

Б. О. ДЕНИСОВ, А. А. ЖУРАВЛЕВ, Л. А. ЛЕВИН,
В. Г. ЧЕРЕПАНОВ, Ю. В. ЧУГУНОВ, В. В. ШАРЫПОВ

(Красноярск)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При исследовании пространственной структуры морских биоценозов применяется метод батифотометрического зондирования, позволяющий определять интенсивность биолюминесцентного поля, распределение плотности планктона, соленость воды и другие параметры биоценозов на различных глубинах.

В ходе ряда морских экспедиций на судах АН СССР проведены батифотометрические исследования морских биоценозов, выявившие изменения распределения плотности планктона, достигающие 70% при изменении глубины на несколько десятков метров за несколько минут [1, 2]. Эти изменения обусловлены гидрофизическими явлениями, происходящими в океане. Однако изменения в распределении плотности планктона не являются пассивными по отношению к вызвавшим их гидрофизическим изменениям. Из этого следует, что необходим направленный отбор батометрических проб, что обеспечивается совмещением пробоотборника и зонда в одной конструкции, причем в зонде целесообразно сочетание гидрофизических и биофизических датчиков для слежения как за изменением гидрологической ситуации, так и за реакцией планктона. Раздельные измерения снижают достоверность исследования взаимосвязи гидрологических, биологических, оптических и химических процессов в океане в связи с их существенной пространственно-временной изменчивостью.

Совмещенные исследования гидрофизических и биофизических параметров морских биоценозов выполнялись в последующих экспедициях с регистрацией полученных данных на магнитный носитель, самопишущие приборы и обработкой результатов в стационарных условиях на ЭВМ средней производительности.

Результаты проведенных работ показали, что для решения ряда фундаментальных и прикладных задач исследования морских биоценозов необходимы:

- совмещение пробоотборника, гидрофизических и биофизических датчиков в единой конструкции зонда;
- оперативное получение данных в цифровой форме с более высокой метрологической точностью;
- активное управление режимами работы датчиков в ходе эксперимента;
- экспресс-обработка (сжатие) данных в реальном масштабе времени;
- обработка данных эксперимента в масштабе времени, близком к реальному;
- формирование массивов исходных данных, результатов обработки и их запись на магнитный носитель для последующей обработки.

Эти предпосылки обусловили необходимость разработки автоматизированной системы сбора, регистрации и обработки данных эксперимента, которая должна отвечать требованиям низкой стоимости, средней производительности, бортовым условиям эксплуатации, совместимости по форматам данных и программному обеспечению с ЭВМ типа СМЗ, СМ4.

Структура системы. Уникальность каждого эксперимента и его высокая стоимость определили необходимость двух режимов работы системы: off line — работа системы при отказе ЭВМ и дублировании записи данных эксперимента на НМЛ с возможностью их обработки после восстановления ЭВМ; in line — работа системы под управлением ЭВМ в режиме диалога с экспериментатором.

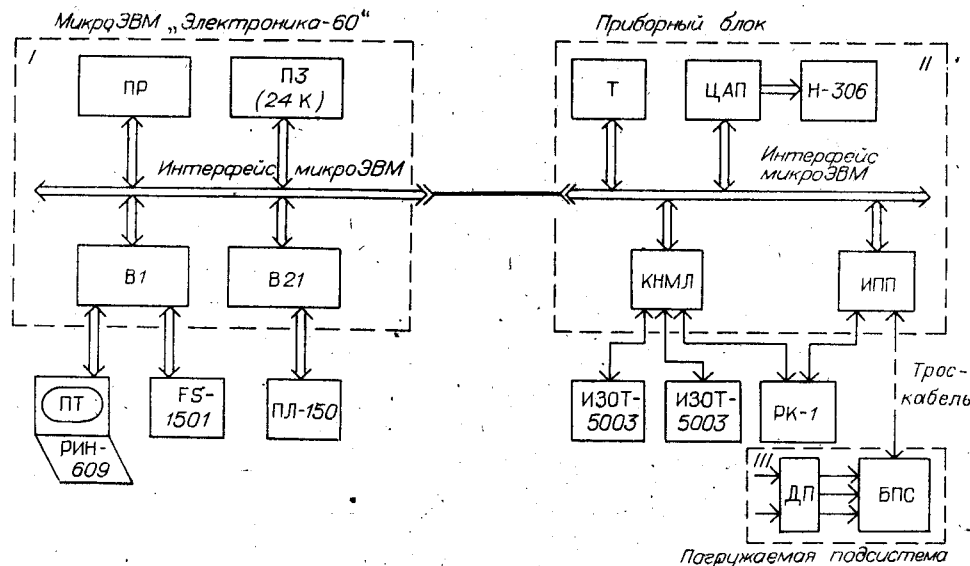


Рис. 1. Структура системы SKAT:

