

УДК 534.222.629.584

МОБИЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОДВОДНОЙ НАВИГАЦИИ

**В.В. Безответных,
А.В. Буренин, Ю.Н. Моргунов,
А.А. Тагильцев**

Тихоокеанский океанологический
институт ДВО РАН им. В.И.Ильичева,
Владивосток¹

Описаны основные системы и характеристики аппаратно-программного комплекса, разработанного в ТОИ ДВО РАН для проведения экспериментов, направленных на исследование влияния гидрофизических процессов в морской среде на качество решения навигационных задач с применением стационарных акустических маяков.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ отечественного и зарубежного опыта в области навигационного обеспечения автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) показывает, что технически и экономически целесообразным решением этой задачи является оснащение акватории, на которой выполняют миссии АНПА, системой акустических стационарных источников навигационных сигналов с дальностью действия, не меньшей максимального размера акватории. Необходимость выбора мест для их размещения, определения оптимальных параметров излучаемых сигналов требует проведения многократных предварительных экспериментальных исследований. Наш опыт подобных исследований в заливе Посыета Японского моря [1–3] показал необходимость создания специального мобильного измерительного комплекса, с помощью которого на заданной акватории могут быть смоделированы и оценены различные ситуации и режимы решения навигационных задач.

В статье приводятся описание и результаты экспериментальной апробации аппаратно-программного комплекса, состоящего из двух автономных излучающих систем, имитатора приемной системы АНПА на базе радиогидроакустического буя со встроенной системой GPS и блока обработки навигационных сигналов с вычислением географических координат и отображением на мониторе траектории движения имитатора. Основной особенностью комплекса является возможность передачи в реальном масштабе времени сигнальной информации с гидрофона и данных о координатах надводной части имитатора АНПА по радиоканалу в береговой центр анализа. Это позволяет оперативно, в лабораторных условиях, исследовать влияние гидрологической и сигнально-помеховой обстановки на акватории предполагаемого функционирования АНПА на ошибки определения координат и разработать рекомендации по выбору мест постановки и оптимизации бортовой аппаратуры на АНПА и излучающих системах. Эк-

периментальная апробация комплекса осуществлялась с применением корреляционного приема сложных фазоманипулированных сигналов, которые использовались в качестве навигационных. Но разработанная аппаратура может применяться для исследования и других типов сигналов и методов приема и обработки.

■ ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА

В состав автономной излучающей системы (АИС) входят гермоконтейнер с источником электропитания и аппаратурой, гидроакустический излучатель, универсальная разборная рамная конструкция для транспортировки и постановки системы или ее элементов на грунт и набор сменных соединительных кабелей, длина которых зависит от способа постановки АИС и особенностей района работ. При постановке

690041, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43, тел.: (4232) 311-631, факс: (4232) 312-600, e-mail: morgunov@poi.dvo.ru

АИС в сборе высота излучателя над грунтом составляет 1,5 м (рис. 1). В ряде случаев при выполнении экспериментальных исследований гермоконтейнер доставлялся на необорудованный берег и размещался вблизи уреза воды, а излучатель на кабельной линии выносился на требуемую изобату.

Гермоконтейнер состоит из корпуса и двух торцевых крышек с уплотнениями на стандартных резиновых кольцах круглого сечения. Фиксация крышек на корпусе и их демонтаж осуществляются посредством четырех стяжек из нержавеющей стали диаметром 16 мм. В качестве корпу-

са использована труба из полиэтилена высокой плотности диаметром 450 мм с толщиной стенки 33 мм и длиной 800 мм. Такая конструкция технологична, обладает коррозионной стойкостью и может эксплуатироваться на глубинах до 100 м. Кабельные линии и, при необходимости, датчики температуры и давления подключаются к аппаратуре посредством отдельных герметичных соединителей, расположенных на торцевых крышках. В описываемой комплектации АИС применен цилиндрический пьезокерамический излучатель с наружным диаметром 300 мм и высотой 130 мм. Его

амплитудно-частотная характеристика обеспечивает излучение сложных сигналов с центральной частотой 2500 Гц и их уверенный прием на расстояниях до 25 км.

Функциональная схема АИС представлена на рис. 2.

