

УДК 004.032.3

А.А. Зори, Е.О. СавковаДонецкий национальный технический университет, г.Донецк,
кафедра электронной техники, кафедра автоматизированных систем управления**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ****Abstract**

Zori A.A., Savkova E.O. Computerized system of monitoring of aqueous medium hydrophysical fields designing. Basic functions of computerized monitoring system are marked out. Input information, the set of functional blocks, providing the data input, data processing and data storing are determined according to structural-algorithmic analysis. The algorithm consisting of act sequence implementing experiment tasks is developed. Research results can be used during monitoring system configuring and optimization criterion of the system structure determination.

Keywords: *monitoring, computer system, structural-algorithmic analysis, hydrophysical parameters, functions of the system.*

Анотація

Зорі А.А., Савкова О.Й. Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу гідрофізичних полів водного середовища. У статті визначені основні функції комп'ютеризованої системи моніторингу. Згідно методу структурно-алгоритмічного аналізу, для реалізації кожної функції визначені початкові дані, набір функціональних блоків, що забезпечують введення, обробку і зберігання інформації, а також описано алгоритм, який складається з послідовності дій, що реалізують функцію. Результати досліджень можуть бути використані при виборі варіантів конфігурації устаткування системи моніторингу і визначенні критерію оптимізації структури що враховує основні показники якості і ефективності функціонування системи.

Ключові слова: *моніторинг, комп'ютерна система, структурно-алгоритмічний аналіз, гідрофізичні параметри, функції системи.*

Аннотация

Зори А. А., Савкова Е. О. Разработка компьютеризированной системы мониторинга гидрофизических полей водной среды. В статье определены основные функции компьютеризированной системы мониторинга. Согласно методу структурно-алгоритмического анализа, для реализации каждой функции определены исходные данные, набор функциональных блоков, обеспечивающих ввод, обработку и хранение информации, а также описан алгоритм, который состоит из последовательности действий, реализующих функцию. Результаты исследований могут быть использованы при выборе вариантов конфигурации оборудования системы мониторинга и определении критерия оптимизации структуры, учитывающего основные показатели качества и эффективности функционирования системы.

Ключевые слова: *мониторинг, компьютерная система, структурно-алгоритмический анализ, гидрофизические параметры, функции системы.*

Актуальность проблемы

Шельфовые районы Мирового океана содержат основную часть его запасов полезных ископаемых; их экосистемам свойственны наибольшие биоразнообразие и

биопродуктивность. Сбалансированное, эффективное освоение живых и неживых ресурсов шельфа Мирового океана возможно лишь при условии создания систем мониторинга состояния водной среды, охватывающих наблюдениями целые регионы, попадающие под влияние этой деятельности.

Традиционное понимание мониторинга морских акваторий, в том числе и экологического, в первую очередь характеризуется сроками и периодичностью проведения практических наблюдений за различными параметрами состояния водной толщи, выполняемых непосредственно на море:

1. Эпизодические наблюдения, выполняемые без предварительной проработки сроков и программ наблюдений.

2. Регулярные съемки, которые выполняются по заранее утвержденным и согласованным научным программам, ежегодно и в одни и те же сроки, разнесенные по различным сезонам года.

3. Непрерывные наблюдения — возможны с использованием современного измерительного оборудования и систем зондирования поверхности океана.

Среди первоочередных необходимо выделить практическую реализацию гидродинамических, гидрофизических и гидрометеорологических вычислительных экспериментов, которые должны составить методологическую основу непрерывного мониторинга и контроля морских акваторий, обеспечивающих функционирование измерительных комплексов и морских экспертно-аналитических систем. Это позволит изучить методы использования современного инструментария для ведения оперативного мониторинга на разрозненной сети постов наблюдения за текущим состоянием моря, а также даст возможность пересмотреть материалы исторических наблюдений и экспедиционных исследований океана.

