

УДК 542.08

А.В.Агейкин¹⁾, Ю.В. Коротаев¹⁾, Ю.С.Крюков¹⁾, И.М. Саламатин²⁾

¹⁾ Научно–исследовательский институт прикладной акустики;
ул. 9 Мая, д. 7А, г. Дубна Московской области, 141980; kryukov@niipa.ru

²⁾ Объединённый институт ядерных исследований;
ул. Жолио–Кюри, 6, г. Дубна Московской области, 141980; salam@nf.jinr.ru

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОБИЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Получена 31 мая 2010 года

Опубликована 2 июня 2010 года

01.04.06 – акустика

В работе предложен программный комплекс мобильной акустической системы для обеспечения проведения экспериментальных работ с взрывными источниками в полевых условиях и обработки экспериментальных данных в реальном масштабе времени эксперимента. Разработанный комплекс позволяет автоматизировать процесс регистрации физических полей, определение параметров акустических и сейсмических волн, оценку пространственных координат взрывных источников акустического сигнала в условиях ветровых помех. Приведена структура программного комплекса и описаны особенности его функционирования. Приведены примеры обработки экспериментальных данных и определения координат взрывных источников в реальных полевых условиях.

Ключевые слова: Программный комплекс, взрывной источник, акустические волны, пространственные координаты, система мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении экспериментальных работ в полевых условиях, при создании систем мониторинга и контроля выбросов загрязнений, аварий на трубопроводах, грозовых явлений, схода лавин и т.д., актуальной задачей является автоматизация процессов регистрации генерируемых физических полей, обработка данных в реальном масштабе времени и оперативная передача информации о произошедшем событии на пункт наблюдения [1, 2]. При этом

важным моментом является автоматическое определение местоположения произошедшего события и указание его геодезических координат.

В представленном программном комплексе реализована концепция дистанционного управления проведением экспериментов в полевых условиях, автоматической регистрации физических полей, фиксируемых датчиками давления, сейсмодатчиками и фотодиодами, передачи данных на пункт управления и дистанционного определения местоположения взрывных источников, контроля за состоянием работоспособности устройств. Для дистанционной оценки пространственных координат срабатывания взрывных источников и пересчёта их в геодезические координаты разработана программа, основанная на методе локализации местоположения взрывных источников в условиях ветровых помех, приведённом в работе [3].

СОСТАВ МОБИЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

1. Состав системы

Мобильная акустическая система (МАС) представляет собой программно–аппаратный комплекс устройств, работающих в радиосети Ethernet. Структурная схема системы МАС приведена на рис. 1.

Система МАС состоит из следующих аппаратных компонентов:

- 1) автономные модули регистрации– блоки локальных контроллеров (БЛК) с набором датчиков;
- 2) ретранслятор;
- 3) модуль управления системой;
- 4) модуль обработки информации;
- 5) модуль визуализации результатов.

Блоки локальных контроллеров применяются для автоматической регистрации физических полей в реальном масштабе времени и

формируют набор файлов данных для каждого проведённого эксперимента. Полученные записи сигналов в виде файлов передаются через беспроводную сеть на ретранслятор, а затем на модуль управления и модуль обработки по локальной сети. Результаты обработки передаются на модуль визуализации по локальной сети или, при необходимости, могут быть переданы по телефонной линии через модем на удалённое устройство отображения.

Ретранслятор используется для передачи управляющих команд от устройства управления и файлов от БЛК на модуль управления, с применением беспроводного сетевого соединения. К модулю ретранслятора подключены дополнительные устройства: видеосервер для дополнительного визуального контроля хода эксперимента и метеостанция, фиксирующая параметры окружающей воздушной среды.

Модуль управления используется для дистанционного управления работой МАС и выполнения контроля состояния устройств. В модуле обработки выполняется обработка данных эксперимента и осуществляется документирование результатов эксперимента. На модуле визуализации производится отображение получаемых результатов. Передача информации от модуля обработки на удалённый модуль визуализации выполняется через телефонную сеть.

Программный комплекс МАС построен по модульному принципу, что позволяет:

- 1) управлять всеми устройствами системы в процессе работы с использованием простых и надежных методов;
- 2) расширять имеющуюся систему и настраивать её для решения новых задач простым добавлением новых модулей;

3) модифицировать отдельные аппаратные и программные компоненты системы без необходимости изменения остальных компонентов в зависимости от сферы применения МАС.