ПР — процессор типа М2, ПЗ — модули оперативной памяти, В1 — интерфейс устройства печати и фотосчитывающего устройства, ПТ — пультный терминал РИН-609, В21 — интерфейс перфоратора, Т — таймер, КНМЛ — контроллер накопителей на магнитной ленте, ИПП — интерфейс погружаемой подсистемы, ДП — блок датчиков и пробоотборников, БПС — блок преобразования и связи.

С учетом перечисленных требований разработана система автоматизации дистанционного биологического эксперимента (SKAT). Она реализована на базе микроЭВМ «Электроника-60» и включает бортовой комплекс (микроЭВМ, приборный блок) и погружаемую подсистему, соединенную с бортовым комплексом через трос-кабель и выделенные линии корабельной системы связи (рис. 1).

Необходимость работы системы в двух режимах, требования регистрации данных и хранения программного обеспечения на НМЛ, запись на ленту временных параметров эксперимента и другие условия определили разработку четырех нестандартных модулей, размещенных в приборном блоке: таймера, контроллера НМЛ, модуля ЦАП, модуля интерфейса погружаемой подсистемы. Приборный блок подключается к ЭВМ и имеет интерфейс микроЭВМ. Предусмотренные в нем дополнительные места для включения процессора, модуля связи терминала и модулей памяти позволят в дальнейшем исключить микроЭВМ. Разработанные модули отличаются расширенным составом выполняемых функций (по сравнению со стандартными).

Контроллер НМЛ предназначен для управления тремя накопителями на магнитной ленте (два НМЛ типа ИЗОТ-5003 и НМЛ типа РК-1). Обмен данными между процессором и НМЛ выполняется 16-разрядными словами (в отличие от байтового формата в стандартном), что увеличивает производительность ЭВМ в режиме обмена. Размер передаваемого блока данных программируется. Предусмотрена возможность считывания программного обеспечения в оперативную память ЭВМ по команде с пультного терминала или командой, инициируемой кнопочным выключателем на контроллере. Применение КНМЛ дает возможность исключить из системы устройства FS-1501 и ПЛ-150 в рабочем режиме.

Модуль таймера необходим для формирования программируемых временных интервалов в диапазоне $t = (10^{-5} - 10^2) M$, где M — множитель от 1 до 15. С помощью таймера формируется код реального времени для пуска системы в заданные моменты. Предусмотрено векторное прерывание программы по сигналам таймера. Реальное время читается по команде ЭВМ и заносится в заголовок файла каждого эксперимента. Оно также индицируется на цифровом табло приборного блока.

