51,75	375,20	2,02	597,31
25	1	1	-1	-1	-1	27,33	200,01	11,25	318,24
26	1	1	-1	-1	1	36,33	352,09	7,37	552,36
27	1	1	-1	1	-1	30,33	100,00	12,43	170,23
28	1	1	-1	1	1	66,33	352,09	9,27	572,36
29	1	1	1	-1	-1	12,75	200,01	15,80	308,51
30	1	1	1	-1	1	21,75	622,04	11,23	947,55
31	1	1	1	1	-1	15,75	100,00	16,56	160,50
32	1	1	1	1	1	51,75	622,04	11,23	967,55
Главные эффекты	9,17	0	-10,42	16,5	22,5	По стоимости оборудования			
	-42,48	42,48	115,74	-49,98	294,58	По времени			
	2,89	4,35	2,59	1,83	-3,49	По погрешности			
	-57,6	63,7	166,7	-64	456,9	По общей стоимости			

Стоимость системы и время зондирования увеличиваются при использовании двигателя с возможностью регулирования скорости зондирования. На снижении стоимости сказывается использование инерционных датчиков температуры, но это также приводит к увеличению времени эксперимента и погрешности измерений.

Время эксперимента уменьшается при использовании большего числа датчиков или двигателя с большей скоростью зондирования. При этом увеличение второго фактора приводит к ощутимому увеличению погрешности измерений.

Общая стоимость эксперимента по данным таблицы снижается при увеличении количества инерционных датчиков, что объясняется уменьшением времени зондирования. Такой же эффект получается при увеличении скорости зондирования. Использование регулируемого двигателя приводит к существенному удорожанию системы. Повышение стоимости при использовании датчиков большей инерционности является результатом взаимодействия этого фактора с другими.

Интересным является вывод о влиянии на отклики системы увеличения количества инерционных датчиков. Должна была снизиться погрешность, что не наблюдается по результатам проведенных экспериментов с использованием факторного плана. В связи с этим была разработана другая матрица факторного плана для проверки увеличения количества инерционных датчиков от 1 до 3. Также при использовании одного датчика расстояние между датчиками равнялось 0, а при использовании 3 датчиков уровни расстояния приняты 3 см и 20 см соответственно. Значения уровней других факторов использованы такие же, что и в первой матрице. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что внесение изменений в количество датчиков от 1 до 3 существенно уменьшает погрешность измерений, которая свидетельствует об ухудшении результатов измерений при дальнейшем увеличении количества датчиков, или наблюдается сильное взаимодействие этого фактора на верхнем уровне с другими факторами. Кардинально изменились результаты главного эффекта для общей стоимости системы, а именно увеличение количества инерционных датчиков или их инерционности приводит к удорожанию системы. Если первое понятно, то второе является результатом взаимодействия с другими факторами. Влияние других факторов, кроме фактора расстояния между датчиками, остается таким же. Тот факт, что результаты главного эффекта от изменения фактора расстояния не ясны, объясняется тем, что для одного датчика этот фактор не учитывался.

Дополнительную информацию, которая позволит оценить степень взаимодействия отдельных факторов дает количественная оценка эффекта взаимодействия факторов (см. табл. 2). Результаты табл. 2, полученные на основании данных из табл. 1, и позволяют сделать вывод о том, что на стоимость системы факторы влияют только попарно, за исключением двух вариантов: количество датчиков/скорость зондирования и количество датчиков/ расстояние между ними.

Это позволило построить поверхности откликов «Стоимость» от двух параметров. Из всех вариантов взаимодействия двух факторов было выбрано:

– расстояние между датчиками, инерционность датчиков;

– расстояние между датчиками, скорость двигателя;

– инерционность датчиков и скорость зондирования.

Такой выбор объясняется тем, что влияние этих пар факторов и на другие отклики системы дает положительный эффект. Поэтому были построены поверхности отклика общей стоимости системы от тех самых пар факторов. Примеры графиков поверхностей откликов предоставлены на рис. 1. Для построения поверхностей на рис. 1 использованы следующие значения факторов: 2 инерционных датчика, двигатель без регулирования скорости с допустимой скоростью зондирования 0,5 м/с.