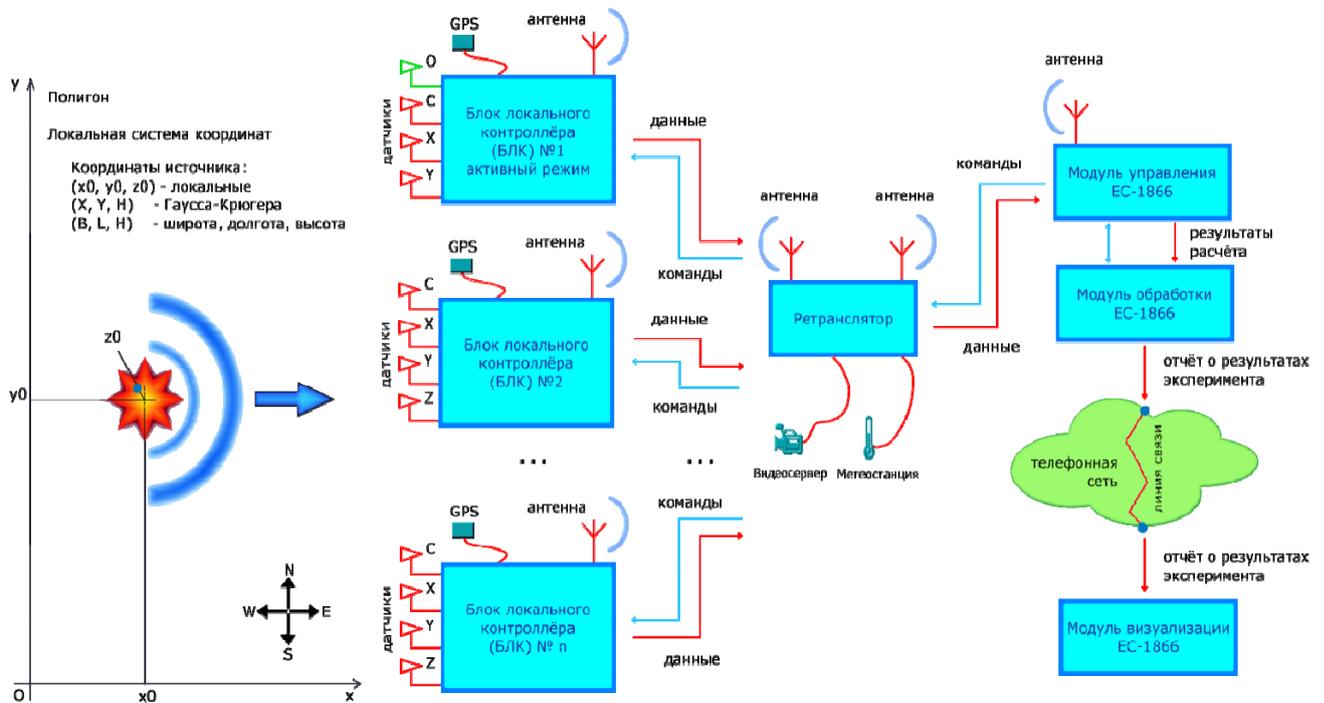


Рис. 1. Структурная схема мобильной акустической системы

2. Организация сети

Программный комплекс МАС основан на использовании сетевого оборудования для организации беспроводного соединения и программного обеспечения для передачи управляющих команд и потоков данных. Используются следующие компоненты сетевого обеспечения:

- сетевые протоколы для передачи данных User datagram protocol (UDP);
- компоненты операционной системы Microsoft Windows «сеть Microsoft Windows».

Дополнительно разработан собственный протокол передачи команд и данных между устройствами сети. Сеть организована по типу «клиент–сервер», в котором сервером является модуль управления, а клиентами – БЛК и другие устройства. Передача команд с пульта управления осуществляется с помощью протокола UDP. Преимущество протокола UDP по сравнению с протоколом TCP/IP заключается в упрощении процесса передачи управляющих команд и данных через сеть:

- не требуется поддерживать постоянного сетевого соединения со всеми клиентами (БЛК подключаются по команде с модуля управления);
- не требуется хранить список подключенных клиентов на управляющем компьютере (это существенно упрощает код программы–сервера);
- управляющие команды могут быть переданы в обоих направлениях (это обеспечивает уменьшение времени на организацию передачи, приема и распознавания команд);
- имеется возможность динамического формирования конфигураций используемого оборудования в процессе работы;
- повышается надёжность системы (отключение одного или несколько клиентов от сети не приводит к нарушению работоспособности всей системы);
- снижается нагрузка на сеть;
- вся информация о конфигурациях сети хранится только в управляющем компьютере (не требуется передачи конфигурационных данных на каждый элемент сети, что упрощает управление элементами системы).

Передача данных с результатами регистрации сигналов от БЛК осуществляется с помощью компонента «Сеть Microsoft Windows».

Организована локальная вычислительная сеть (ЛВС) с предоставлением общего доступа к папкам и файлам устройств сети, к которой подключён модуль обработки МАС.

3. Программное обеспечение управления МАС

Программное обеспечение модуля управления реализовано по принципу «клиент–сервер»: на управляющем компьютере установлена программа–сервер (base.exe), а на каждом из БЛК установлена программа–клиент (WLcli.exe). Данные программы запускаются сразу после включения устройств и загрузки операционных систем в каждом элементе сети.

Программа–сервер находится в постоянном ожидании запросов регистрации от программ–клиентов и при получении запроса осуществляет регистрацию нового клиента (модуля БЛК) в конфигурационной базе данных. Программа–клиент после запуска осуществляет периодическую передачу запроса регистрации на управляющий компьютер и, при успешной регистрации запроса, переходит в режим ожидания команд от управляющего компьютера.

