

17
P55



В. Г. Алалыкин, В. В. Борог, С. Б. Гавшин,
И. А. Данильченко, И. В. Пенин, А. А. Петрухин,
Г. А. Потапов, В. В. Кобылянский,
А. И. Мягих, Ю. М. Харламов

065-86

3318
ИФН

**ГЛУБОКОВОДНЫЙ КВАЗИСФЕРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СВЕТОВОГО ФОНА ОКЕАНА**

МОСКВА 1986

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени
инженерно-физический институт

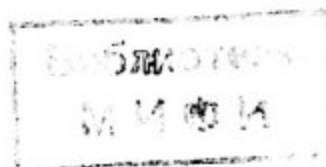
В.Г. Алалыкин, В.В. Борог, С.Б. Гавшин,
И.А. Данильченко, И.В. Пенин, А.А. Петрухин,
Г.А. Поталов (МИФИ)
В.В. Кобылянский, А.И. Мягких, Ю.М. Харламов
(ТОИ ДВНЦ)

ГЛУБОКОВОДНЫЙ КВАЗИСФЕРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
СВЕТОВОГО ФОНА ОКЕАНА

Препринт 065-86

БИБЛИОТЕЧНЫЙ
ФОНД
ИИТУ МИФИ

*Утверждено
редсоветом института*



Москва 1986

А л а л ы к и н В.Г., Б о р о г В.В., Г а в ш и н С.Б. и др. Глубоководный квазисферический детектор для исследования импульсных характеристик светового фона океана. — М.: Препринт/ МИФИ, 065-86, 1986. — 16 с.

Описаны структура и принципиальные схемы детектора, выполненного на базе фотозлектронных умножителей ФЭУ-49Б и предназначенного для регистрации коротких световых вспышек на глубинах океана вплоть до 2 км. Приведены технические характеристики детектора, определяющие его возможности при изучении частотных, временных и амплитудных распределений импульсов-откликов ФЭУ, инициируемых процессами, происходящими в океане. Предложенная структура детектора предполагает его использование в крупных глубоководных экспериментальных установках в качестве элементарной регистрирующей ячейки.

ВВЕДЕНИЕ

Описанный в настоящей работе прибор, который в дальнейшем будет называться квазисферическим измерительным модулем (КИМ), был создан для проведения измерений импульсных характеристик светового фона океана, информация о которых необходима при проектировании крупных глубоководных детекторов, регистрирующих заряженные релятивистские частицы по их черенковскому излучению. При создании такого рода установок, помимо уже имеющихся сведений о спектральном составе глубоководного свечения, природе его возбуждения и изменениях интегральной интенсивности свечения во времени [1], требуются данные о частотных, временных и амплитудных характеристиках импульсов ФЭУ, инициируемых отдельными вспышками. Для получения этих данных была разработана внутримодульная электроника КИМ, позволяющая измерять частоту образования импульсов на аноде фотоумножителей при различных уровнях дискриминации регистрируемых сигналов; частоту совпадений импульсов ФЭУ; электрические заряды, переносимые отдельными импульсами ФЭУ.

1. КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЯ

Общий вид квазисферического измерительного модуля представлен на рис. 1. Основой конструкции КИМ является толстостенный стеклотекстолитовый корпус, состоящий из двух полусфер. Внешний диаметр корпуса — 870 мм, толщина стенок — 90 мм. Полусферы соединяются с помощью бандажных колец и уплотняются на стыках кольцевыми резиновыми прокладками. В корпус вмонтированы шесть плексигласовых иллюминаторов в форме усеченного конуса толщиной 100 мм. Иллюминаторы располагаются симметрично по три в верхней и нижней полусфере так, что их оси составляют декартову систему координат [2]. Таким образом, интегральный телесный угол обзора модуля практически равен 4π . Такая геометрия, помимо прочих преимуществ, обеспечивает возможность изучать объемные корреляции естественного свечения океана.