Были построены графики поверхностей откликов для разных пар значений факторов. Причем моделирование проводилось при условии использования

двигателя без регулирования скорости зондирования, так как этот фактор косвенно задействован при изменении значения минимально допустимой скорости двигателя.

Графики разделены на группы, в каждой из которых построение поверхностей отклика выполнялось при разных фиксированных значениях некоторого третьего параметра: для разных уровней значений скорости зондирования при использовании двух инерционных датчиков; для разного количества инерционных датчиков при постоянной скорости зондирования; для разных уровней инерционности датчиков, количество которых не менялось и равнялось 2; для разного количества датчиков с инерционностью 1 с; для разного количества инерционных датчиков, которые расположены на расстоянии 3 см один от другого.

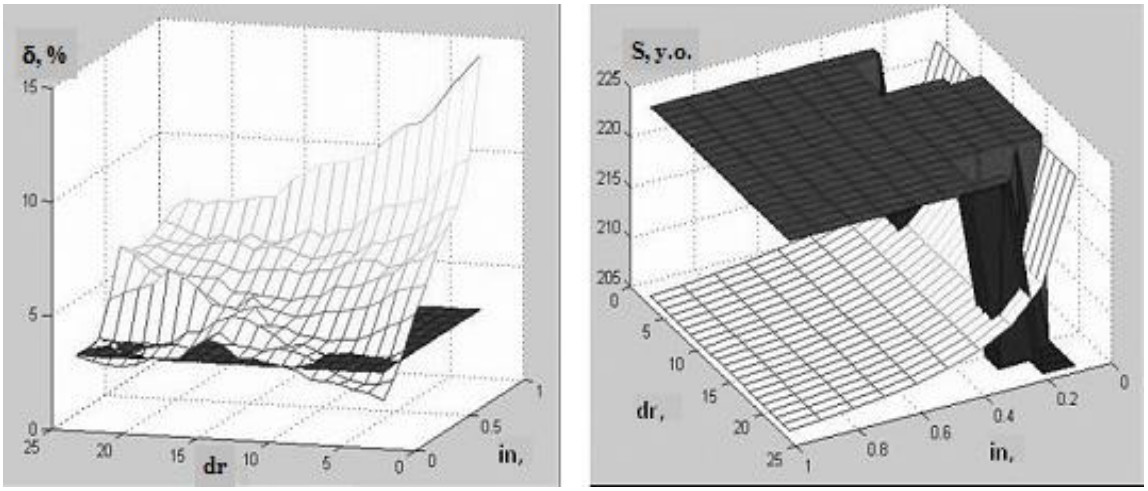
Таблица 2

Количественная оценка эффектов взаимодействия факторов

Фактор					Эффект взаимодействия		
Кол-во	Расст-ние	Иннерц.	Скорость	Рег-ровка	Стоимость	Время	Погр-ть
+	+				0	42,48	4,71
+		+			-4,17	-19,23	-0,39
+			+		0	0	-0,87
+				+	-2,81	-84,61	1,56
	+	+			-6,53	-60,4	-2,05
	+		+		-6,53	-79,63	-2,59
	+			+	-2,81	0,34	0,61
		+	+		-6,53	-79,63	-0,93
		+		+	-2,81	73,61	-2,01
			+	+	10,69	7,87	-1,62
+	+	+			0	19,23	0,92
+	+		+		0	0	0,12
+	+			+	0	42,48	-1,21
+		+	+		0	0	-0,57
+		+		+	0	-19,23	1,14
+			+	+	0	0	1,1
	+	+	+		0	0	-0,78
	+	+		+	0	19,23	0,63
	+		+	+	0	0	0,79
		+	+	+	0	0	-1,35
+	+	+	+		0	0	-0,34
+	+	+		+	0	19,23	-0,09
+	+		+	+	0	0	0,11
+		+	+	+	0	0	0,33
	+	+	+	+	0	0	0,54
+	+	+	+	+	0	0	0,11

