

**АППАРАТУРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО  
КОМПЛЕКСА  
АВТОМАТИЧЕСКОГО  
БИОМОНИТОРИНГА  
ВОДНОЙ СРЕДЫ (КАБМВС)**

*П.В. Гайский, В.А. Клименко*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: gaysky@inbox.ru*

*В статье приводятся результаты разработки контрольно-измерительной аппаратуры экспериментального образца измерительного комплекса автоматического биомониторинга водной среды с использованием в качестве сенсорной системы двухстворчатых моллюсков.*

**Введение.** Известно, что на реакцию (временные и амплитудные характеристики раскрытия створок) двухстворчатых моллюсков оказывают значительное влияние изменения химических и физических параметров среды обитания [1]. Эта информация уже используется в биосенсорных системах контроля загрязнений и водоканальных системах безопасности быстрого реагирования на отправляющие вещества. На

базе МГИ НАНУ и ИнБЮМ г.Севастополя с учетом опыта предыдущей разработки [2] был создан второй экспериментальный образец измерительного комплекса автоматического биомониторинга водной среды.

Целью работы является описание этого комплекса. Комплекс предназначен для оценки состояния водной среды (морских и пресноводных водоемов) в автоматическом режиме с использованием в качестве сенсорной системы двухстворчатых моллюсков, реагирующих на присутствие загрязняющих факторов.

В состав аппаратной части комплекса входят бортовой (БМ) и погружной (ПМ) модули, кабели связи и питания с преобразователями напряжения и зарядным устройством (рисунок 1). Вторичная обработка измерительной информации осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения ПК. Работа прибора может осуществляться в автономном режиме ПМ $\leftrightarrow$ БМ с записью первичной измерительной информации в память и питанием от аккумуляторов БМ или в телеметрическом режиме ПМ $\leftrightarrow$ ПК. Основные технические характеристики комплекса приведены в таблице 1.