Для управления работой всей системы программа–сервер предоставляет оператору простой в использовании графический интерфейс. Оператор имеет возможность:

- задать используемые в работе модули БЛК простым выбором нужной конфигурации из списка конфигураций;
- задать параметры регистрации сигнала (типы модулей БЛК, длительность записи сигнала, порог срабатывания оптического сигнала);
- подать команду начала регистрации;
- проверить состояние работоспособности компонентов системы (БЛК, GPS, метеостанции, аккумуляторов).

Внешний вид графического интерфейса управляющей программы base.exe приведён на рис. 2.

Программа управления base.exe реализована в системе программирования «Borland Delphi 6» [4] и работает под операционной системой «Microsoft Windows XP».

В главном окне программы управления отображается следующая информация:

1) выбранная конфигурация устройств для регистрации сигнала (панель «Управление»): текущая площадка со списком подключаемых БЛК, продолжительность регистрации, порог срабатывания оптического сигнала;

2) состояние готовности системы к регистрации сигналов (индикаторы «Готовность»): подключение всех БЛК, задействованных в процессе регистрации сигнала, состояние синхронизации (доступности сигналов GPS), состояние работоспособности метеостанции, состояние уровня зарядки аккумуляторов в блоках питания. Зеленый цвет индикатора говорит о готовности соответствующего устройства, красный – о неготовности, серый – о недоступности информации о состоянии устройства;

3) режим регистрации (предусмотрено задание двух типов режимов: «Автоматический» при появлении вспышки и «Принудительный» при нажатии кнопки запуска процесса регистрации «СТАРТ»);

4) дополнительная информация: текущее время, время, прошедшее от старта регистрации, метка данных процесса регистрации;

5) в панели «Состояние» отображается протокол работы;

6) конфигурирование системы осуществляется в окне «Конфигурация»;

7) состояние всех БЛК отображается в окне «Состояние системы МАС».

8) полный протокол сообщений и ошибок отображается в окне «Протоколы».

9) Старт регистрации осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».

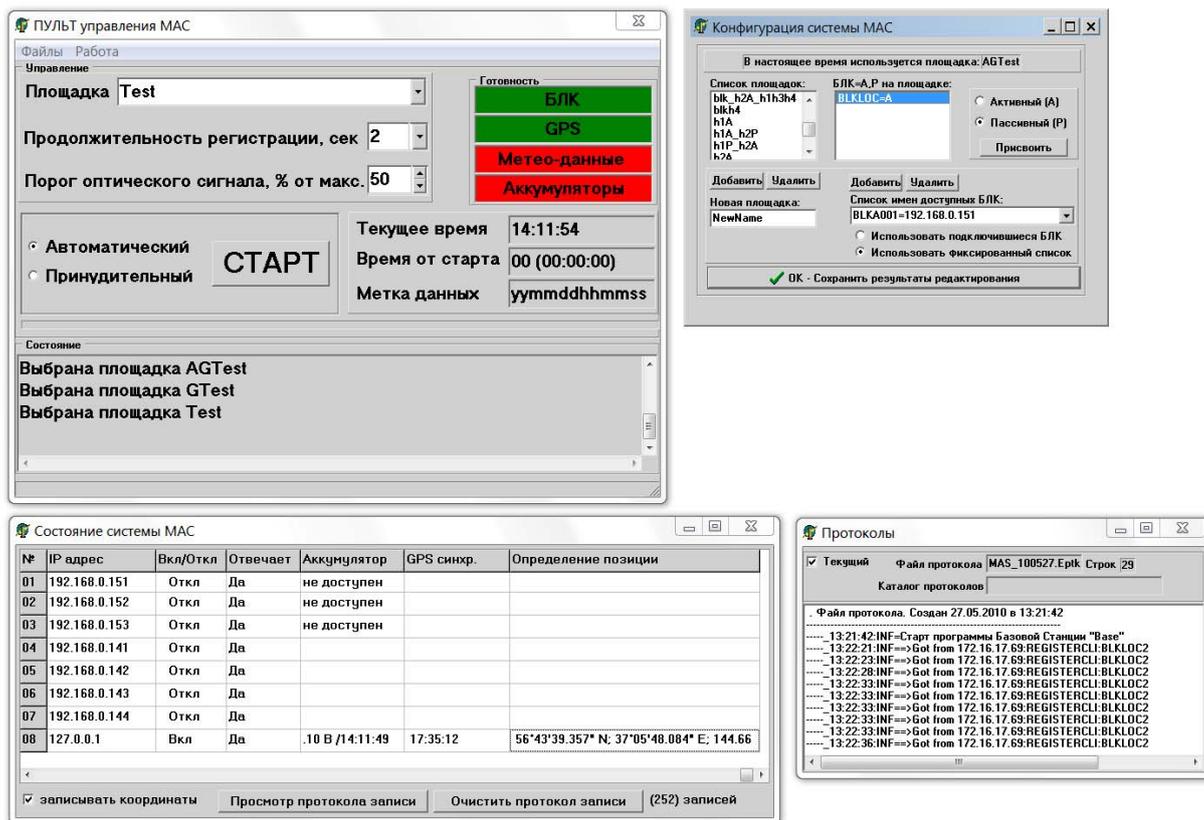


Рис. 2. Графический интерфейс программы управления MAC

Графический интерфейс программы–клиента, установленной на БЛК приведён на рис. 3. Программа разработана в системе программирования «Borland Delphi 6» и работает под операционной системой «Microsoft Windows 98».