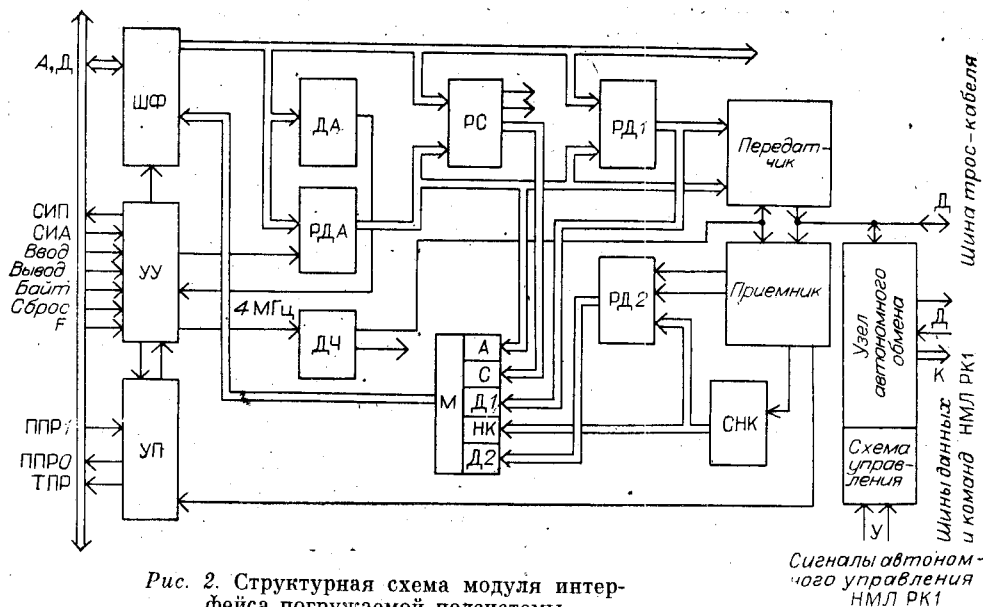


Рис. 2. Структурная схема модуля интерфейса погружаемой подсистемы.

Модуль четырехканального ЦАП используется для вывода промежуточных результатов эксперимента на графопостроители, самопишущие приборы или осциллограф. Предусмотрено два масштабируемых канала (коэффициенты от 1 до $1/256$) и два немасштабируемых. Это позволяет выводить результаты экспериментов на два графопостроителя, четырехканальный самопишущий прибор или осциллограф и графопостроитель.

Модуль интерфейса погружаемой подсистемы реализует алгоритмы обмена информацией между ЭВМ и блоком преобразования и связи (БПС): передачи управляющих слов в БПС, приема данных от БПС, формирования векторов прерывания по каждому каналу, передачи данных в ЭВМ, записи и чтения управляющих регистров ИПП для тестирования. Он включает (рис. 2) шинный формирователь (ШФ), устройство управления (УУ), узел прерывания (УП), дешифратор адреса модуля (ДА), регистр и дешифратор выбора адресов регистров модуля (РДА), регистр управления и состояния (РС), делитель частоты (ДЧ), регистр передаваемых данных (РД1), регистр принимаемых данных (РД2), счетчик номеров каналов (СНК), мультиплексор (М) выдачи кода адреса модуля (А), состояния (С), данных (Д1, Д2), номера канала (НК), приемник данных, передатчик данных.

Для обеспечения режима off line модуль интерфейса погружаемой подсистемы дополнен узлом автономного обмена, что позволяет при отказе ЭВМ переключить систему в режим записи данных на НМЛ. Применение НМЛ типа РК-1 вызвано последовательной формой записи данных в темпе их поступления без предварительного преобразования и возможностью чтения данных после восстановления со скоростью, соответствующей реальному эксперименту.

Работа модуля ИПП заключается в следующем. Процессор в программном режиме [3] передает управляющее слово в регистр управления-состояния, после чего ИПП готов к обмену. Далее выполняется передача управляющего слова в БПС. В этом случае процессор передает управляющее слово БПС в РД1 и запускает передатчик (программно или от таймера), который преобразует слово в последовательную форму, формирует стартовый и стоповые биты. При поступлении данных от БПС в приемник-производится демодуляция сигналов, анализ стартового бита и выделение номера канала с помощью счетчика (СНК). Данные от БПС в последовательной форме поступают в РД2. По окончании приема слова данных формируется сигнал требования прерывания в УП и по сигналу ППР1 адрес вектора опорного канала выставляется через