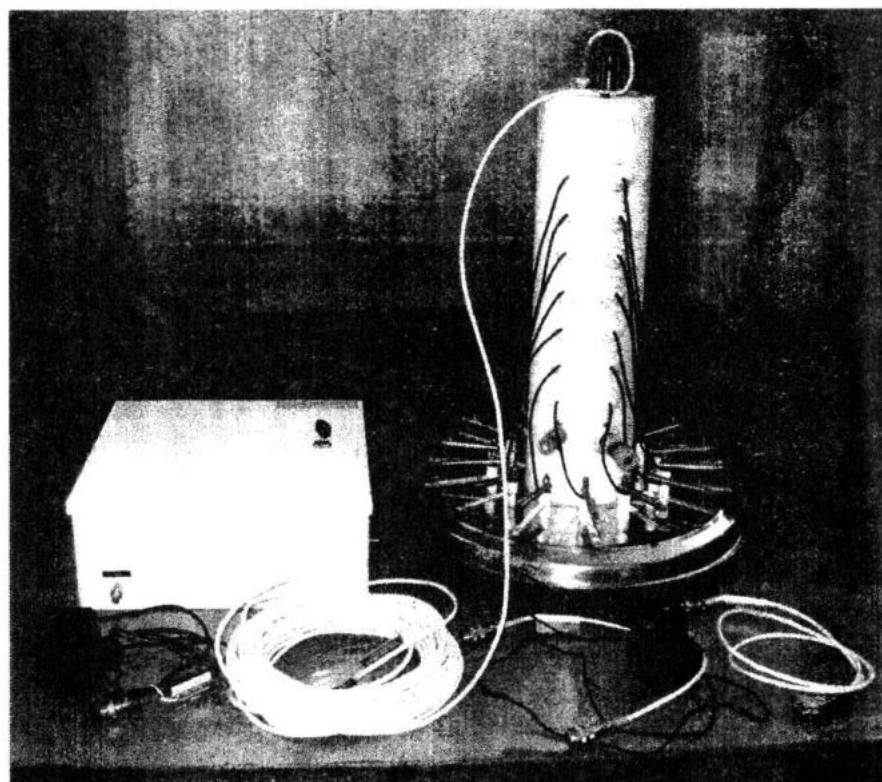


Рисунок 1 – Общий вид модулей комплекса

Таблица 1 – Основные технические характеристики прибора

Наименование и единица измерения	Значение
1 Измерительные каналы температуры 1.1 Датчик ПМ диапазон, °С погрешность, °С периодичность поверки, сутки	от -5 до 40 $\pm 0,05$ не менее 100
1.2 Цифровой датчик БМ (без индивидуальной градуировкы) диапазон, °С погрешность, °С	от -25 до 50 $\pm 0,5$
2 Измерительные каналы расстояния между створками мидий диапазон, мм погрешность, мм периодичность поверки, сутки	от 1 до 15 $\pm 0,1$ не менее 100
3 Измерительный канал растворенного кислорода диапазон, мл/л погрешность, % периодичность заправки/поверки, сутки	от 0,1 до 10 3 30 – 100
2 Период опроса измерительных каналов, сек.	2; 10; 60
3 Модуль энергонезависимой памяти БМ в автономном варианте 3.1 Емкость, Мбайт, измерительные кадры 3.2 Время чтения всей памяти на ПК, мин. 3.3 Время формирования памяти, мин.	8, 125373 45 5
4 Мощность потребления 4.1 Электроника ПМ, ВА 4.2 Электроника БМ, ВА	не более 0,5 не более 0,2
5 Возможная глубина погружения ПМ, м	не менее 20
6 Напряжение питания модулей ПМ и БМ, В	7÷15
7 Напряжение и емкость модуля автономного энергопитания измерителя (аккумуляторов БМ), В, А/ч	12, 30
8 Длительность подзарядки аккумуляторов БМ (БП 12В/1А), ч	10 ÷ 50 (в зависимости от степени разряда)
9 Напряжение внешнего питания, В, Гц	~220(±22)В, 50(±1)Гц
10 Средняя длительность автономной работы прибора от аккумуляторов БМ, сутки	21
11 Габаритные размеры измерителя 11.1 Габаритные размеры ПМ (с каркасным креплением мидий) диаметр, мм, не более длина, мм, не более	150 (750) 470 (550)
11.2 Габаритные размеры БМ ширина, мм, не более длина, мм, не более	300 300
11.3 Габаритные размеры КСПМ диаметр, мм, не более длина, м	5 25
12 Масса 12.1 Масса ПМ, кг, не более 12.2 Масса БМ (с аккумуляторами), кг, не более	20 30

В погружном модуле для определения расстояния между створками мидий совместно с магнитами используются датчики магнитного поля (датчики Холла) (14 шт.), платиновый датчик температуры и датчик растворенного в воде кислорода. Схема измерительных каналов ПМ включает в себя прецизионные усилители и стабилизаторы напряжения, а также 24-х разрядный аналого-цифровой преобразователь с коммутацией на все датчики.

В БМ комплекса размещены две однотипные электронные платы, включающие таймер реального времени и даты, энергозависимую флэш-память и цифровой датчик температуры под управлением микроконтроллера. Эти платы энергозависимы от внутренних аккумуляторов БМ или внешнего питания 12В. Необходимость наличия двух электронных плат вызвана требованиям по непрерывной записи измерительной информации в автономном режиме во время сброса содержимого флэш-памяти на

ПК. Энергопитание ПМ в телеметрическом режиме осуществляется по кабелю связи через блок питания 12В/0,5А от стандартной сети ~220В. Зарядка аккумуляторов БМ осуществляется с помощью зарядного устройства 12В/1А от стандартной сети ~220В.

Опрос измерительных каналов ПМ осуществляется по команде от программного обеспечения ПК или микроконтроллера БМ с заданным периодом по таймеру ПК или БМ (2 секунды, 10 секунд или 1 минута). В качестве управляющих микроконтроллеров используются в ПМ - ADuC845, а в БМ – Atmega8L. Структурные схемы ПМ и БМ представлены на рисунках 2 и 3.

Частота настройки последовательного порта при приеме-передаче команд управления и измерительной информации между ПМ и ПК, ПМ и БМ равна 9600 бод. Частота настройки последовательного порта при постраничном чтении и форматировании флэш-памяти БМ при управлении ПО ПК равна 115200 бод.