Программа работает в БЛК автономно без вмешательства оператора, запускается автоматически после включения модуля. Пользовательский интерфейс используется только для настройки и отладки и приведен для справки. В главном окне отображается состояние подключения к сети, состояние АЦП, протокол сообщений и ошибок. В MAC использовано встроенное в системную плату одноплатного компьютера АЦП фирмы «Diamond systems» [5]. В окне «Log: BLK» отображается подробный протокол

работы БЛК, который может быть полезен в период настройки и отладки МАС. В окне «Trimble GPS» отображается состояние GPS–приёмника.

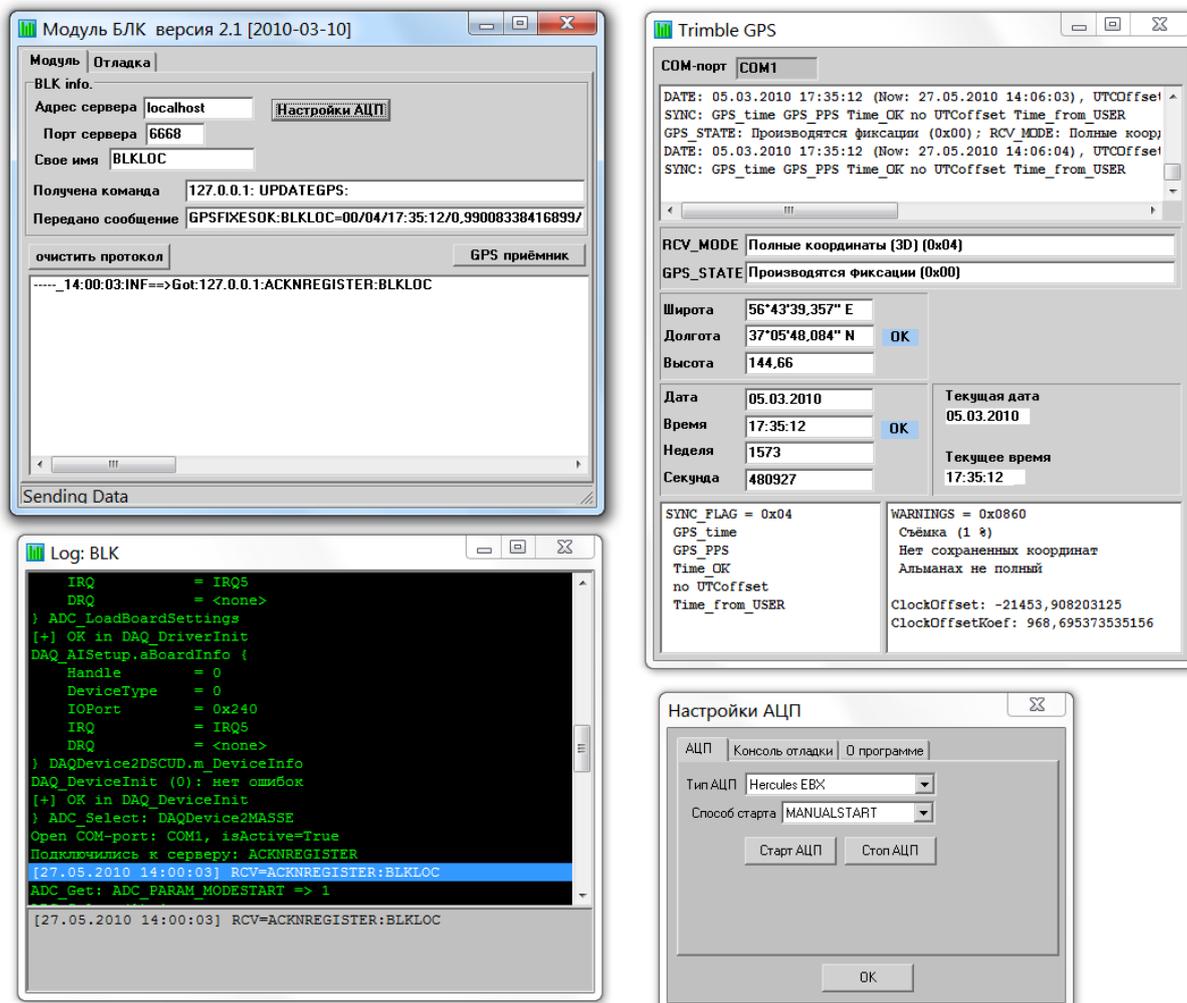


Рис. 3. Графический интерфейс программы–клиента

Регистрация сигналов осуществляется оператором нажатием кнопки «СТАРТ» в главном окне программы управления.