В качестве регистрирующих элементов детектора используются фотоумножители ФЭУ-49Б с диаметром фотокатода 170 мм и максимумом световой чувствительности в районе 420 нм. Используемые фотоумножители были отобраны по двум параметрам: уровню регистрации слабых световых вспышек и частоте регистрации собственных шумов ФЭУ. Величины эти зависят как от напряжения и режима питания ФЭУ, значения порога регист-

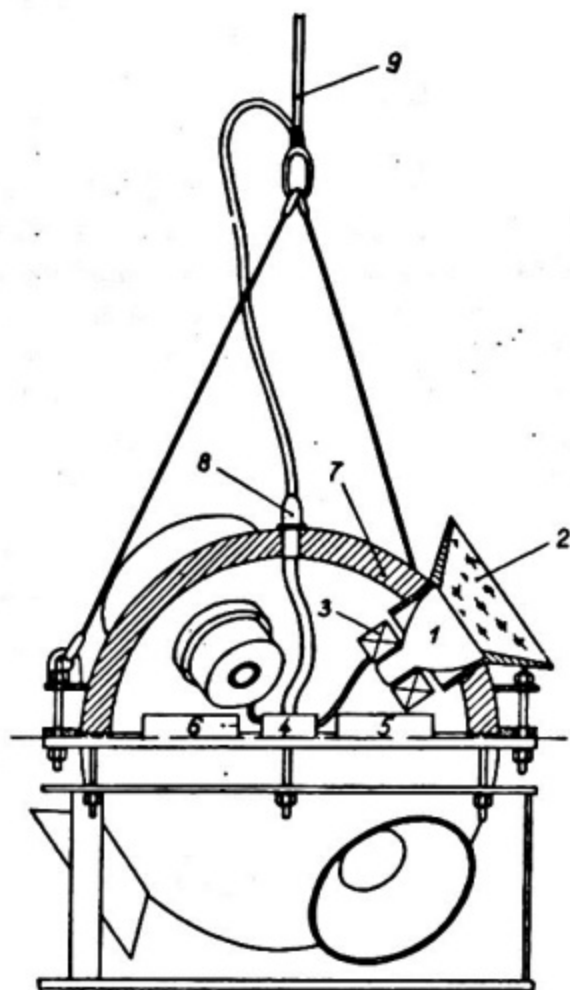


Рис. 1. Конструкция модуля:

- 1 — ФЭУ-49Б; 2 — иллюминатор; 3 — АЦП; 4 — интерфейсный блок; 5 — блок питания; 6 — источник высокого напряжения; 7 — корпус капсулы; 8 — герметичный вход; 9 — кабель-трос

рации импульсов, так и от конкретного экземпляра фотоумножителя. Критерием отбора являлась величина эффективности регистрации одноэлектронных импульсов не менее 90% (при пороге регистрации 100 мкВ, сопротивлении 50 Ом на выходе ФЭУ и напряжении питания < 1700 В), причем частота собственных шумов ФЭУ при тех же условиях и комнатной температуре не должна была превышать 50 кГц. Кроме того, регулировкой режима питания на всех отобранных фотоумножителях был установлен коэффициент усиления, равный 10^6 .

При подготовке ФЭУ особое внимание было уделено стабильности частоты собственных шумов. Лабораторные измерения показали, что при постоянной температуре ФЭУ выходит на рабочий режим по интенсивности шумов примерно через 3—4 часа после включения, в последующее время

частота шумов варьируется на единицы процентов. Более значителен температурный эффект. Зависимость интенсивности шумов от температуры хорошо описывается формулой Ричардсона:

$$I = AT^2 \exp(-\psi/kT),$$

где A — коэффициент пропорциональности; T — абсолютная температура; k — постоянная Больцмана; ψ — термоэлектронная работа выхода фотокатода. Полученная при измерениях температурная зависимость частоты шумов хорошо согласуется с формулой Ричардсона при значении $\psi \approx 0,7 \div 0,9$ эВ.

Фотоумножители вставляются в обоймы иллюминаторов и при помощи пружины поджимаются фотокатодами к внутренней поверхности иллюминаторов. На цоколь ФЭУ надет блок электроники, имеющий форму цилиндрического слоя. Все ФЭУ защищены от влияния магнитного поля Земли экранами из отожженного пермаллоя. Для предотвращения попадания на колбу ФЭУ и высоковольтную часть делителя влажного морского воздуха и конденсата пространство между колбой ФЭУ и экраном заполняется пенопластовым вкладышем. Такая мера предосторожности наряду с герметизацией блоков электроники является необходимой, учитывая неизбежность попадания соленого и влажного воздуха внутрь корпуса при сборке капсулы и выпадения конденсата при понижении температуры во время погружения.

Кроме фотоумножителей и их блоков электроники в сфере размещены следующие приборные узлы: центральный внутримодульный блок управления, интерфейсный блок связи внутримодульной электроники с бортовой ЭВМ, вторичные источники низковольтного и высоковольтного питания. Вывод информации и подвод питания модуля осуществляются по кабель-тросу, который вводится в капсулу посредством герметичного многостыревого разъема типа 2РМГ, выдерживающего давление до 1000 атмосфер. Разъем уплотняется ториковой резиновой прокладкой.