Постановка задачи

К обычным стандартным морским наблюдениям относится определение следующих характеристик: температуры, солености, плотности, электропроводности, содержания кислорода. Наряду с этими измерениями определяются также скорость звука, оптические характеристики, радиоактивность морской среды и другие. Все наблюдаемые параметры делятся на первичные, то есть измеряемые в процессе проведения эксперимента и вторичные, вычисляемые по формулам на основании измеренных данных. К основным измеряемым гидрофизическим параметрам относятся температура T , скорость потока V , давление P , электропроводность χ . Основные вычисляемые данные — это соленость S , плотность ρ , числа Рейнольдса Re и Ричардсона Ri .

Поскольку разрабатываемая система должна анализировать гидрофизические поля в интересующих исследователей турбулизованных слоях, в качестве основных базисных функций, решаемых системой мониторинга водной среды можно выделить следующие:

1. настройка параметров системы на основании задач эксперимента таких как, географические координаты региона, дата, время, глубина зондирования и т.п.;

2. моделирование эпюр распределения турбулизованных слоев по глубине зондирования с целью разработки стратегии зондирования, которая предусматривает выбор частоты опроса первичных преобразователей или скорости зондирования в зависимости от типа слоя (ламинарный или турбулизованный);

3. измерение заданных гидрофизических параметров: T , V , P , χ ;

4. отображение и сохранение полученной информации;

5. расчет вторичных параметров S , ρ , Re , Ri и дальнейшая обработка результатов исследований.

Результаты исследований

Согласно методу структурно-алгоритмического анализа, для реализации функций задач эксперимента требуется определение исходной информации, набора функциональных блоков, обеспечивающих ввод, обработку и хранение информации, а также алгоритма, который состоит из последовательности действий, реализующих данную функцию.

Система реализует следующие функции.

Настройка параметров системы для определения тонкой структуры водной среды.

При проведении гидрофизического эксперимента, целью которого является сбор данных о тонкой структуре полей океана, необходима следующая информация:

1. географические координаты (широта и долгота) акватории океана, где проводятся исследования;
2. дата и время проведения эксперимента;
3. глубина зондирования;
4. перечень измеряемых параметров;
5. перечень вычисляемых параметров;
6. начальные установки.

Эта информация должна быть определена при настройке системы перед проведением натурных испытаний, и необходима не только для задач, решаемых разрабатываемой системой, но и для других программных модулей, предназначенных для управления экспериментом и обработки полученной в результате эксперимента информации.

Алгоритм реализации состоит из простой последовательности действий, включающих запрос требуемой информации и непосредственно ввод запрошенных данных с клавиатуры. Ввод всей необходимой информации осуществляется с использованием графического пользовательского интерфейса, разработанного для этих целей.

Моделирование эюр распределения турбулизированных слоев по глубине зондирования. Исходными данными для реализации данной функции являются результаты настройки системы. На основании этой информации из базы данных, содержащей сведения о всех предыдущих гидрофизических экспериментах, извлекается информация о коэффициентах аппроксимирующих полиномов функциональных зависимостей среднего арифметического и дисперсии параметров распределения толщин мелкомасштабных слоев и расстояний между ними от глубины. Если для выбранного времени года или суток эти данные отсутствуют, то согласно анализу влияния временных и климатических факторов на коэффициенты распределений геометрических параметров турбулизированных слоев, приведенному в [1], с достаточной точностью можно воспользоваться данными, полученными для указанной акватории океана за другой временной промежуток. В противном случае, а также в случае отсутствия массива коэффициентов для выбранной акватории, необходимо выполнить поиск по базе данных файлов с исходной информацией о вертикальных профилях гидрофизических параметров, на основании которых возможно выполнение всех необходимых расчетов, согласно методикам, предложенным в [2].

В результате выполнения данной функции необходимо получить данные о распределении слоев с мелкомасштабной турбулентностью по глубине и определить глубины залегания слоев и их толщины. По этим данным определяется частота опроса датчиков или скорость зондирования в зависимости от глубины.