В качестве навигационных использовались сложные фазоманипулированные сигналы типа М-последовательностей [4]. Кодировщик формирует сигнальный фрейм с помощью сдвигового регистра с определенными обратными связями. Кодирование информации происходит посредством изменения начального состояния сдвигового регистра, и таким образом генерируется циклически сдвинутая последовательность. Номер сдвига определяется алгоритмом работы логического устройства. Сигнальные фреймы поступают на усилитель мощности под управлением логического устройства, функции которого синхронизированы с другими устройствами аппаратно-программного комплекса импульсами системы единого времени (СЕВ). Источником эталонной частоты является прецизионный термостатированный генератор ГК103-ТС-М (относительная нестабильность 10^{-8}). Основным модулем, определяющим логику работы АИС, является плата на основе FPGA Cyclone II фирмы Altera. Электропитание АИС осуществляется от герметичных гелиевых аккумуляторных батарей напряжением 12 В.

В тракте излучения используется усилитель мощности АВ EOS AT-1500Т фирмы Progressive Innovative Technology Inc с номинальной мощностью при включении в мостовом режиме 1100 Вт на нагрузку 2 Ом. Согласование пьезокерамического излучателя с выходными каскадами усилителя осуществляет цепь из повышающего

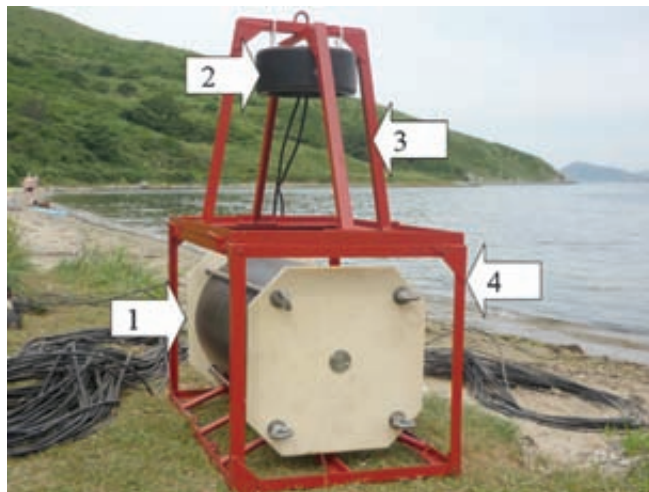


Рис. 1. Автономная излучающая система в сборе: 1 – гермоконтейнер с аппаратурой и источником электропитания; 2 – пьезоэлектрический излучатель, 3 – рама излучателя, 4 – рама гермоконтейнера

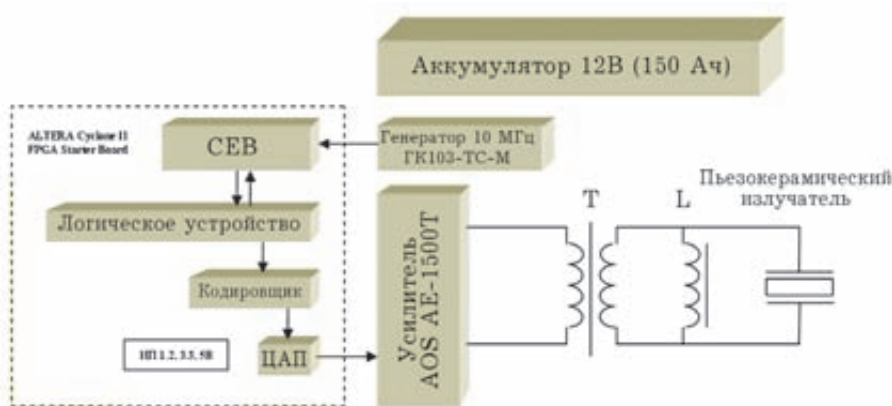


Рис. 2. Функциональная схема АИС: СЕВ – система единого времени, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, Т – трансформатор, L – согласующая индуктивность, ИП – источник питания

трансформатора Т с коэффициентом трансформации 1:8 и согласующей индуктивности L.