2. БЛОК ЭЛЕКТРОНИКИ ФЭУ

Блок электроники ФЭУ (рис. 2) предназначен для формирования импульса-отклика сигнала с анода фотоумножителя и амплитудного анализа импульса с двенадцатого динода. В состав блока входят формирователь логического ТТЛ-импульса стандартной длительности и функционально законченный аналого-цифровой преобразователь. С анода фотоэлектронного умножителя 22 через быстрый токовый усилитель 1 импульсы поступают на вход формирователя импульсов стандартной длительности с регулируемым порогом 2. Длительность импульсов, подаваемых на вход магистрального усилителя, составляет 40 нс, что обусловлено вре-

менными характеристиками ФЭУ-49Б, а именно джиттером и длительностями переднего и заднего фронтов. Мертвое время формирователя, равное 200 нс, определяет максимальную частоту регистрации импульсов по анодному каналу.

Импульсы с двенадцатого динода поступают в спектрометрический тракт блока электроники ФЭУ. Входным функциональным элементом спектрометрического тракта является двухкаскадный токовый усилитель 4, с выхода которого сигнал разветвляется в аналоговую и логическую цепи. Аналоговая цепь, состоящая из интегрирующей RC -цепочки, корректирующего усилителя 5, пикового детектора со сбросом 6 и устройства выборки-хранения 7, преобразует импульсы тока в постоянное напряжение и подает его на вход аналого-цифрового преобразователя 8. Управляет этим процессом логическая цепь, состоящая из дискриминатора амплитуды запуска 10, двух одновибраторов 11, 12, логического элемента "И" 13 и RS -триггера 14. Импульсы длительностью 40 нс с выхода одновибратора 12 при подтверждении срабатывания дискриминатора амплитуды запуска сигналов "Зп" со схемы внутримодульных совпадений, размещенной в центральном блоке модуля, перебрасывает установочный триггер 14 и запускает АЦП. Выходы преобразователя через шинные формирователи 9, управляемые сигналом коммутации данных "КД", поступающим в блок электроники ФЭУ на магистральный приемник 21 с центрального блока модуля, подключены к внутримодульной шине данных. Элементы 15, 16, 17, 19, 20 обеспечивают режим хранения информации в выходном регистре АЦП и сброс блока электроники в исходное состояние по окончании считывания данных или по поступлению директивного сигнала сброса "Сб" из центрального блока.

Анодный и динодный токовые усилители состоят из двух секций, собранных по схеме "общая база-общий эмиттер". Такое включение транзисторов позволило получить малое входное сопротивление при использовании транзисторов с невысокой электрической прочностью. Для выравнивания амплитудно-частотных характеристик и температурной стабилизации в каждой секции введены отрицательные обратные связи по току и по напряжению. Проводимости равнофункциональных транзисторов первой и второй секций динодного усилителя ($VT 1, VT 3, VT 2, VT 4$ на рис. 3) взаимнообратны, благодаря чему динамический диапазон увеличен в три раза по отношению к стандартной схеме включения. Два каскада дают усиление по напряжению 120 при времени нарастания $t_{\phi} = 3$ нс, причем токовый сигнал усиливается практически без интегрирования. Использование токовых усилителей позволяет блоку электроники ФЭУ выполнять логические операции с минимальным наложением смежных импульсов. Схема дискриминации амплитуды запуска аналого-цифрового преобразователя собрана на интегральной микросхеме К521СА4, позволяющей регулировать порог