Для реализации управления скоростью опускания зонда требуется специальный исполнительный механизм (двигатель), скорость вращения которого изменяется в зависимости от зондируемого водного участка. Изменение частоты опроса датчиков не требует дополнительных устройств, поэтому наиболее простой структурой информационно-

измерительной системы является система с регулированием частоты опроса первичных преобразователей. Результирующая информация может быть представлена, например, как показано в таблице 1. Система позволяет также выводить диаграммы распределения частоты опроса датчиков по глубине (см. рис. 1).

Таблица 1 — Информация о параметрах зондирования при проведении гидрофизического эксперимента

Диапазон глубин, м		Период опроса датчиков, сек.
Начало	Конец	
5	10	1
10	11	0,1
11	25	1
25	28	0,1
...

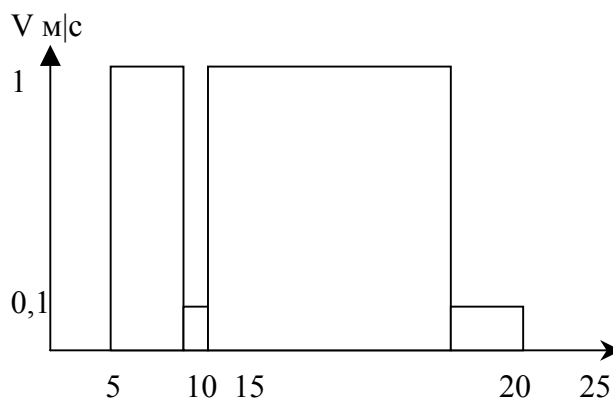


Рисунок 1 — Диаграмма распределения скорости зондирования при проведении гидрофизического эксперимента

Необходимо предусмотреть возможность сохранения полученных данных в общей базе эксперимента. Для реализации этой функции необходимо вычислительное устройство и устройство отображения информации в числовом и графическом виде. Анализ выполнения данной функции показывает необходимость разработки базы данных для хранения всей экспериментальной и расчетной информации.

Измерение заданных гидрофизических параметров. Данная задача предусматривает решение следующих вопросов:

- определение интервала опроса датчиков по глубине с возможностью восстановления измеренного сигнала с заданной точностью;
- определение режима зондирования для обеспечения требуемого интервала опроса первичных преобразователей;
- передача полученных данных на бортовое устройство для обработки.

Определение интервала опроса датчиков по глубине реализуется на основе теоремы отсчетов. Для преобразования любого аналогового сигнала в цифровую форму необходимо выполнить три основные операции: дискретизацию, квантование и кодирование.

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная возможность представления их в виде взвешенных сумм

$$U(t) = \sum_j a_j f_j(t), \tag{1}$$

где a_j — некоторые коэффициенты или отсчеты, характеризующие исходный сигнал в дискретные моменты времени; $f_j(t)$ — набор элементарных функций, используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам.

Наиболее распространенной формой дискретизации является равномерная, в основе которой и лежит теорема отсчетов. Согласно этой теореме в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $U(t_j)$ в дискретные моменты времени $t_j=j\Delta t$, а период дискретизации выбирать из условия

$$\Delta t=1/2F_m, \tag{2}$$

где F_m — максимальная частота спектра преобразуемого сигнала. При этом выражение (1) переходит в известное выражение теоремы отсчетов

$$U(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} U(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_m(t - j\Delta t)]}{2\pi F_m(t - j\Delta t)}. \quad (3)$$

Для сигналов со строго ограниченным спектром это выражение является тождеством. Однако спектры реальных сигналов стремятся к нулю лишь асимптотически. Применение равномерной дискретизации к таким сигналам приводит к возникновению в системах обработки информации специфических высокочастотных искажений, обусловленных выборкой. Для уменьшения этих искажений необходимо либо увеличивать частоту дискретизации, либо использовать перед АЦП дополнительный фильтр нижних частот, ограничивающий спектр исходного сигнала перед его аналого-цифровым преобразованием.