На графике поверхности отклика погрешности измерений проведена плоскость на уровне 3% погрешности, таким образом отсечены значения, которые лежат выше этого уровня и не удовлетворяют ограничению (2). По требованиям к системе мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды погрешность измерений не может быть большей 5%. Поскольку моделирование процесса зондирования для проведения анализа влияния разных

факторов на структуру системы проведены по данным одной реализации с целью сокращения времени работы программы, то эта граница снижена до 3%. Из графика следует, что расстояние между двумя датчиками должно быть в диапазоне от 3 до 9 см, при этом инерционность датчика не может быть выше 0,2 с. На графике (рис. 1, *б*) проведена поверхность, отсекающая на графике стоимости участки, которые не удовлетворяют ограничению погрешности измерений. Это позволяет определить нижнюю границу стоимости системы при данных значениях факторов и это значение равняется 210 стоимостных единиц.



а б

Р и с. 1. Поверхность отклика погрешности измерений (*а*) и стоимости системы (*б*) от инерционности датчика и расстоянии между датчиками

Совокупность поверхностей погрешности измерений как функции расстояния между датчиками и их инерционностью, построенные для разных скоростей зондирования при использовании только двух датчиков и для скорости зондирования 1 м/с при разных количествах инерционных датчиков, показывают, что расстояние между датчиками независимо от их количества, необходимо выбирать в диапазоне 3 – 8 см, при этом инерционность не должна превышать 0,1 – 0,2 с. Из графиков следует, что система, удовлетворяющая требованиям точности измерений и имеющая наименьшую стоимость (с учетом уплаты за эксперимент), отвечает структуре: 2 датчика с инерционностью 0,1 с; двигатель с постоянной скоростью зондирования 1 м/с. При этом, стоимость такой системы будет равняться 109 стоимостных единиц. Эти выводы подтверждаются анализом других графиков и позволяют существенным образом сократить диапазоны варьирования параметров при имитационном моделировании систем мониторинга, а именно:

– инерционность датчиков температуры iner: 0,1 – 0,3 с;

– количество инерционных датчиков K: 2-3;

– расстояние между датчиками на гребенке dr: 3 – 8 см.

В системе используется двигатель, который выполняет зондирование с постоянной скоростью 1 м/с, которая характерна для современных зондирующих систем.

Для моделирования использовано 10 разных вертикальных профилей температуры, которые получены для акватории Черного моря в августе месяце и 10 моделей вертикальной структуры распределения турбулентных слоев по глу-

бине [13] для имитации процесса зондирования. Входные данные комбинировались, и было получено 100 разных результатов для каждого варианта конфигурации системы мониторинга, на основании которых рассчитаны средние показатели функционирования системы. Результаты моделирования, которые удовлетворяют ограничению погрешности измерений, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты имитационного моделирования разных конфигураций системы мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды

Кол-во датчиков	Расстояние между датчиками, см	Инерционность датчиков, с	Погрешность измерений, %	Стоимость оборудования	Общая стоимость
2	3	0,1	4.52	27	168,00
2	4	0,1	4.06	27	168,00
2	5	0,1	4.02	27	168,00
2	6	0,1	4.06	27	168,00
2	7	0,1	4.55	27	168,00
3	3	0,1	3.5	37	174,67
3	4	0,1	3.69	37	174,67
3	5	0,1	4.06	37	174,67
3	5	0,2	4.92	22	164,67
3	6	0,1	4,0	37	174,67
3	6	0,2	4.63	22	164,67
3	7	0,1	4.25	37	174,67
3	7	0,2	4.6	22	164,67
3	8	0,1	4.84	37	174,67

Заключение. На основании полученных результатов конфигурация системы мониторинга тонкой структуры гидрофизических полей водной среды должна содержать три датчика инерционностью 0,2 с, расположенных на гребенке на расстоянии 5 см друг от друга. Однако, в этом случае погрешность измерений близка к предельному значению.