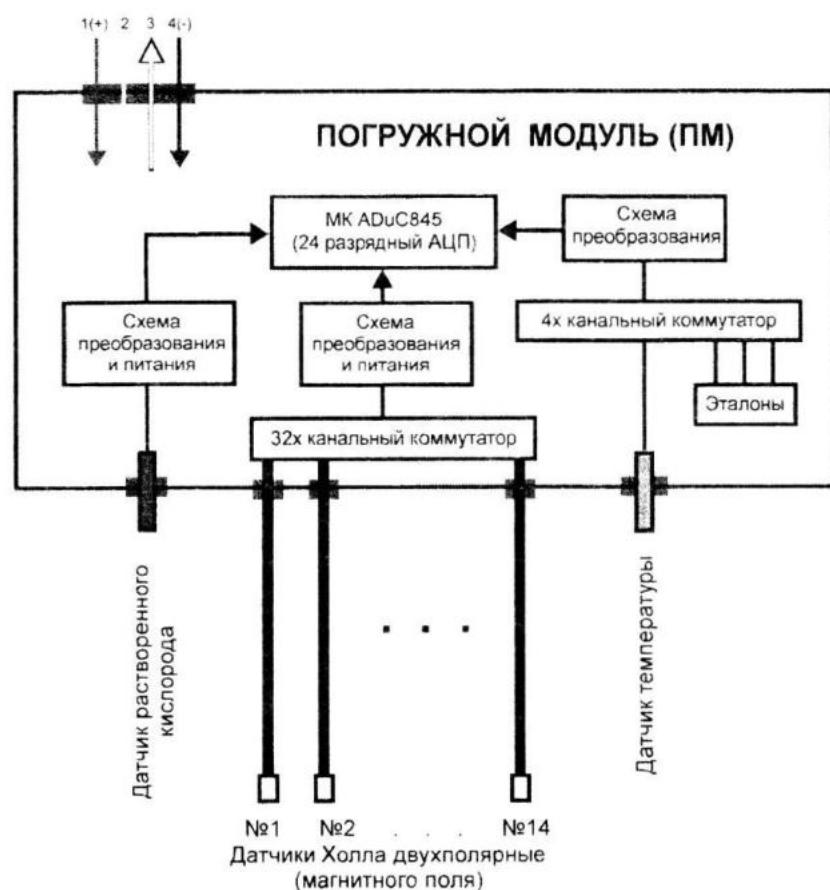


Рисунок 2 – Структурная схема погружного модуля

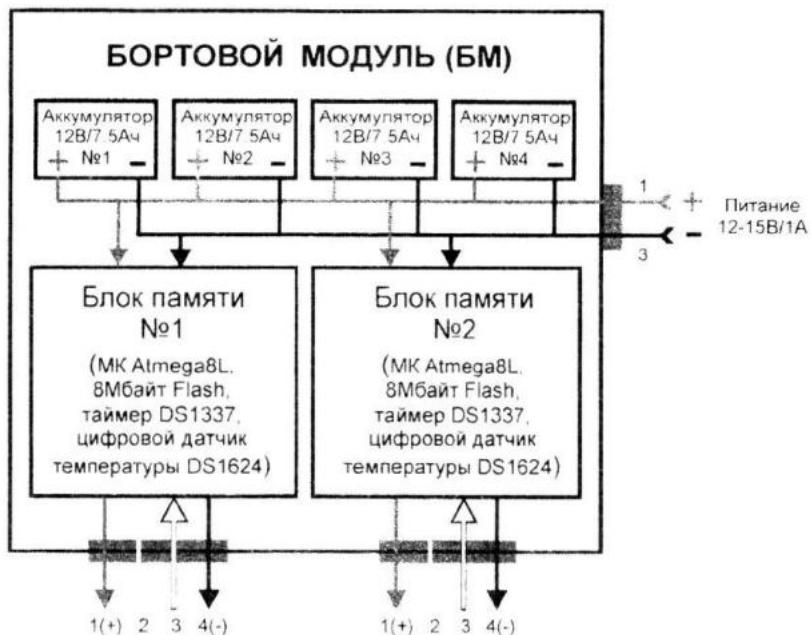


Рисунок 3 – Структурная схема бортового модуля

В приборе используются один платиновый датчик температуры HEL705 (1кОм) фирмы Honeywell в ПМ и цифровые датчики температуры DS1624 фирмы Dallas Semiconductor в каждом из модулей памяти БМ (паспортное разрешение 0,03125 °C в диапазоне -55°C ÷ +125°C). Градуировка и

проверка датчиков температуры осуществляется для заданного диапазона и точности температур в соответствие с действующей методикой по поверке точечных контактных термометров сопротивления по полиному заданной степени:

$$\text{Температура } (^{\circ}\text{C}) = a_{T_0} + N_T \cdot (a_{T_1} + N_T \cdot (a_{T_2} + N_T \cdot a_{T_3})), \quad (1)$$

где  $N_T$  - кодовое значение канала температуры.