При получении от оператора команды произвести регистрацию сигнала программа–сервер посылает всем клиентам команду регистрации. Программы–клиенты, установленные на БЛК, при получении этой команды запускают АЦП и производят регистрацию сигналов с подключенных к БЛК датчиков. К

каждому БЛК могут быть подключены от одного до четырех датчиков разных типов (датчики давления, сейсмодатчики и датчики оптические). По завершении процесса регистрации файлы данных автоматически упаковываются и передаются на управляющий компьютер с использованием соединения по радиосети.

Предусмотрено два способа запуска регистрации сигналов:

1. «автоматический старт» – запуск происходит при превышении заданного значения порога ожидаемого оптического сигнала с датчика, подключенного к первому каналу «активного» БЛК (фиксация вспышки от взрывного источника);

2. «принудительный старт» – запуск происходит синхронно на всех БЛК без ожидания оптического сигнала;

Программы–клиенты на БЛК могут работать в следующих режимах:

– «активный режим» – к первому каналу БЛК должен быть подключен оптический датчик, регистрация сигнала начинается при превышении заданного порога оптического сигнала, на управляющий компьютер сообщается время начала регистрации, с сервера поступает команда начала регистрации для остальных БЛК;

– «пассивный режим» – старт регистрации сигнала начинается по команде от управляющего компьютера.

Особенностью регистрации сигналов МАС является синхронизация по времени записи – полученные файлы данных от разных пространственно разнесённых БЛК имеют идентичные времена начала записи с погрешностью не превышающей ± 50 мкс, что является существенным для алгоритмов определения координат срабатывания взрывных источников [3].

Синхронизация осуществляется с помощью компонента БЛК – приёмника GPS–сигнала и разработанного алгоритма анализа момента времени появления оптического сигнала относительно секундного сигнала PPS.

По завершении процесса регистрации сигналов на каждом БЛК формируется набор файлов данных со своими метками. Кроме того, для каждого процесса регистрации формируются дополнительные файлы: файл метеопараметров текущей погодной обстановки в месте проведения эксперимента от метеостанции (компонент «Метеостанция»), файлы параметров АЦП для каждого модуля БЛК. В качестве дополнительного средства контроля проведения эксперимента используется компонент «Видеосервер», осуществляющий видеозапись процесса выполнения экспериментальных работ.

Для каждого отдельного опыта в процессе выполнения экспериментальных работ формируется один набор файлов данных с индивидуальной меткой данных, отображаемой в поле «Метка данных» в главном окне программы управления. Указанные наборы данных при неоднократной регистрации сигналов формируют список опытов. Файлы данных располагаются на жёстком диске управляющего компьютера в виде внутренней базы данных текущего эксперимента.

4. Программа обработки экспериментальных данных

Для обработки получаемых в процессе регистрации файлов данных было разработано программное обеспечение «Программа обработки МАС». Программа создана в системе программирования «Microsoft Visual Studio 2008» и работает под операционной системой «Microsoft Windows XP/Vista/Windows 7» при наличии установленного пакета «Microsoft .NET Framework 2.0».

Структурная схема программы обработки приведена на рис. 4.