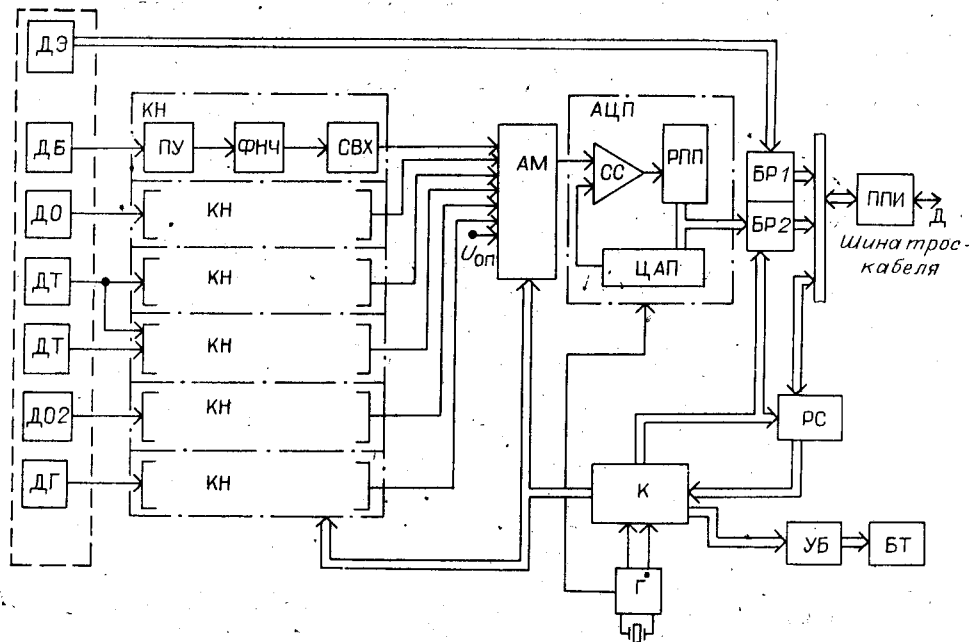


Рис. 3. Структурная схема погружаемой подсистемы:
 ДЭ — датчик электропроводности, ДБ — биолюминесценции, ДО2 — содержания кислорода,
 ДО — подводной облученности, ДГ — глубины, ДТ — температуры.

мультиплексор и ШФ на шины интерфейса [3]. ЭВМ принимает адрес вектора и обслуживает прерывание, опрашивая регистр РД2. Аналогично выполняется обмен по всем измеряемым каналам.

В результате обработки принятой от ИПП информации формируется блок промежуточных данных, который записывается на НМЛ или/и выводится на графопостроитель.

Структура и характеристики погружаемой подсистемы. Погружаемая подсистема предназначена для отбора проб воды на заданных глубинах, сбора и преобразования в цифровой код информации, поступающей от гидро- и биофизических датчиков, передачи данных в бортовой комплекс, управления режимами отбора проб и опроса датчиков по командам бортового комплекса. Она включает (рис. 3) комплекс датчиков; каналы нормализации (КН), предназначенные для предварительного усиления сигналов (ПУ), фильтрации по низким частотам (ФНЧ) и фиксации уровня с помощью устройства выборки-хранения (СВХ); аналоговый мультиплексор (АМ); узел аналого-цифрового преобразования, состоящий из схемы сравнения (СС), регистра последовательных приближений (РПП), цифроаналогового преобразователя; буферные регистры (БР1, БР2) для временного хранения данных и состояния в режиме передачи; регистр состояния (РС) для хранения управляющего слова и состояния БПС; задающий генератор (Г); контроллер (К); узел управления ключами замыкателя батометров (УБ); блок батометров (БТ) и приемопередатчик последовательного интерфейса (ППИ).

При разработке погружаемой подсистемы особое внимание было уделено повышению отношения сигнал/шум в тракте преобразования информации. С этой целью включены блоки усиления, фильтрации и фиксации уровня.

Предварительные усилители имеют высокий коэффициент подавления синфазного сигнала для эффективного подавления когерентной помехи. Применение фильтров устраняет интермодуляционные искажения, появляющиеся в результате дискретизации сигналов. Схемы выборки-хранения интегрирующего типа, обладавая свойством защитной фильтрации, позволяют оперативнее отслеживать изменения входных сигналов [4].



Рис. 4. Структуры информационных сообщений:
 а — слова данных, б — протокола обмена, в — командного слова, г — диаграмма передачи слова.

Десятиразрядный АЦП последовательных приближений имеет диапазон входных сигналов ± 5 В и время преобразования 50 мкс. Выходной код РПП заносится в буферный регистр БР2. Регистр БР1 используется для хранения данных, поступающих от датчика электропроводности с цифровым выходом. Опрос БР2 осуществляется по сигналам контроллера в соответствии с программой опроса датчиков.