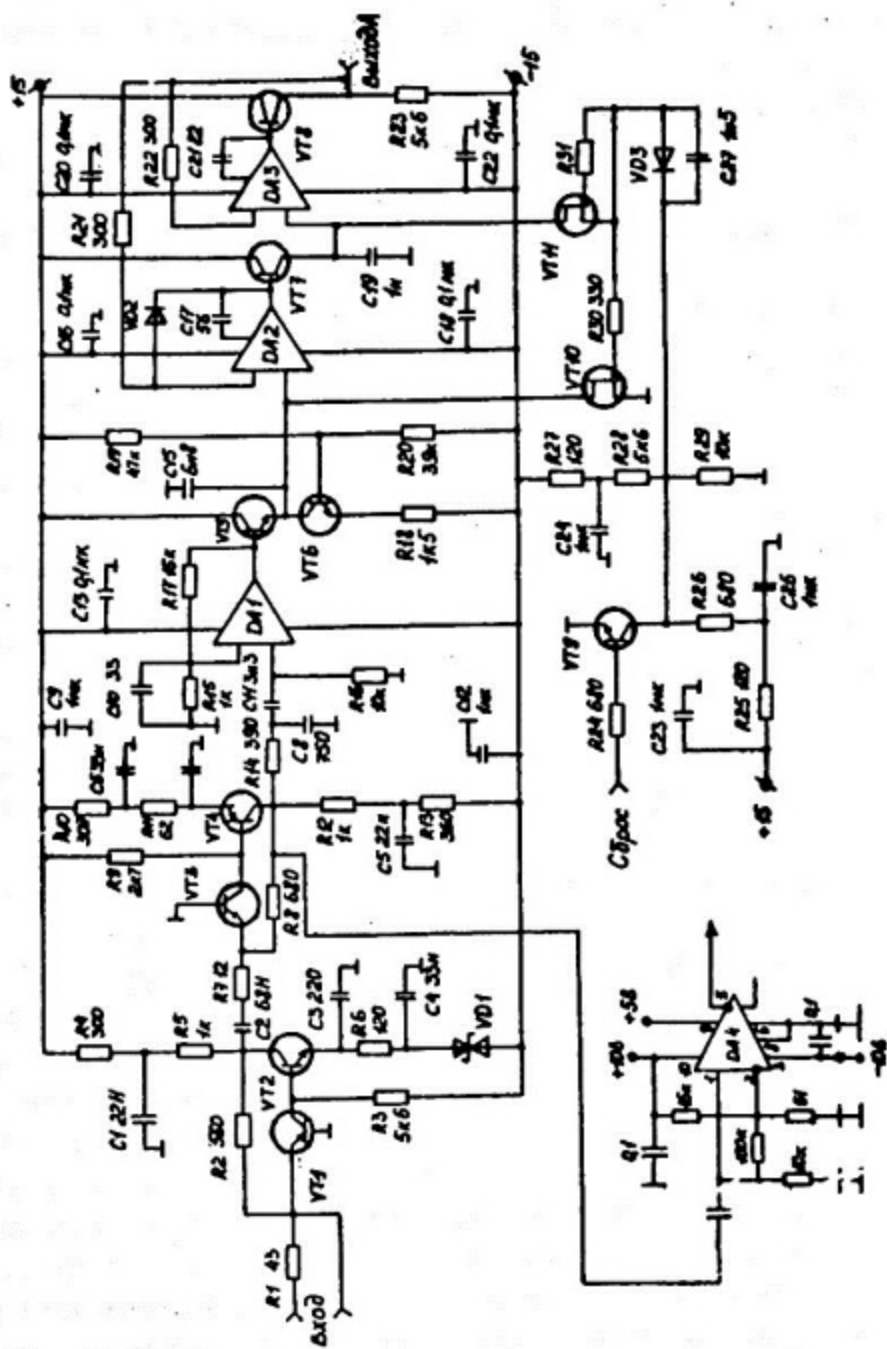


Рис. 3. Принципиальная схема спектрометрического тракта блока электроники ФЭУ

срабатывания АЦП в динамическом диапазоне 600, причем задержка включения формирователя не превышала 26 нс. Постоянная времени интегрирующей цепи ($R14C8$ на рис. 3) составила 300 нс, что соответствовало для импульсов длительностью 30 нс коэффициенту передачи 0,1. Таким образом, импульсы напряжения, амплитуда которых пропорциональна заряду, снимаемому с динода фотоумножителя, поступают на вход амплитудного детектора, выделяющего и хранящего максимальное значение амплитуды. Детектор выполнен по двухкаскадной схеме, особенность которой состоит в исключении транзистора из цепи обратной связи второго каскада, что позволило снизить на порядок температурную нестабильность детектора. Схемно пиковый детектор реализован на транзисторах КТ3102Е ($VT5, VT6, VT7$ на рис. 3), кремниевом диноде КД513А ($VD2$) и двух операционных усилителях К574УД1А, цепь сброса собрана на полевых транзисторах КП302ВМ ($VT10, VT11$ на рис. 3). Описанные выше схемные решения позволили получить линейный диапазон детектора от 10 мВ до 10 В при длительности регистрируемых импульсов свыше 10 нс, при этом ошибка хранения составила 0,025% за время 30 мкс. Амплитуда импульса, выделенного на пиковом детекторе, запоминается схемой выборки-хранения, реализованной на ИМС КР1100СК2, и поступает на вход функционально-законченного АЦП К1113ПВ1. Коэффициент преобразования спектрометрического тракта равен 0,04 пКл/отсч. Приведенный ко входу АЦП шум составил $2 \cdot 10^{-2}$ пКл. Конструктивно блок электроники ФЭУ выполнен на трех кольцевых печатных платах, которые нанизываются на динодную систему и крепятся к плате делителя напряжения питания фотоумножителя. Предложенный конструктив наиболее приемлем при создании подводных измерительных модулей благодаря возможности размещения электронной части в габаритах ФЭУ-49Б.

3. ЦЕНТРАЛЬНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ

Центральный внутримодульный блок предназначен для организации сбора и передачи данных на борт судна в соответствии с заданным алгоритмом работы.

Функциональная схема внутримодульной электроники представлена на рис. 4. Счетно-временная информация с анодного канала электроники ФЭУ 2 через магистральные приемники 3 и схемы формирователей импульсов стандартной длительности 4 поступает на счетные входы двенадцати-разрядных двоичных счетчиков 5 и мажоритарную схему внутримодульных совпадений 7. Магистральные приемники 3 управляются центральным блоком управления и коммутации 8, вырабатывающим импульсы временных ворот. Длительность импульса ворот регулируется от 1 до 750 мс. Макси-

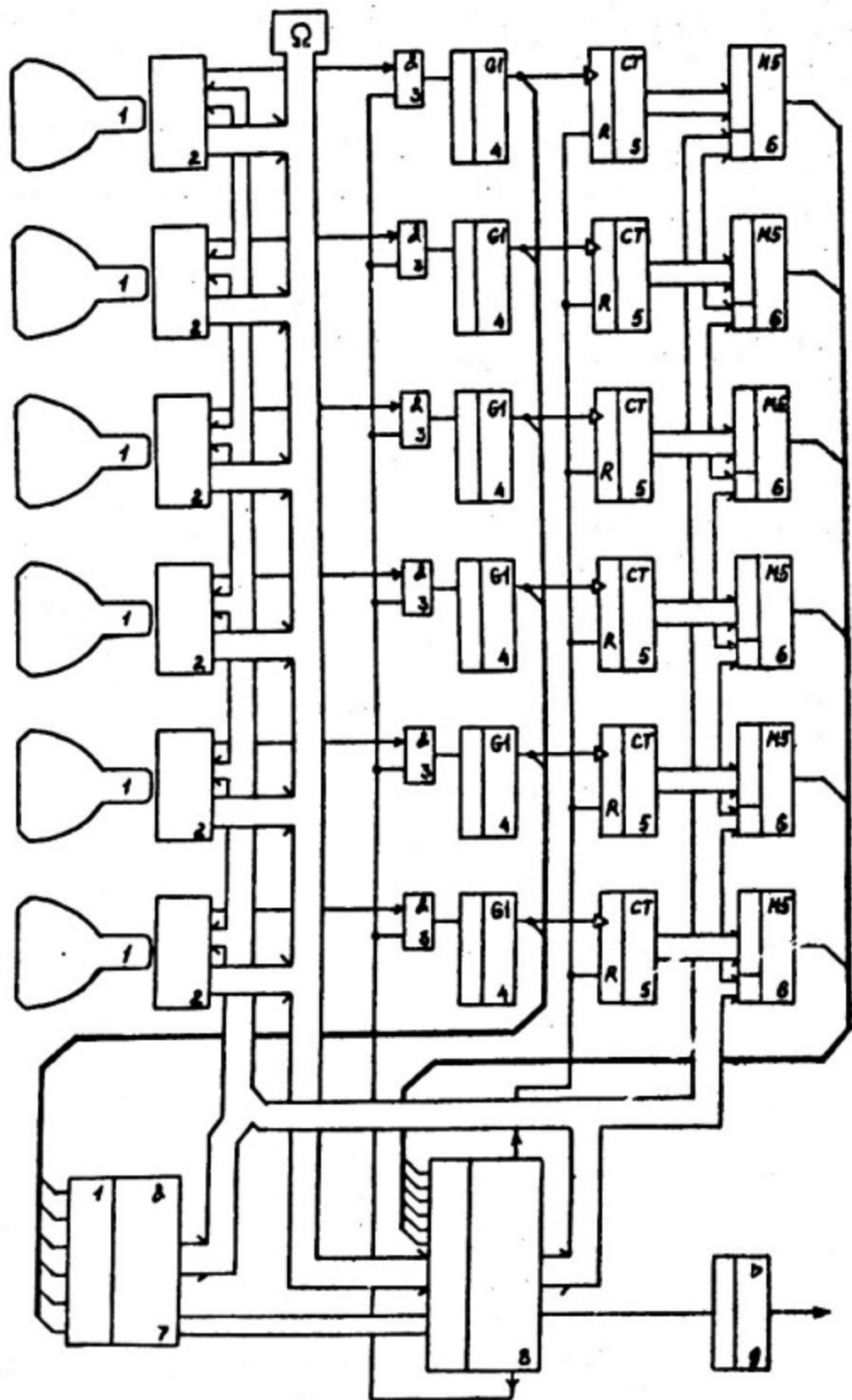


Рис. 4. Функциональная схема внутримодульной электроники

мальная частота загрузки счетчиков анодных каналов была ограничена собственными задержками магистральных приемников и формирователей импульсов и составила 33 МГц. Мажоритарная схема внутримодульных совпадений позволяет реализовать двух-, трех- и шестикратные совпадения с усредненной шириной кривых задержанных совпадений 81 ± 3 нс и вырабатывает импульсы "Зп" подтверждения запуска АЦП с задержкой 55 нс. Мультиплексоры 6 центрального блока преобразуют параллельный код счетной информации по каждому ФЭУ в последовательный код для передачи посредством согласующего усилителя 9 по кабель-тросу в бортовую ЭВМ. В соответствии с вышеизложенным, блок управления и коммутации 8 осуществляет следующие функции: задание времени экспозиции, последовательную коммутацию мультиплексоров счетчиков, мультиплексирование шинных формирователей АЦП и параллельно-последовательное преобразование кодов, счет реализованных мажоритарной схемой внутримодульных совпадений, передачу данных в последовательном коде по кабель-тросу в бортовую ЭВМ.