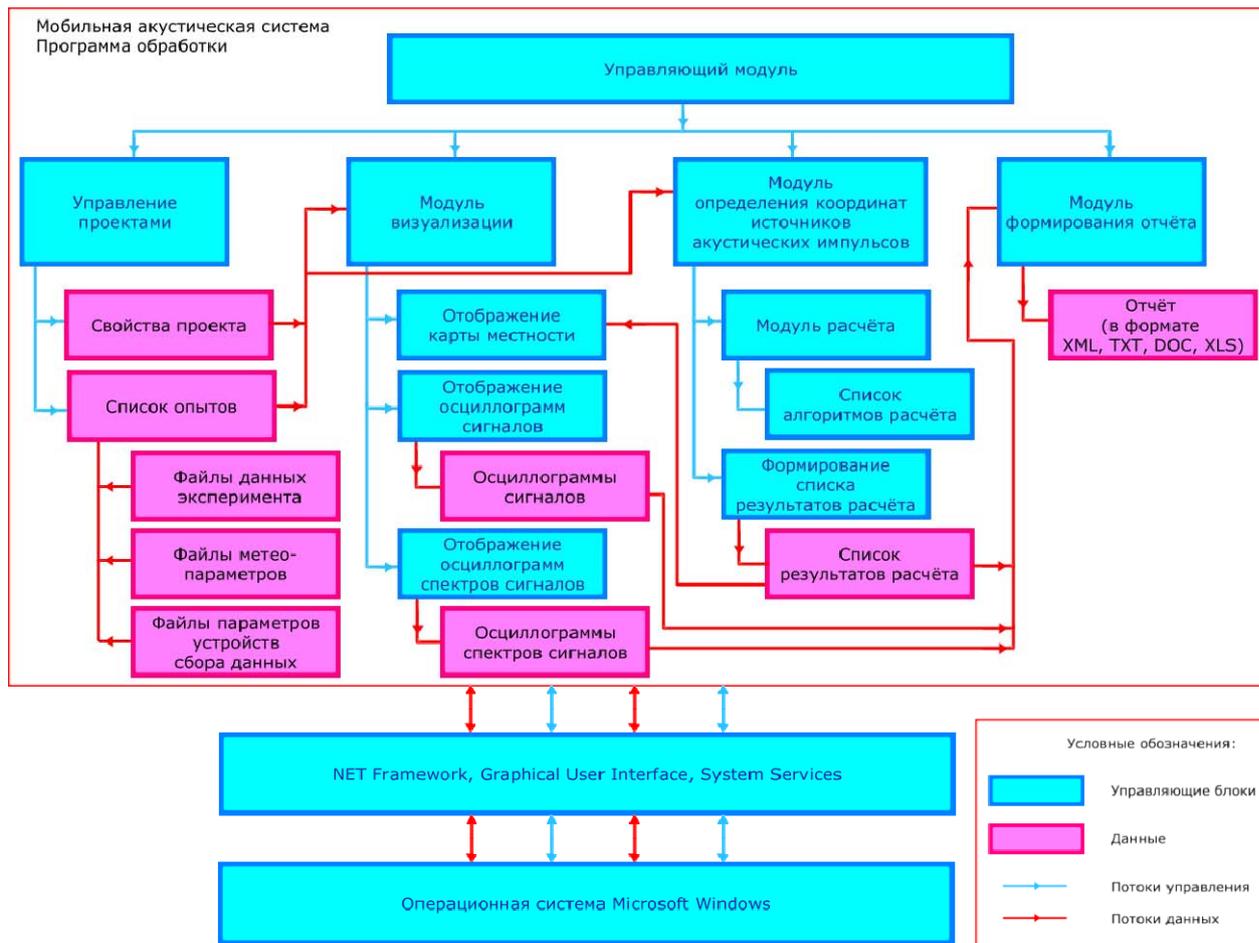


Рис. 4. Структурная схема программы обработки

В основе построения программы обработки используется понятие проекта – набора управляющих параметров, алгоритмов, графической информации и файлов данных. Проект сохраняется на диске в виде файла с расширением «masproj», в котором хранятся значения параметров проекта и ссылки на файлы данных.

Пользовательский интерфейс программы представляет собой главное окно с набором страниц для управления отдельными этапами обработки данных эксперимента. Страницы переключаются нажатием левой кнопкой мыши на заголовке страницы.

Страница «управление проектом» (рис. 5) используется для создания и сопровождения файла проекта и содержит управляющие параметры (название проекта, ссылку на каталог данных, идентификационную информацию, определение локальной системы координат, список модулей БЛК и т.д.).

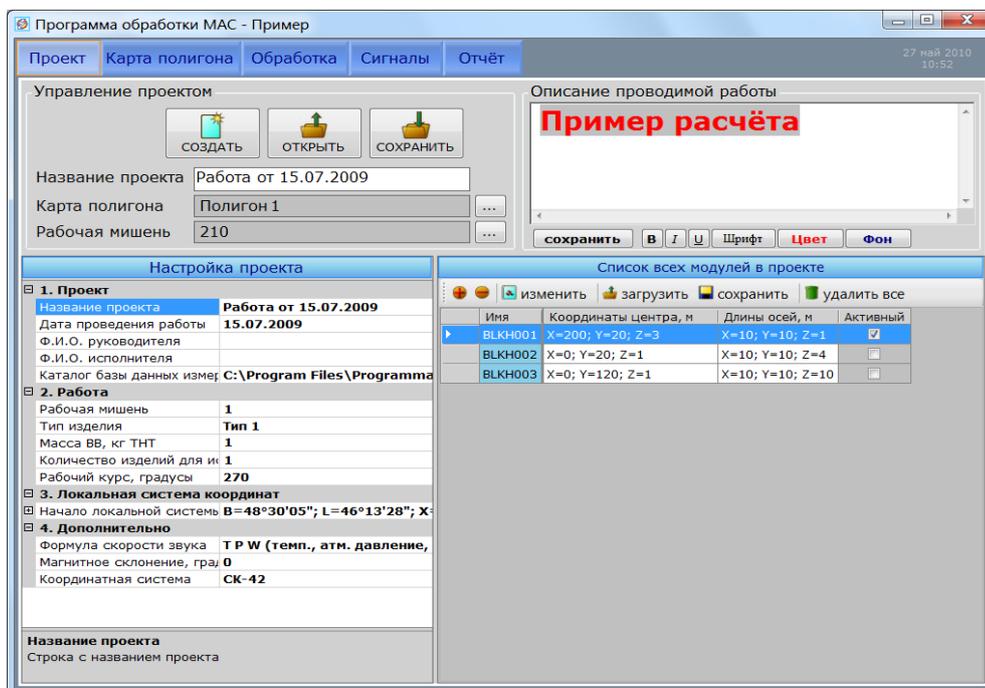


Рис. 5. Интерфейс страницы «управление проектом» программы обработки

Страница карты местности (рис. 6) используется для отображения карты местности, на которой выполняются работы, а также для визуализации результатов расчёта. На карте отображается геодезическая координатная сетка (в проекции Гаусса–Крюгера), границы измерительной площадки, условное название местности, БЛК в виде значков («ВЛК001»), точки расположения импульсных источников.