В общем случае выбор частоты дискретизации будет зависеть также от используемого в (1) вида функции $f_j(t)$ и допустимого уровня погрешностей, возникающих при восстановлении исходного сигнала по его отсчетам. Все это следует принимать во внимание при выборе частоты дискретизации, которая определяет требуемое быстродействие АЦП.

Для определения линейчатого спектра дискретизированной периодической функции времени воспользуемся дискретным преобразованием Фурье. В качестве исходных функций используем вертикальные профили гидрофизических параметров $f(h)$. Зависимость $f(h)$ можно заменить функцией $f(t)$, на основании выражения $h = Vt$, где V — скорость опускания зонда. Функция $f(t)$ должна быть непрерывной, периодической с периодом P и частотой $f_0 = 1/P$ так, что

$$f_0(t) = f_0(t + mP), \quad (4)$$

где m — целое.

Если функция $f(t)$ задана на интервале $[0, l]$, то для ее разложения в ряд Фурье сначала необходимо ее продолжить по некоторому закону $f(t)$ на интервале $[-l, 0]$, четным или нечетным образом, а затем свести ее к случаю периодической функции с периодом 2π с помощью замены $z = \pi t/l$. Функция $\varphi(z) = f(lz/\pi)$ имеет период 2π , так как $\varphi(z + 2\pi) = f(l(z + 2\pi)/\pi) = f(lz/\pi + 2l) = f(lz/\pi) = \varphi(z)$.

Функция $f(t)$ разлагается в ряд Фурье:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \exp(j2\pi n f_0 t), \quad 0 < t < P, \quad (5)$$

где коэффициенты разложения a_n заданы формулой:

$$a_n = \frac{1}{P} \int_0^P f(t) \exp(-j2\pi n f_0 t) dt. \quad (6)$$

Обычно $f(t)$ является действительной функцией, и тогда a_n — комплексные (но это ограничение не обязательно). Поскольку мы рассматриваем f как функцию времени, то a_n можно назвать комплексным спектром $f(t)$. По действительной и мнимой частям a_n можно найти амплитуду и фазу составляющих, образующих колебание $f(t)$. Для того чтобы эту функцию можно было дискретизировать однозначно, в ее спектре не должно быть составляющих с частотой, выше некоторой частоты f_m т. е.

$$a_n = 0, \quad n > n_m,$$

где n_m — целое значение, задающее частоту $f_m = n_m f_0$.

В соответствии с теоремой отсчетов, интервал дискретизации T равен

$$T = \frac{1}{2f_m} = \frac{1}{2n_m f_0} = \frac{P}{2n_m}, \quad (7)$$

так что число отсчетов на период будет равно $N = 2n_m$.

Для вычисления коэффициентов ряда применим численные методы вычисления интегралов, например, метод Симпсона.

Подобный анализ выполнен для основных гидрофизических параметров: температуры, скорости и электропроводности. Для разложения в ряд Фурье зависимости температуры от глубины использовались данные исходных вертикальных профилей, которые были разбиты на участки с ламинарным течением и с турбулентными возмущениями. В таблице 2 приведены значения максимального номера коэффициента ряда Фурье при разложении этих зависимостей.

Таблица 2 — Разложение в ряд Фурье вертикальных профилей температуры

Диапазон по глубине в метрах	Вид участка	Номер последнего коэффициента	Дискретность по глубине в см
Черное море, август			
4,6 ÷ 6,26	Ламинарный в квазиоднородном слое	11	15,09
6,82 ÷ 7,54	Турбулентный в квазиоднородном слое	23	3,13
36,11 ÷ 41,21	Турбулентный в термоклине	178	2,98
42,67 ÷ 46,69	Ламинарный в термоклине	24	16,75
72,57 ÷ 73,15	Турбулентный в слабоградиентном слое	20	2,9
73,15 ÷ 75,56	Ламинарный в слабоградиентном слое	16	15,06
Южный Каспий, апрель			
0 ÷ 4,3	Ламинарный в квазиоднородном слое	30	14,33
4,3 ÷ 5,2	Турбулентный в квазиоднородном слое	31	2,9
68,3 ÷ 71,8	Ламинарный в термоклине	23	15,22
71,8 ÷ 73,4	Турбулентный в термоклине	90	2,89
320,4 ÷ 321,3	Турбулентный в слабоградиентном слое	31	2,9
321,3 ÷ 336,65	Ламинарный в слабоградиентном слое	103	14,9

