УДК 621.396

А.А.КАЛМЫКОВ, В.И.ЕЛФИМОВ
Уральский технический университет, г.Екатеринбург

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены принципы построения комплекса, позволяющего в оперативном режиме проводить обследование водных объектов и гидротехнических сооружений. В состав комплекса входит совокупность приборов, работающих на различных принципах, и алгоритмы объединения данных измерений, увеличивающие полноту контроля обследуемых объектов. Приборное обеспечение комплекса включает следующие аппаратные средства: подповерхностный радиолокатор для построения трехмерных изображений (объемных карт) подповерхностного слоя до глубин 30-50 м при скорости съемки разреза до 20 км/ч; подповерхностный акустический локатор для построения трехмерных изображений (объемных карт) подповерхностного слоя; многоканальный эхолот для площадной съемки рельефа донной поверхности водоемов и структуры донных образований; расходомер-уровнемер для измерения скорости, расхода и уровня жидкости в трубопроводах, открытых стоках и открытом русле; навигационную систему для сопровождения площадных съемок и привязки данных измерений различными методами в пространстве и во времени. Результаты, полученные в процессе выполнения работы, используются на кафедре радиоэлектроники информационных систем для обучения студентов специальности 2007 «Радиотехника».

Principles of developing the complex allowing to research water objects and hydroengineering buildings in operative mode are overviewed. The complex includes set of devices working by different principles, algorithms of data collection from such devices allowing to increase completeness of control the objects to study. Methods of echo-signals processing providing necessary accuracy of measurements are optimized. Software is under development.

The hardware of the complex includes a number of instruments: subsurface radio locator for formation 3-D images (volume maps) of the subsurface layer up to depth of 30-50 m at velocity of mapping up to 20 km/h; subsurface acoustic locator dedicated for formation of 3-D images (volume maps) of subsurface layer; multi-channel echo locator, dedicated for area mapping of bottom surface of basins and of structure of bottom sediments; flow/level meter, dedicated for velocity, flow and level measurements in tubings, open streams and open channels; navigation system for performing area mapping and positioning of the bottom measurements by different methods in time and space. The results, obtained during this investigation, are used by dept. Radio-electronics of information systems in courses for students of speciality 2007 «Radiotechnics».

Создание комплекса аппаратных, алгоритмических и методических средств и разработка передвижной (мобильной) лаборатории дистанционного мониторинга водных объектов и гидротехнических сооружений имеет в настоящее время актуальное значение.

Проектирование принципов построения комплекса, позволяющего в оперативном режиме проводить обследование состояния водных объектов и гидротехнических сооружений с высокой производительностью работ (до 10 км/ч) требует решения следующих задач:

- контроль за состоянием водо-, шлако- и хвостохранилищ (измерение глубин и донных отложений);
- проведение топогеодезических измерений гидротехнических сооружений (дамб, плотин, береговой линии и т.д.);
- измерение устойчивости откосов, берегов и т.д.;

• контроль процессов переработки берегов водохранилищ;

• построение трехмерных изображений контролируемых объектов с выявлением тенденций по их изменению и прогнозу опасных явлений;

• определение структуры донных образований и оценка электрофизических свойств грунтов и подстилающей среды дистанционным способом;

• обнаружение карстовых явлений, плавунов, зон вечной мерзлоты; контроль состояния водных переходов нефте- и газопроводами;

• наблюдение за проведением подводных работ;

• картирование погребенных долин;

• поиск месторождений полезных ископаемых.

Приборное обеспечение комплекса включает следующие аппаратные средства:

• подповерхностный радиолокатор для построения трехмерных изображений (объемных карт) подповерхностного слоя до глубин 30-50 м при скорости съемки разреза до 20 км/ч;

• подповерхностный акустический локатор для построения трехмерных изображений (объемных карт) подповерхностного слоя;

• многоканальный эхолот для площадной съемки рельефа донной поверхности водоемов и структуры донных образований;

• расходомер-уровнемер для измерения скорости, расхода и уровня жидкости в трубопроводах, открытых стоках и открытом русле;

• навигационную систему для сопровождения площадных съемок и привязки данных измерений различными методами в пространстве и во времени.

Определение электрофизических характеристик различных сред осуществляется на основе решения обратной задачи зондирования по измеренным характеристикам значений задержек и затухания отраженных сигналов от характерных точек окружающей среды на различных частотах в радио- и акустическом диапазонах. Эффективным способом решения обратных задач зондирования является составление качественной схемы геологического строения исследуемого участка и формирование банка решений прямой задачи. Это позволяет получить устойчивое решение обратной задачи методом перебора.