Скорость передачи информации по кабель-тросу составляет 62,5 кбод, что обеспечивает пересылку одного сообщения из 256 бит за 4 мс. Использование в центральном блоке управления мажоритарной схемы совпадений позволило гибко и с минимальными аппаратными издержками реализовать широкий спектр алгоритмов функционирования регистрирующей электроники черенковского модуля, определяемых условиями и последовательностью набора счетной информации и оцифровки спектрометрических сигналов.

4. БОРТОВАЯ АППАРАТУРА

В качестве бортовой мини-ЭВМ, работающей в режиме реального времени с погружным устройством, используется комплекс вычислительный "Искра-226". Блок приема и расшифровки информации конструктивно выполнен в стандарте блоков интерфейсных функциональных ЭВМ "Искра-226" и вставляется непосредственно в расширитель ввода-вывода ЭВМ, что чрезвычайно удобно при эксплуатации.

Функциональная схема блока интерфейсного приведена на рис. 5. Информационное слово с погружного устройства через входной коммутатор и дискриминаторы верхнего (ДВУ) и нижнего (ДНУ) уровней поступает на схему логических формирователей. Дискриминаторы выполняют функцию защиты от импульсных помех и перенапряжения в линии связи, а формирователи обеспечивают восстановление сигнала до уровней ТТЛ-логики. Сигнал, удовлетворяющий входным требованиям, подается на информационный вход приемного сдвиг-регистра (СР), и одновременно запускается генератор токовых импульсов (ГТИ). При этом начинается последователь-