Имитатор АНПА (рис. 3) представляет собой приемную дрейфующую систему, гидрофон которой имитирует приемную систему АНПА и может быть размещен на необходимой глубине. Сигналы с гидрофона по радиоканалу передаются в береговой центр, где аппаратурно и программно реализованы имитатор бортовой аппаратуры АНПА и система отображения информации.

Для передачи сигнальной информации был использован модернизированный радиогидроакустический буй, состоящий из ЧМ передатчика с несущей частотой 170 МГц и полосой 80 кГц, усилителя акустических сигналов с полосой до 8 кГц и четвертьволновой штыревой антенны с четырьмя противовесами. Гидрофон соединен с контейнером двухжильным кабелем и может располагаться на заданной глубине в пределах нескольких сотен метров. Дальность устойчивого радиоканала до 10–15 км.

Для точного позиционирования приёмных систем разработан модуль, включающий GPS-приёмник, координаты с которого передаются по радиоканалу с частотой 1 Гц, что позволяет отслеживать дрейф системы с точностью до 5 м. В состав GPS-приёмника входят GPS-антенна АТ-45 и GPS-модуль ЕТ-112. Для передачи координат по радиоканалу информация по протоколу NMEA 0183 поступает на FSK-модулятор, где происходит кодирование информации на частотах 50 кГц и 55 кГц, что соответствует логическим 0 и 1. После кодирования сигнал поступает на сумматор. Гидроакустическая информация, принятая гидрофоном, усиливается и также поступает на сумматор. Далее суммированный сигнал

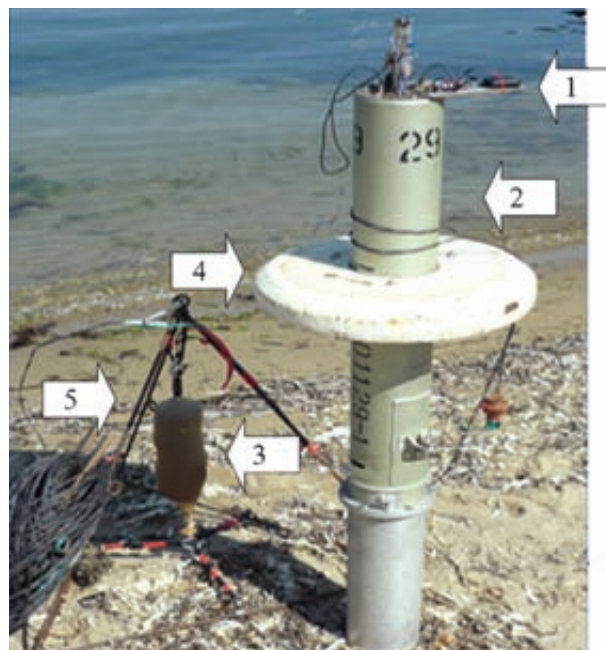


Рис. 3. Морская часть имитатора АНПА: 1 – антенна GPS-приёмника; 2 – гермокорпус; 3 – гидрофон; 4 – поплавок; 5 – ферма

подаётся на передающий тракт и по радиоканалу поступает на береговой блок.

Прием радиосигналов осуществляется широкополосным приемником IC-R10 Icom. Затем сигнал поступает на блок фильтров для выделения гидроакустической и координатной информации. После фильтра высоких частот данные поступают на FSK-демодулятор, на выход которого подключается компьютер через последовательный протокол (COM порт) со скоростью передачи 4800 бит/с. Численные значения координат и времени измерения сохраняются в текстовом файле. После фильтра низких частот выделяется акустический сигнал и подается через линейный выход на два корреляционных приемника. На одном производится свертка с маской излученного сигнала и измерение импульсного отклика на трассе между источником и приемником. На другом сигнал сворачивается с маской ортогональной M-последовательности для измерения корреляционного шума и определения порога обнаружения полезного сигнала. Значение порога принято 1/е. Это значит, что если результи-

рующий сигнал в первом канале превосходит заданный порог относительно второго, то корреляционный максимум полезного сигнала считается обнаруженным.

На рис. 4 приведена структурная схема корреляционных приемников.