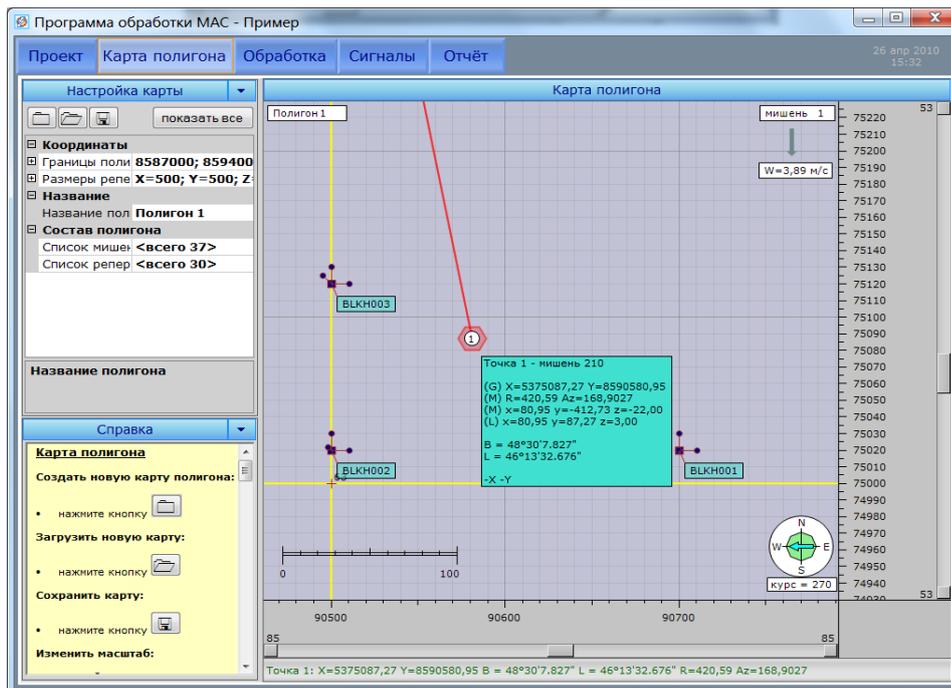


Рис. 6. Страница визуализации карты местности программы обработки

Дополнительно отображается направление (стрелка) и сила ветра во время проведения регистрации сигналов.

Страница расчёта параметров (рис. 7) используется для настройки и проведения анализа и расчёта требуемых параметров сигналов на основе исходных данных, получаемых от модулей БЛК через беспроводную сеть. На странице отображается список опытов, значения параметров для выбранного опыта (список используемых модулей, метеопараметры). Анализ файлов исходных данных заключается в распознавании в записях шумов полезных сигналов и нахождении для каждого импульсного сигнала его временных, амплитудных и энергетических параметров. Идентифицированные импульсы формируются в список импульсов на вкладке «Импульсы» и используются при дальнейшем расчёте. Для анализа сигналов необходимо настроить параметры поиска импульсов на странице «Сигналы» (рис. 8), а затем нажать кнопку «Анализ».

Для произведения расчёта необходимо выбрать алгоритм расчёта во вкладке «Алгоритмы» и настроить параметры алгоритма. Расчёт выполняется автоматически нажатием кнопки «Расчёт». Результатами расчёта является список координат взрывных источников, которые автоматически отображаются на карте в геодезических координатах местности.

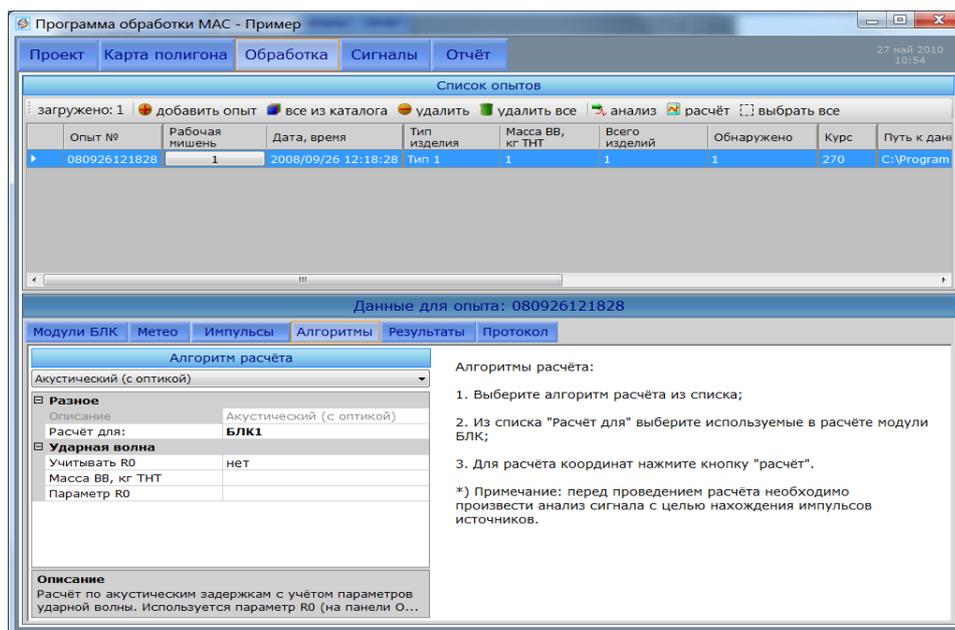


Рис. 7. Страница модуля расчёта программы обработки

Страница визуализации осциллограмм и спектров сигналов выполнена в виде интерактивного интерфейса аналогично работе [6] (рис. 8).