Последняя колонка таблицы 2 содержит значение шага дискретизации измерений по глубине, при котором погрешность восстановления функции $T(h)$ не превысит 5%. Значение шага дискретизации рассчитывается по формуле L/k , где L — половина интервала глубины, на котором получены значения функции $T(h)$. Анализ этих данных показывает, что на участках с ламинарным течением опрос измерителей температуры необходимо производить каждые 15 см перемещения зонда по глубине, для слоев с турбулентностью эта величина составляет порядка 3 см. При этом не играет роли, на каком участке вертикального профиля ведутся измерения: квазиоднородном, термоклине или слабоградиентном.

На рисунке 2 приведены график зависимости $T(h)$ в ламинарном слое и восстановленная функция по измерениям через 15 см, а на рисунке 3 те же зависимости для турбулентного слоя по данным измерений в Черном море в августе месяце.

Техническая реализация системы

Анализ существующих методов измерений и датчиков, использующих различные методы измерений показывает, что измерительные устройства имеют ограничение по частоте опроса, связанное с инерционностью датчиков. При этом, если измерители скорости (электрометрические) и электропроводности (кондуктометрические) можно считать

практически безынерционными, то датчики температуры (термометры сопротивления) имеют показатели инерционности порядка 0.1–1 сек. В связи с этим возникает проблема обеспечения частоты опроса, удовлетворяющей точности восстановления исходного сигнала (см. табл. 2), решение которой возможно следующими методами:

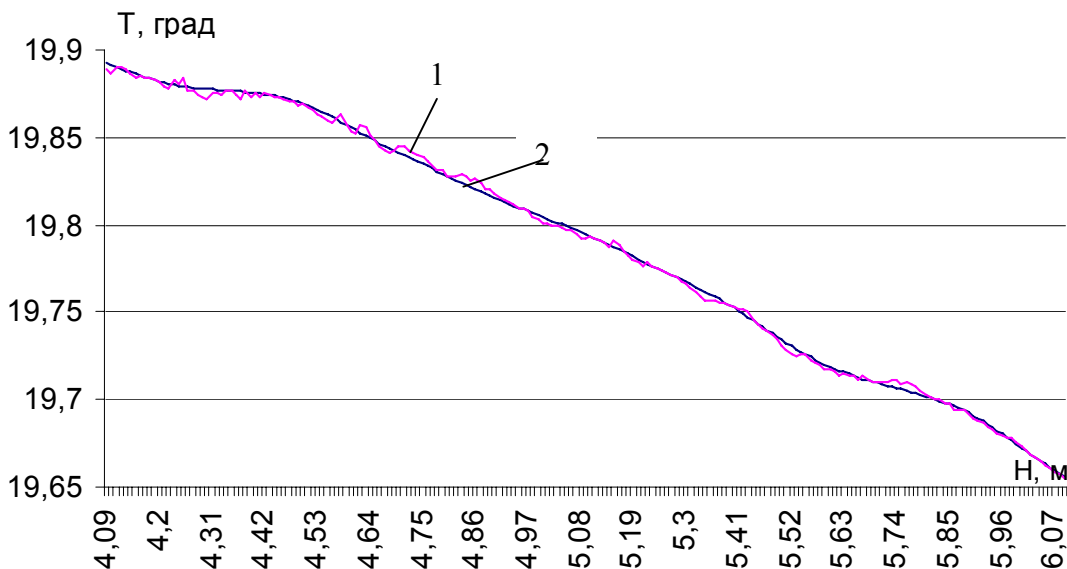


Рисунок 2 — Вертикальный профиль температуры в ламинарном слое
1 — исходные данные; 2 — восстановленный профиль по данным измерений