Коррелятор разработан на основе платы FPGA Starter Board Cyclone II фирмы Altera. В кристалле программно реализованы все логические модули. СЕВ осуществляет счет времени для определения минутных временных меток, синхронизированных с моментами излучения разнесенных акустических источников. Источником эталонной частоты является прецизионный термостатированный генератор ГК103-ТС-М (относительная нестабильность 10^{-8}). Логическое устройство производит первоначальную настройку и управление всех программных модулей устройства. В кодировщике происходит формирование необходимого выходного сигнала. Результат вычисления корреляционных функций после усреднения и нормировки преобразуется 16-разрядным ЦАП в аналоговый вид

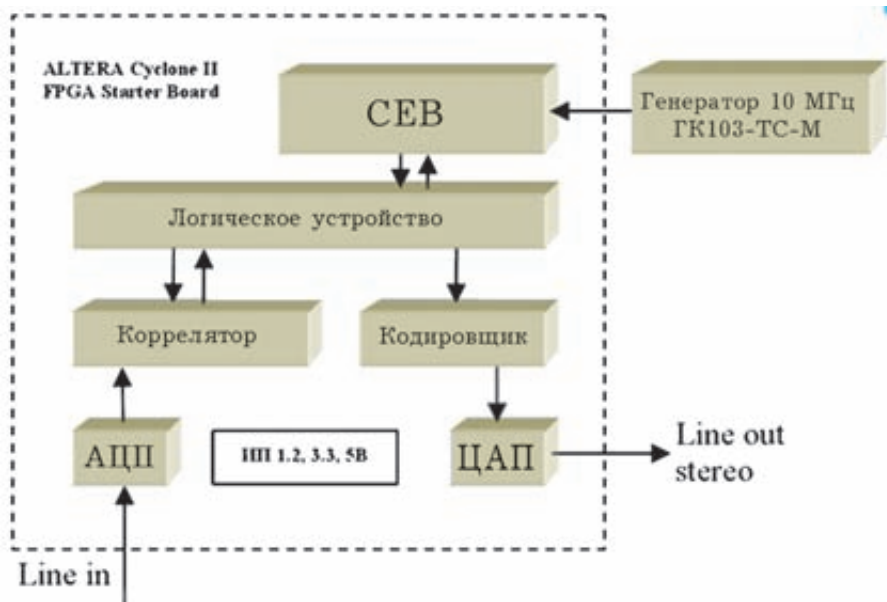


Рис. 4. Структурная схема корреляционного приёмника: ИП – источник питания, АЦП – аналогоцифровой преобразователь, СЕВ – система единого времени, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь

на один из стереофонических каналов. На другой канал ежеминутно подается метка СЕВ в виде нормированного по уровню импульса с длительностью порядка 1 мс. Таким образом, выходной результат представлен в виде линейного стереофонического аудиовыхода для сопряжения с персональным компьютером.

■ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная апробация разработанного аппаратно-программного комплекса неоднократно проводилась в бухте Витязь залива Посыета Японского моря. Вблизи береговой черты на глубине 10 м были установлены два источ-

ника навигационных сигналов (рис. 5). С них с разнесением в 20 с ежеминутно излучались М-последовательности с центральной частотой 2500 Гц, длиной 255 символов, 4 периода на символ. На удалении около 1 км от берега был выставлен буй-имитатор с заглублением гидрофона на 20 м. В начале миссии (дрейфа) были определены географические координаты буя при помощи системы GPS и рассчитаны расстояния до излучателей. По измеренным временам приходов импульсов были определены эффективные скорости звука на трассах и защиты в стандартную программу расчета координат буя по пересечению двух окружностей с известными координатами центров и радиусов в декартовой системе. Радиусы измерялись ежеминутно по временам приходов импульсов. Далее координаты имитатора преобразовывались в географические координаты.