Графическая оболочка дает возможность настроить параметры поиска и произвести анализ импульсных сигналов. Результатами анализа является список идентифицированных импульсов от взрывных источников, начальные моменты времени которых отображаются на графике сигнала в виде вертикальных линий с метками времени. Метки времени импульсов полученные с трёх датчиков, определённым образом расставленных на местности, при обработке позволяют дистанционно определить местоположение взрывного источника [3]. Для сохранения графиков

осциллограмм и спектров сигналов в базе данных программы достаточно нажать кнопку «Графики» на панели «Список сигналов».



Рис. 8. Панель визуализации осциллограмм и спектра сигнала

По результатам обработки данных конкретного эксперимента формируется отчёт. В отчёт включается: управляющая информация о проекте, карта местности в геодезических координатах с условными обозначениями точек срабатывания взрывных источников, список источников и их координаты, временные, амплитудные и энергетические параметры импульсов. Возможно сохранение отчёта в форматах XML, Microsoft Word (DOC).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера применения программного комплекса для расчётов приведём результаты дистанционного определения координат срабатывания взрывных источников массой 400 г тротила в полевых условиях, приведённые в работе [7].

При наземных срабатываниях тротиловых шашек массой 400 г при их удалении до 1 км были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты срабатывания тротиловых шашек массой 400 г

Номер испытания	Измеренные инструментальным способом		Расчет		Ошибка		Относительн. погрешность, %
	X, м	Y, м	X _p , м	Y _p , м	ΔX, м	ΔY, м	
1	204,670	556,667	204,65	556,98	-0,020	0,313	0,05
2	204,670	556,667	205,13	557,07	0,460	0,403	0,08
3	204,670	556,667	204,78	557,56	0,110	0,893	0,15
4	156,597	628,835	156,55	629,14	-0,047	0,305	0,05
5	156,597	628,835	156,84	629,43	0,243	0,595	0,09
6	156,597	628,835	156,70	629,07	0,103	0,235	0,04
7	103,641	631,593	103,60	630,53	-0,041	-1,063	0,17
8	098,746	607,152	098,96	607,27	0,214	0,118	0,03
9	140,569	651,814	138,99	652,08	-1,579	0,266	0,24
10	156,597	628,835	156,30	629,92	-0,297	1,085	0,17

При расстояниях от модулей регистрации до взрывных источников от 593,1 до 666,8 м диапазон погрешностей определения координат составил от 0,03 до 0,24% относительно удаления от источников.

Результаты экспериментальных работ с взрывными источниками показали, что МАС позволяет определять координаты их местоположения с погрешностью до 0,3 % на расстояниях до 1 км.

Использование программного комплекса МАС позволяет автоматизировать проведение экспериментальных работ с взрывными источниками, повысить безопасность проведения работ, сократить время выполнения экспериментов, оперативно контролировать процесс эксперимента, что в итоге существенно повышает эффективность научных исследований.

В практическом плане принципы и методы, заложенные при создании программного–алгоритмического комплекса МАС могут найти широкое применение в автоматизированных системах контроля различного назначения,

в создании беспроводных распределённых сетей охраны периметров и систем автоматизации научных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система контроля аварийных выбросов (АСКАВО), 29.09.2009 [Электронный ресурс] // Транзас. Электронные технологии : [сайт Группы компаний «Транзас»]. [2001–2010]. URL: <http://www.transas.ru> (дата обращения: 24.05.2010).
2. Современные противолавинные системы контроля [Электронный ресурс] // ГОРИМПЕКС. Горы для людей : [сайт Группы компаний «Горимпекс»]. [2031–2010]. URL: <Http://www.gorimpex.ru> (дата обращения: 26.05.2010).
3. Крюков Ю.С. Метод определения пространственных координат взрывных источников акустического сигнала в условиях ветровых помех // Электронный научный журнал «Молекулярные технологии». 2010. Т.4. С. 122–137.
4. Гофман В., Хомоненко А. Delphi 6. Наиболее полное руководство // СПб. : БХВ–Петербург, 2001. 1152 с.
5. Hercules II EBX SBC [Электронный ресурс] // Diamond Systems Corporation: [сайт компании Diamond Systems Corporation [2001–2010]. URL: <http://www.diamondsystems.com/products/herculesebx> (дата обращения: 26.05.2010).
6. Агейкин А. В., Крюков Ю. С. Интерактивная графическая оболочка для анализа многоканальных акустических сигналов : сб. трудов 10 сессии РАО, Т. 2., М.: ГЕОС, 2000, С. 40–43.
7. Крюков Ю.С., Коротаев Ю.В. Программно–аппаратный комплекс для дистанционного определения координат импульсных источников акустических шумов и оценка их энергетических параметров : сб. трудов 22 сессии РАО. М.: ГЕОС, 2010 (в печати).