Контроллер функционирует в режимах приема управляющего слова и выдачи потока данных от БПС. Передача данных в бортовой комплекс выполняется по трос-кабелю в полудуплексном режиме и последовательной форме. Размерность посылки (рис. 4, а) 16 бит. Первый бит стартовый, далее следуют контрольный разряд и разряд «Цвет», фиксирующий опорный канал, затем код отсчета и три стоповых бита.

После пересылки кода отсчета по опорному каналу передаются отсчеты по измеряемым каналам, число которых программируется заранее (от 1 до 7) в зависимости от требований эксперимента. По окончании передачи одного отсчета по всем каналам контроллер переходит в режим ожидания приема управляющего слова. Если последнее отсутствует, через время, равное длительности передачи одной посылки, цикл передачи следующего отсчета по всем каналам повторяется (рис. 4, б). Управляющее слово контроллера (рис. 4, в) включает контрольный разряд, «Цвет», три разряда кода номера канала, два разряда кода режима работы АЦП и три разряда для задания масштабного коэффициента усилителя (резерв развития системы).

Скорость передачи данных по каналу связи (рис. 4, г) ~ 10 Кбит/с; уровень логического нуля лежит в пределах ± 15 В при частоте модуляции 50 КГц, логической единицы — 15 В; отключенное состояние передатчика соответствует нулевому напряжению.

Максимальная частота опроса одного канала 100 Гц, что согласуется с временной и пространственной изменчивостью исследуемых процессов.

Математическое обеспечение системы. Математическое обеспечение (МО) системы СКАТ предназначено для реализации сбора данных эксперимента, их предварительной обработки и регистрации результатов на

Рис. 5. Структура математического обеспечения системы.

внешних носителях. Математическое обеспечение записано на магнитной ленте НМЛ ИЗОТ-5003 и загружается по команде с пультового терминала.

МО имеет модульную расширяемую структуру и организовано в виде пакета программ, состоящего из трех частей: систем МО реального времени; систем МО обработки результатов эксперимента; пакета тестовых подпрограмм, загружаемых и выполняемых отдельно.

Система МО реального времени предназначена для автоматизации сбора экспериментальных данных и управления экспериментом. Она позволяет: в процессе начального диалога закрепить номера измеряемых каналов (задать набор датчиков для эксперимента); параметры усреднения отсчетов данных (по количеству отсчетов или интервалу изменения параметра),

выполнять пересылку данных, принятых по измеряемым каналам БПС, в накопитель на МЛ;

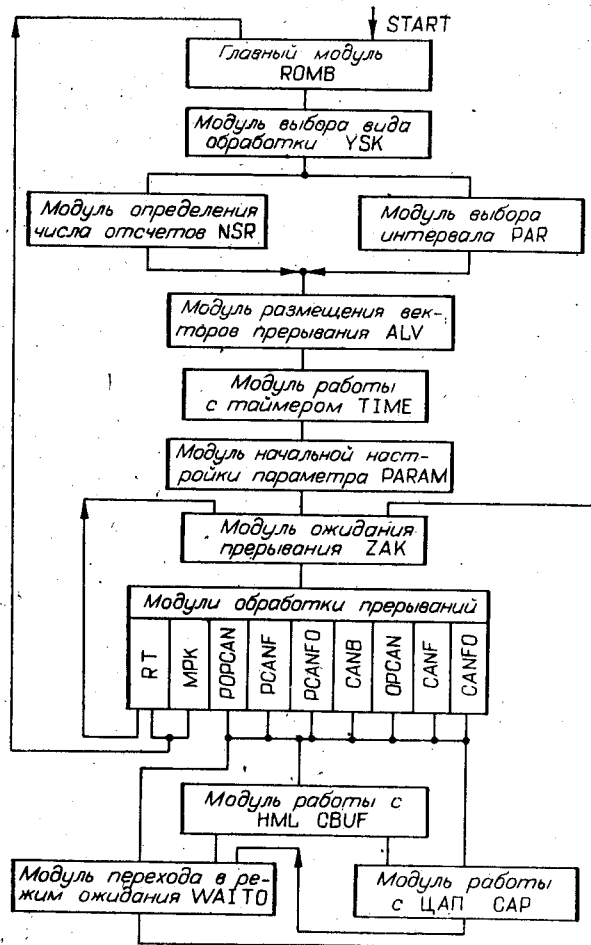
проводить предварительную обработку по трем из выбранных каналов и результаты выводить на два регистрирующих прибора;

формировать банк данных экспериментов объемом до 10 Мбайт на одной ленте.