Описанный алгоритм был реализован в системе MATLAB. Разработан графический пользовательский интерфейс, позволяющий в режиме реального времени обрабатывать и отображать на дисплее измеренную информацию о перемещении имитатора на географической карте. Кроме этого рассчитывалась ошибка определения координат путем сравнения с данными GPS. На рис. 6 внешний вид экрана монитора иллюстрирует работу комплекса в одном из экспериментов. Верхнее окно отображает приходы передних фронтов импульсных характеристики (зеленый цвет), вычисленные коррелятором, и метку времени (синий цвет) от системы единого времени (СЕВ). Нижнее левое окно отображает текущую ошибку определения координат в метрах, нижнее правое окно отображает траекторию перемещения имитатора на геогра-

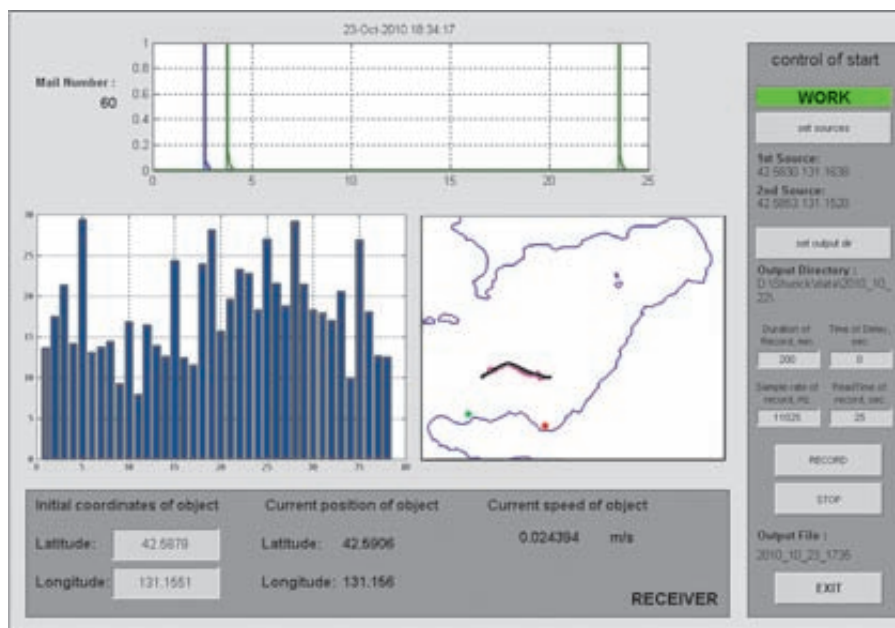


Рис. 5. Отображение работы комплекса на экране монитора

фической карте, полученную с GPS (черный цвет) и рассчитанную по акустическим данным (розовый цвет), местоположение маяков (красный и зеленый цвета) и береговую линию бухты Витязь (синий цвет). Также интерфейс отображает информацию о географических координатах маяков и имитатора и другую полезную информацию. Такое удобное отображение информации позволяет набрать статистический материал по навигационным ошибкам в различных точках диагностируемой акватории и, исполь-

зуя различные сопутствующие измерения гидрофизических параметров морской среды, выработать предложения по их уменьшению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описаны основные узлы и характеристики аппаратно-программного комплекса, позволяющего существенно сократить затраты при проведении исследовательских работ, направленных на совершенствование навигационных систем АНПА. Мате-

риалы, приведенные в статье, иллюстрируют надежность и функциональность разработанного комплекса. Все проведенные эксперименты были осуществлены с использованием моторной лодки. В нескольких случаях комплекс доставлялся в нужное место на автомобиле, гермоконтейнер маскировался на берегу, а гидрофон на надувной лодке устанавливался на необходимой изобате.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00074-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безответных В.В., Буренин А.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А. Экспериментальные исследования особенностей распространения импульсных сигналов из шельфа в глубокое море // Акуст. журн. 2009. Т. 55, №3. С. 374–380.
2. Акуличев В.А., Безответных В.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А. Применение псевдослучайных сигналов для подводной дальнометрии на шельфе // ДАН. 2010. Т. 432, № 4. С. 541–543.
3. Акуличев В.А., Матвиенко Ю.В., Моргунов Ю.Н., Половинка Ю.А., Рылов Р.Н. Пилотный акустический эксперимент по определению координат подводного объекта в шельфовой зоне Японского моря // ДАН. 2010. Т. 433, № 3. С. 394–396.
4. Акуличев В.А., Каменев С.И., Моргунов Ю.Н. Применение сложных акустических сигналов в системах связи и управления подводными объектами // ДАН. 2009. Т. 426, №6. С. 821–823.