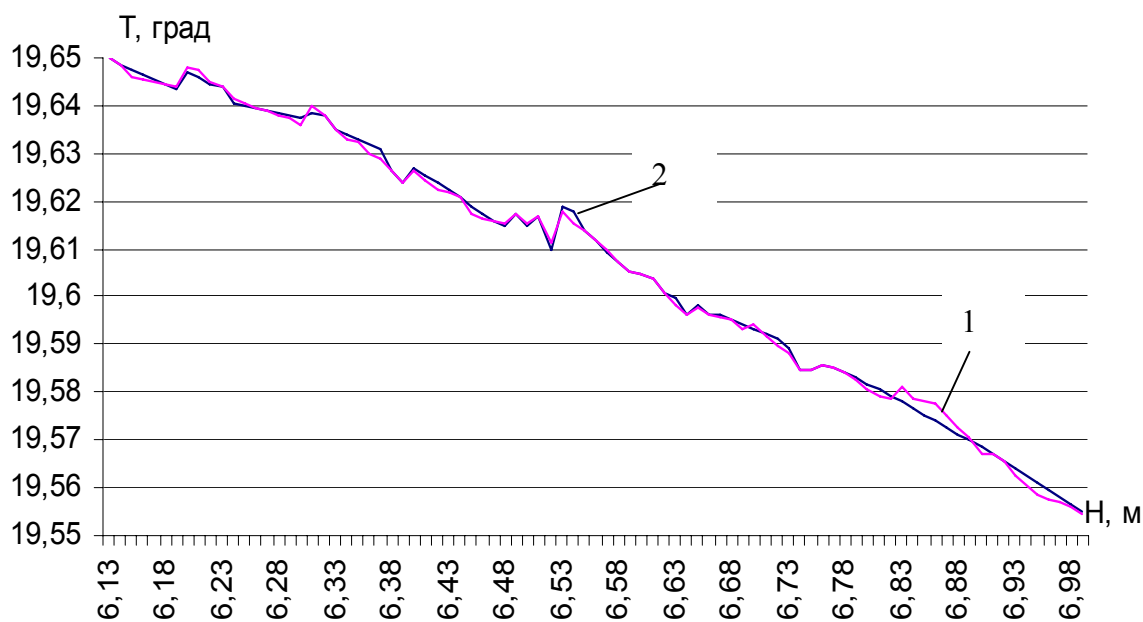


Рисунок 3 — Вертикальный профиль температуры в турбулентном слое
1 — исходные данные; 2 — восстановленный профиль по данным измерений

1. Настройка скорости зондирования, что требует выбора двигателя лебедки, регулирующего скорость опускания зонда с погрешностью не более 1 см/сек;

2. Использование нескольких однотипных датчиков температуры, расположенных на требуемом расстоянии друг от друга;

3. Использование программных средств коррекции инерционности измерительного канала температуры;

4. Комбинирование вышеописанных методов.

Определение количества измерителей и наличие дополнительных средств регулирования скорости погружного устройства выполняется в процессе моделирования оптимальной структуры системы мониторинга. Таким образом, для реализации функции измерения гидрофизических параметров необходим набор датчиков, измеряющих гидрофизические параметры: температуру, давление, скорость, электропроводность и пульсации температуры, скорости и электропроводности. Поскольку информация от датчиков поступает в аналоговом виде, необходимо наличие масштабирующих усилителей и коммутирующего устройства (мультиплексора), которое подключает к аналого-цифровому преобразователю (АЦП) требуемый измерительный канал.

Передача данных из погружного устройства в бортовую часть системы возможна следующими способами:

- передача аналоговой информации по кабель-тросу и преобразование ее в бортовой части в цифровой код и ввод в вычислительный блок;
- преобразование аналоговой информации в цифровой код в погружном устройстве и передача его в бортовое вычислительное устройство. При этом возможна передача одиночными кодами или блоками, для этого необходимо накапливать информацию в промежуточном оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ).