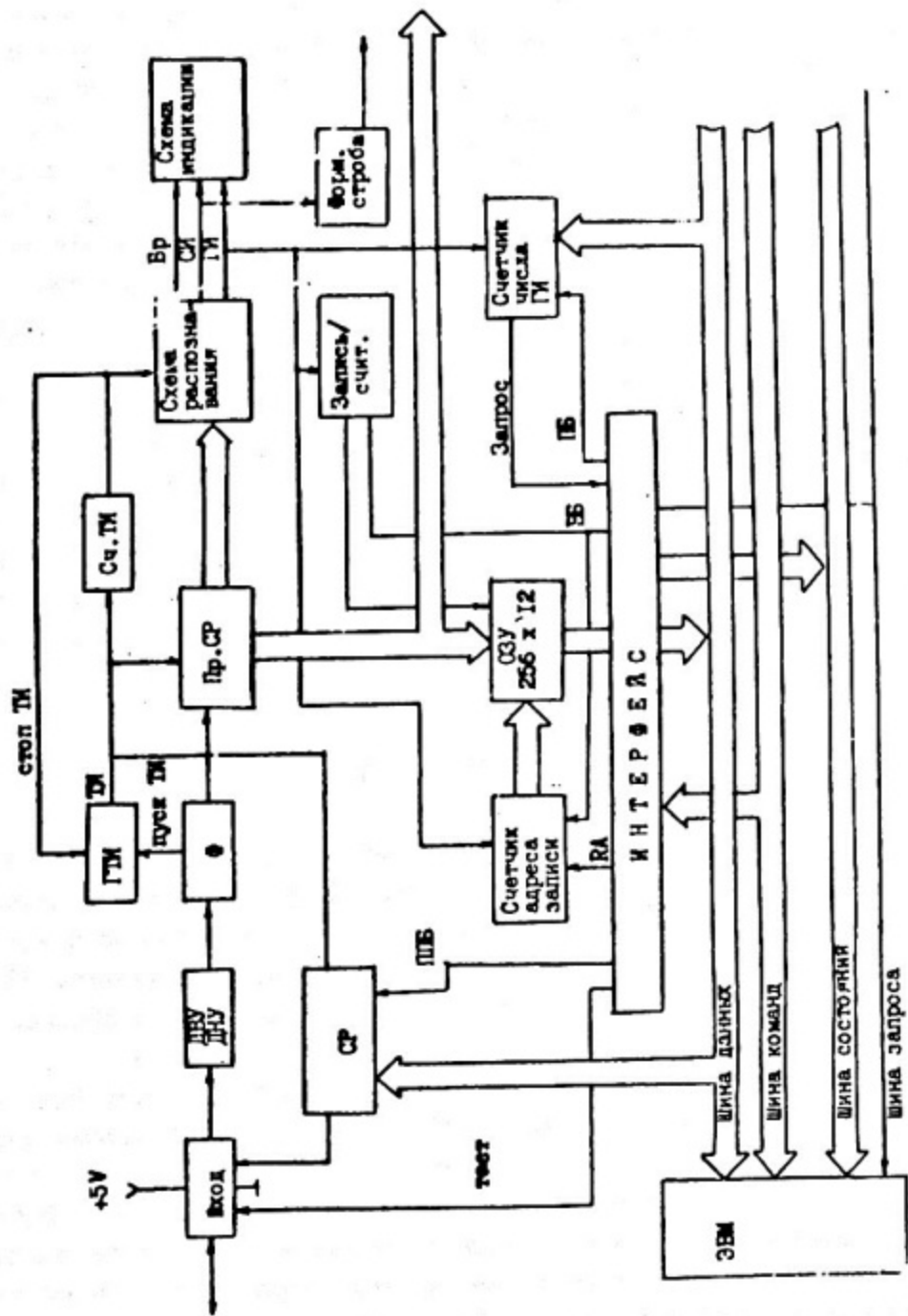


Рис. 5. Функциональная схема интерфейсного блока ЭВМ "Искра-226"

ная запись информации в приемный СР, а по приходу 16-го тактового импульса счетчик ТИ останавливает ГТИ и стробирует схему распознавания. Первое слово записано в сдвиг-регистре, и схема распознавания по содержанию служебных разрядов определяет вид информации.

Если принята информация спектрометрического характера, то она параллельным кодом совместно с синхронизирующим строб-импульсом передается на внешнее устройство. Если же поступившее слово несет в себе информацию, требующую первичной машинной обработки, то сигналом ГИ (гидрологическая информация) запускается схема формирования сигнала записи-считывания в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), разрешающая запись содержимого приемного СР и ОЗУ. После записи в ОЗУ счетчика адреса записи добавляется единица, а из счетчика числа ГИ вычитается единица. При начальной установке счетчик адреса записи обнуляется сигналом РА, а в счетчик числа ГИ по сигналу ПБ засылается число, равное количеству слов в сообщении. Организация ОЗУ 256 x 12 бит, т.е. сообщение может иметь длину от 1 до 256 слов. Обнуление счетчика числа ГИ соответствует завершению приема сообщения, и в ЭВМ выдается сигнал "Запрос", по которому начинается передача содержимого ОЗУ в памяти ЭВМ. Выдача информации производится по сигналу ВБ (выдать байт). По окончании считывания производится начальная установка. Схема индикации предназначена для визуализации режимов работы интерфейса и контроля качества принимаемой информации.