При измерении содержания в воде растворенного кислорода используется ампе-

$$\text{Кислород (мл / л)} = a_1 * (\text{Код} - a_0) * e^{\left( \frac{a_2}{\text{Температура воды } (^{\circ}\text{C}) + 273.15} \right)}, \quad (2)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  - градуировочные коэффициенты в программе ( $a_0$  - кодовое значение датчика при «нулевом» растворе).

Для измерения концентрации растворенного кислорода в соленой воде может вводиться дополнительная поправка (коэф-

рометрический датчик на серебряных электродах, созданный в отделе автоматизации МГИ НАНУ.

фициенты полинома рассчитаны исходя из табличных данных Международного стандарта ISO 5814):

$$O_{\text{солен}} = (1 - \text{Соленость} * (0,0062645 - 0,000048836 * \text{Температура})) * O_{\text{дистил.}} \quad (3)$$

где  $O_{\text{дистил.}}$  - содержание кислорода, рассчитанное по градуировочным коэффициентам в дистиллированной воде;

*Соленость* - общая в промиллях, заданная оператором ПК для среды измерений;

*Температура* - измеренная температура среды в °C.

Введение данной поправки для заданной оператором солености реализовано в расчетах прикладного программного обеспечения.

В качестве датчиков, определяющих расстояние между створками мидий, используются датчики Холла SS496A1 фирмы Honeywell. Они реагируют на изменения внешнего магнитного поля, созданного магнитом закрепленным на створке мидии.

Градуировка датчиков Холла может осуществляться непосредственно с использованием рабочего каркаса и креплений ПМ. При этом расстояние будет искусств-

енно создаваться и контролироваться с помощью прецизионного штангенциркуля (разрешение 0,02 мм) в диапазоне от 0 мм до 15 мм. Градуировочная характеристика для каждого из 14 датчиков может быть описана гиперболической зависимостью, коэффициенты которой определяются по методике установки не менее пяти равномерно-распределенных контрольных точек заданного диапазона и вводятся в программное обеспечение обработки ПК. Вычисление результирующего значения расстояния в м (мм) в программе осуществляется по формуле:

$$\text{Расстояние между створками (мм)} = a_4 - \frac{1}{a_0 + N_x \cdot (a_1 + N_x \cdot (a_2 + N_x \cdot a_3))}, \quad (4)$$

где  $N_x$  - код соответствующего датчика Холла;

$a_4$  - первоначальное (максимальное) расстояние в мм между датчиком и магни-

$$\frac{1}{\text{Расстояние между датчиком и магнитом (мм)}} = f(N_x). \quad (5)$$

Создание надежного крепления датчиков Холла и магнитов для контроля величины раскрытия створок в условиях длительной постановки из-за обраствания и бисуса (крепежных нитей моллюсков) довольно сложная задача. В отличие от предыдущей разработки [2], в данном комплексе датчики и магниты крепились не непосредственно на створках, а на выносных жестко закрепленных и гибких направляющих.

**Заключение.** Созданная аппаратура комплекса автоматического биомониторинга позволяет регистрировать с привязкой ко времени и обрабатывать в автономном и телеметрическом режимах измерительную информацию о величине раскрытия створок двухстворчатых моллюсков, контролировать температуру и содержание растворенного кислорода в водной среде измерений погружного модуля на глубинах до 20 м. Полученные данные с помощью специализированного программного обеспечения и систем связи могут обрабатываться и передаваться с целью оповещения и своевременной сигнализации о наличии целого ря-

да загрязняющих и отправляющих веществ в контролируемой среде. Дальнейшее развитие аппаратуры комплекса предусматривает добавление гидрохимических измерительных каналов и усовершенствование креплений датчиков на мидиях.

## Л и т е р а т у р а

1. В.В. Трусевич, В.Ф. Гнюбин, В.Н. Никольский, А.Я. Столбов, В.Ж. Мишурев, В.А.Шеянов. Автоматизированные системы в организации мониторинга водной среды // Материалы 2-ой Международной конференции – Мониторинг окружающей среды: научно-методическое нормативное, техническое, программное обеспечение. АР Крым, п. Коктебель, 24-28 сентября 2007 г. – С. 93–95.

2. В.В. Трусевич, В.Ж. Мишурев, К.А. Кузьмин. Современные биотехнологии в организации мониторинга водной среды // Системы контроля окружающей среды: Сб.научн.тр. / НАН Украины, МГИ: – Севастополь, 2008. – С. 395–399.