Структура системы МО реального времени (рис. 5) включает набор автономных модулей, имеющих свои имена.

Главный модуль ROMB предназначен для диалоговой загрузки устройств и модулей с «подсказкой» следующего действия оператору. Он выполняет функции загрузки управляющих регистров модулей, задания номера эксперимента, определения режимов работы накопителей, выделения опорного и измеряемых каналов, отключения неиспользуемых каналов, анализа прерываний пультового терминала и ошибочных ситуаций, заполнения системных таблиц, распечатки текстов и другие функции. Имя входа модуля START. По окончании диалоговой загрузки системы управление передается модулю выбора вида обработки YSK, по которому происходит фиксация режима эксперимента: либо по заданному числу отсчетов данных (NSR), либо по интервалу изменения основного параметра (PAR).

Модуль размещения векторов ALV осуществляет привязку векторов прерывания модуля ИПП к конкретным подпрограммам обработки (к каналам обработки); определяет номера каналов, по которым требуется



загрузить управляющие регистры модулей системы;

вывод данных на графопостроители; переключает нерабочие каналы ИПП к подпрограмме обработки ошибочных прерываний; обеспечивает запись данных по рабочим каналам; информирует экспериментатора о загрузке и выполняет дальнейшую работу.

Модуль работы с таймером TIME проводит диалоговую загрузку таймера и пуск часов реального времени. Модуль начальной настройки PARAM заполняет заголовки буферов данных, устанавливает разряды триггеров прерывания устройств и передает управление пакету модулей ожидания прерываний (ZAK). Выход из этого модуля возможен только после возникновения прерывания по опорному каналу (при работе по числу отсчетов OPCAN или интервалу изменения параметра POPCAN); по измеряемым каналам (при работе по числу отсчетов CANF, CANFO или интервалу изменения параметра PCANF, PCANFO); по программам накопления буферных данных CANB; по сигналу клавиатуры терминала МРК и сбоям RT.

Модуль работы с накопителем СВUF пересылает экспериментальные данные в буфер, проводит анализ заполнения буфера, подключение на второй буфер, заносит время окончания заполнения буфера в заголовок и формирует команду чтения буфера в НМЛ (в режиме НДП).

Модуль вывода данных на графопостроители CAP осуществляет формирование и пересылку данных в ЦАЦ.

В зависимости от режима, заданного экспериментатором, модуль СВUF или CAP может быть исключен, тогда управление передается модулю перехода в режим ожидания прерывания WAITO.

Пакет тестовых подпрограмм предназначен для проверки работоспособности устройств и модулей системы в автоматическом режиме с индикацией сбоев на пультовом терминале.

Система МО обработки результатов эксперимента имеет модульную структуру и предназначена для расчета солености морской воды по данным датчика электропроводности, вычисления плотности морской воды, статистической обработки данных по измеряемым каналам, расчета градиента измеряемых значений параметров относительно глубины погружения и других расчетов в зависимости от требований эксперимента.

Разработанная система позволяет автоматизировать сложный биофизический эксперимент по исследованию биологической продуктивности и загрязненности водоемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гительзон И. И. и др. Батифотометрическое зондирование и возможности его применения для исследования пространственной структуры биоценоза.— В кн.: Функционирование пелагических сообществ в тропических районах океана.— М.: Наука, 1971, с. 50—63.
2. Левин Л. А., Утюшев Р. Н., Артемкин А. С. Распределение интенсивности биолюминесцентного поля в экваториальной части Тихого океана.— В кн.: Экосистемы пелагиали Тихого океана. М.: Наука, 1975.
3. МикроЭВМ 15BM-16-012 «Электроника-60»: Эксплуатационная документация. Процессор М2: Техническое описание и инструкция по эксплуатации.— Саратов, 1979.
4. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных вычислительных устройств.— М.: Энергия, 1975.

*Поступила в редакцию 6 апреля 1983 г.;
окончательный вариант — 26 марта 1984 г.*