С целью обеспечения возможности самоконтроля в блоке интерфейсом размещен модуль передачи, связанный через входной коммутатор с информационным входом блока. В текстовом режиме ЭВМ сигналом "Тест" переключает вход блока на выход передающего модуля, засылает в передающий СР информацию сигналом ППБ, и вся электроника блока срабатывает согласно описанному алгоритму. Произведя затем считывание информации из ОЗУ и сравнив ее с переданной информацией, ЭВМ делает заключение о работоспособности блока интерфейсного.

Блок интерфейсный является самостоятельной разработкой и может быть использован как в системах сбора данных, так и при организации обмена в сетях передачи данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниже приводятся краткие характеристики квазисферического измерительного модуля.

| | |
|---|-----------------------------------|
| Максимальная глубина погружения | 2500 м |
| Количество и тип ФЗУ | 6 шт. ФЗУ-49Б |
| Квантовая чувствительность фотокатода, усредненная для спектра биолюминисценции [1, 4] | $8,6 \cdot 10^{-2}$ фотозл./фотон |
| Коэффициент усиления ФЗУ | 10^6 |
| Коэффициент усиления входных усилителей | 10^2 |

| | |
|--|-------------------|
| Порог срабатывания дискриминатора импульсов | от 10 мВ до 1,2 В |
| Эффективность регистрации одноэлектронных импульсов при минимальном пороге регистрации | 0,95 |
| Максимальная частота регистрации импульсов с анодного усилителя | 5 МГц |
| Емкость счетчиков анодных каналов | 4096 бит |
| Длительность импульса ворот набора счетной информации .. | от 1 до 750 мс |
| Количество пар ФЭУ, включенных в схему двойных совпадений | 12 |
| Усредненная ширина кривых задержанных совпадений мажоритарной схемы | 81±1 нс |
| Время фронта спектрометрического усилителя | 3 нс |
| Постоянная интегрирования спектрометрического канала . | 300 нс |
| Чувствительность АЦП | 0,04 пКл/отсч. |
| Время преобразования АЦП | 30 мкс |
| Динамический диапазон регистрации | 10 ³ |
| Скорость передачи информации по кабель-тросу в бортовую ЭВМ | 62,5 кбод |

С помощью описанного погружаемого аппарата в первом и втором рейсах НИС "Академик Лаврентьев" был успешно выполнен цикл исследований импульсных характеристик естественного светового фона океана [3].

Следует отметить, что шинная структура внутримодульных блоков и наличие быстрых сигналов от мажоритарной схемы совпадений позволяют на базе описанного аппарата путем простого тиражирования и реализации межмодульных совпадений создавать крупные подводные массивы для регистрации космических релятивистских заряженных частиц по их черенковскому излучению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гительзон И.И. Живой свет океана. — М.: Наука, 1976.
2. Алалыкин В.Г., Гавшин С.Б., Данильченко И.А., Петрухин А.А., Потапов Г.А., Яшин И.И. Оптический квазисферический модуль установки НЕВОД. — Исследование мюонов и нейтрино в больших водных объемах: Труды первой Всесоюзной конференции/ Под ред. Е.В. Коломейца. — Алма-Ата: Изд-во КазГУ, 1983, с. 101—104.
3. Абин А.В., Айнутдинов В.М., Алалыкин В.Г. и др. Исследование характеристик светового фона на различных глубинах Мирового океана. — М.: Препринт/МИФИ, 016-86, 1986.
4. Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. — М.: Атомиздат, 1968.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение. | 3 |
| 1. Конструкция модуля | 3 |
| 2. Блок электроники ФЭУ | 5 |
| 3. Центральный блок управления | 9 |
| 4. Бортовая аппаратура | 11 |
| Заключение. | 13 |
| Список литературы | 14 |

Владимир Глебович Алалыкин
Владимир Викторович Борог
Сергей Борисович Гавшин
Игорь Алексеевич Данильченко
Игорь Викторович Пенин
Анатолий Афанасьевич Петрухин
Геннадий Алексеевич Потапов
Валерий Владимирович Кобылянский
Александр Иванович Мягких
Юрий Матвеевич Харламов

Глубоководный квазисферический детектор
для исследования импульсных характеристик
светового фона океана

Рукопись поступила в издательский отдел 21.11.86

Ответственный за выпуск Г.А. Потапов

Л. — 59646 Подписано в печать 24/ii - 1987г. Формат 60x84 1/16
Объем 1 п.л. Уч.-изд.л. 0,75 Тираж 150 экз. Изд. № 065-86
Заказ 78 Цена . 10 коп.

Типография МИФИ, Каширское шоссе, д. 31