Современные системы используют передачу оцифрованной информации, поэтому в разработанной системе аналоговый мультиплексор и аналого-цифровой преобразователь размещены в погружном устройстве и передача информации осуществляется по оптоволоконному кабелю в цифровом виде. Выбор передачи одиночными кодами или блоками осуществляется в результате моделирования различных структур систем мониторинга.

Управление мультиплексором, АЦП и блоком ОЗУ реализовано программно в соответствии с алгоритмом, который описывает один цикл опроса измерительных каналов:

1. выдача на мультиплексор адреса измерительного канала;
2. запуск АЦП на преобразование аналогового сигнала;
3. ожидание сигнала готовности от АЦП, что является признаком завершения преобразования;
4. сохранение преобразованного кода в блоке памяти ОЗУ;
5. если блок заполнен, то начинается передача данных в вычислительное устройство параллельно с дальнейшими измерениями;
6. если опрошены не все определенные настройками системы измерительные каналы, то определяется адрес следующего преобразователя и переход к пункту 1.

Вышеописанный цикл реализован в алгоритме, выполняющем функцию опроса измерительных каналов в соответствии с выбранным режимом, который представляется следующей последовательность действий:

1. задание текущего значения глубины;
2. определение по массиву данных о глубине залегания турбулизированных слоев и их толщине интервала опроса датчиков;
3. цикл опроса датчиков;
4. если достигнута глубина зондирования, то эксперимент завершен;
5. в противном случае реализуется временная задержка, равная интервалу опроса датчиков и выполняется переход к пункту 1.

Отображение и сохранение полученной информации. Данная функция реализуется параллельно с функцией опроса датчиков для предоставления исследователям оперативной

информации. Исходными данными для ее выполнения являются блоки информации, передаваемые в цикле опроса.

Под отображением полученной информации понимается построение вертикальных профилей измеряемых гидрофизических параметров, для чего требуется наличие графического монитора и печатающего устройства. Из полученных блоков информации формируются массивы экспериментальных данных отдельно по каждому измеряемому параметру. По требованию исследователей данные могут сохраняться в архиве в числовом и графическом виде, при этом имена соответствующих файлов заносятся в базу данных в виде информации о текущем эксперименте.

Обработка результатов исследований. В соответствии с задачей исследования гидрофизических полей в системе должна быть предусмотрена функция вычисления вторичных параметров, таких как плотность, соленость, числа Ричардсона, Рейнольдса и т.п. Перечень вычисляемых параметров определяется в процессе настройки системы на проведение эксперимента.

Наряду с этими вычислениями обязательными являются расчеты параметров распределений геометрических элементов турбулизованных слоев для формирования записей в базе данных с целью предоставления возможности исследователям использовать полученную информацию при проведении вертикальных зондирований. Эти вычисления включают определение коэффициентов аппроксимирующих полиномов функциональных зависимостей выборочного среднего и среднеквадратического отклонения параметров распределения толщин турбулизованных слоев и расстояний между ними [1].

Выводы

В результате применения метода структурно-алгоритмического анализа были определены:

1. Основные базовые функции, которые должна реализовывать система мониторинга гидрофизических параметров водной среды;
2. Исходная информация, набор функциональных блоков, обеспечивающих ввод, обработку и хранение информации, а также алгоритмы, которые состоят из последовательности действий, реализующих функции;
3. Интервал опроса датчиков по глубине с возможностью восстановления измеренного сигнала с точностью не ниже 5% независимо от участка зондирования.

Результаты исследований могут быть использованы при выборе вариантов конфигурации оборудования системы мониторинга и определении критерия оптимизации структуры, учитывающий основные показатели качества и эффективность функционирования системы.

Литература

1. Зори А. А., Савкова Е. О. Статистический анализ характеристик мелкомасштабной турбулентности. /Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Вип.. 14 (129). — Донецьк, 2008. — С. 90–96.
2. Зори А. А., Савкова Е. О. Использование имитационного моделирования для определения характеристик мелкомасштабной турбулентности. /Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. — Вип.. 74. — Донецьк, 2004. — С. 326–331.

Здано в редакцію:
05.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.