Наименьшую погрешность измерений 3,5% позволяет получить система с параметрами: 3 датчика инерционностью 0,1 с, расположенных на гребенке на расстоянии 3 см друг от друга, при этом удорожание системы будет незначительным.

Предложенный алгоритм может быть использован для определения структуры измерительной системы зондирования при проведении экспериментов. Это позволит получить результаты гидрофизических параметров с заданным разделением по глубине с учетом наличия турбулентных прослоек.

Полученные результаты дают основание провести аналогичные исследования для информационно-измерительных систем с использованием плана определения стратегии зондирования на основе модели расположения квазиоднородного слоя с использованием наборов тестовых данных разных акваторий океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Климатические* изменения в системе «Атмосфера–гидросфера» / С.Г. Добровольский. – М.: ГЕОС, 2002. – 232 с.
2. *Океанология* // Средства и методы океанологических исследований / Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев [и др.]. – М.: Наука, 2005. – 795 с.
3. А.С. 618754 СССР, МКИ2 G 06 G 7/57. Устройство для вычисления параметров турбулентности / А.Д. Тищенко, А.А. Вспаши, Г.Д. Фесивский. (СССР). – № 4508789 Заявлений. 22.10.76.; Опубл. 05.08.78. – Бюл. № 29.
4. *SEALOGGER* CTD SBE 25, SBE 19, SBE 32 [Электронный ресурс]: Sea-Bird Electronics, Inc. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.seabird.com/products/spec_sheets/25data.htm – (дата обращения: 17.04. 2006). – Загл. с экрана.
5. *Результаты* океанографических исследований северной части Тихого океана по программе INPOC (1990-1993) / под ред. Г.И. Юрасова, В.В. Плотникова. – Владивосток: Дальнаука, ТОИ ДВО РАН, 1998. – 116 с.
6. *Мониторинг* морской среды на шельфе и континентальном склоне с помощью заякоренной автоматической профилирующей системы «Аквазонд» / А.Г. Островский, А.Г. Зацепин, В.А. Деревнин [и др.]. // XXII Международная береговая конференция «Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря». – 2007. – С. 85–91.
7. *Швоев Д.А.* Заякоренная автоматическая Система «Аквазонд для вертикального профилирования морской среды» // Международная конференция (школа-семинар) «Динамика прибрежной зоны бесприливных морей». – Балтийск (Калининградская область), 30 июня – 05 июля 2008. – С. 23–26.
8. *Вспаши А.А., Коренев В.Д., Хламов М.Г.* Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред. – Донецк: РИА ДонГТУ, 2000. – 388 с.
9. *Савкова Е.О.* Имитационное моделирование процесса вертикального зондирования гидрофизических полей водной среды // Вестник НТУ «Харьковский политехнический институт»: сб. научн. работ. Тематический выпуск: Информатика и моделирования. – Харьков: НТУ «ХПІ», 2010. – № 31. – С. 162–169.
10. *Вспаши А.А, Савкова Е.О.* Разработка компьютеризированной системы мониторинга гидрофизических полей водной среды // Научные работы ДонНТУ. Серия: «Вычислительная техника и автоматизация». – Донецк, 2009. – Вып. 17 (148). – С. 81–89.
11. *Вспаши А.А., Савкова Е.О.* Статистический анализ характеристик мелкомасштабной турбулентности // Научные работы ДонНТУ. Серия: «Вычислительная техника и автоматизация». – Донецк, 2008. – Вып. 14 (129). – С. 90–96.
12. *Асатурян В.И.* Теория планирования эксперимента. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
13. *Вспаши А.А., Савкова Е.О.* Итерационная математическая модель параметров распределения тонкой структуры гидрофизических полей // Материалы восьмого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы» в 3-х т. – Донецк, 2007. – Т. 3. – С. 125-131.