В интересах оптимизации методов обработки эхосигналов анализируются алгоритмы спектрального оценивания с применением функций окон различного вида, позволяющих снизить уровень боковых лепестков и уменьшить величину смещения оценки. Результаты исследований показали, что к обработке сигналов с частотно-зависимым затуханием подходят окна с шириной главного лепестка в 2 раза больше прямоугольного (Бартлетта, Тьюки – Ханна), причем наилучшим является окно Тьюки – Ханна; окна с фиксированной шириной главного лепестка, более чем в 2 раза больше прямоугольного (корень из синуса, Натолла, сферическое, Парзена) могут быть полезны, если затухание окажется хуже предполагаемого. Наилучшим является окно Натолла. Разработано сдвинутое масштабированное гауссовское окно, которое имеет лучшие характеристики, чем окно Натолла, так как при меньшей ширине главного лепестка обеспечивает сравнимый уровень боковых лепестков. При сравнимой ширине главного лепестка сдвинутое масштабированное гауссовское окно несколько хуже окна Тьюки – Ханна по уровню боковых лепестков. Таким образом, при исследуемом частотно-зависимом затухании рекомендуется применять окно Тьюки – Ханна; а если частотно-зависимое затухание окажется хуже, чем предполагается, рекомендуется применять сдвинутое масштабированное гауссовское окно.

Повышение информативности результатов зондирования объектов и улучшения пространственной разрешающей способности достигается использованием алгоритмов, реализующих синтез фокусированного антенного раскрыва [4]. Синтез апертуры требует наличия априорной ин-

формации об электрофизических характеристиках исследуемой среды. Предлагаются алгоритмы обработки, основанные на решении обратных задач зондирования (линейное и нелинейное обращение, модели формирования сигналов и изображений) и модели формирования электромагнитных каналов, оптимальные по критерию обращения. В целях идентификации результатов и уменьшения ошибок применяются алгоритмы объединения данных от различных подсистем комплекса, основывающиеся на методах текстурного анализа с последующей идентификацией на базе способов сжатия информации, спектрального анализа, группового учета аргументов или метода масок.

Определен состав алгоритмического обеспечения лаборатории:

- система ведения баз данных измерений по обследуемым объектам;
- алгоритмы и программы объединения данных, в том числе с космическими снимками;
- алгоритмы и программы визуализации данных с построением многомерных изображений и их разрезов;
- алгоритмы и программы выявления тенденций и мониторизации относительных изменений или уровней;
- алгоритмы построения прогнозных моделей и сценариев развития событий;
- экспертная система принятия решений о проведении детальной инспекции объекта стандартными геофизическими или другими методами;
- система формирования отчетов и электронных паспортов контролируемых объектов;
- система определения рисков [1].

Методическое и нормативно-правовое обеспечение лаборатории должно включать методики проведения работ с подповерхностным радиолокатором, акустическим локатором, эхолотом, расходомером-уровнемером, цифровой видеостереоскопической системой измерения профилей объектов; методику проведения работ по обнаружению опасных смещений и картированию берегов водохранилищ; нормативно-правовую базу по сертификации на степень риска и паспортизации гидротехнических сооружений и других водных объектов; нормативно-правовую базу для многоступенчатой инспекции гидротехнических сооружений; технический проект распределенной информационно-аналитической системы по сбору и обработке информации о гидротехнических сооружениях.

Состав программного обеспечения лаборатории следующий:

- инструментальные средства в виде объектно-ориентированных функций, с помощью которых организован интерфейс пользователя;
- библиотека прикладных программ цифровой обработки сигналов и изображений, включающей БПФ специального вида, обращение матриц специального вида симметрии, рекурсивные алгоритмы Левинсона и т.д.;
- программы синтеза, имитационного моделирования и оценки эффективности восстанавливающих фильтров общего вида со структурными и параметрическими ограничениями для приборов подповерхностного зондирования;
- программы имитационного моделирования приборов лаборатории с нелинейным восстановлением отраженных сигналов и изображений;
- программы комплекса, организованные по иерархическому признаку с привлечением геоинформационных пакетов;
- программы, позволяющие реализовать гибкие схемы параллельной обработки информации, редактируемые пользователем;
- база данных, хранящая информацию о типах изображений, компонентах, схемах обработки и наборах свойств компонентов [2].

Предусмотрено дальнейшее развитие программного обеспечения комплексной системы оперативного мониторинга водных объектов и гидротехнических сооружений, входящей в состав передвижной

лаборатории, с целью отработки методик проведения исследований и интерпретации их результатов.

Результаты, полученные в процессе выполнения работы, используются на кафедре радиоэлектроники информационных систем университета для обучения студентов специальности 2007 «Радиотехника». Издано учебное пособие «Основы радиотеплолокации», в котором ряд разделов освещает вопросы по указанным дисциплинам [3]. Поставлено четыре лабораторных работы.

Потенциальными потребителями проекта являются МПР РФ, Управление по делам ГО и ЧС, Уралгидромет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг состояния земляного полотна методами подповерхностной радио и акустической локации / В.С.Наговицын, А.А.Калмыков, В.И.Елфимов, В.А.Добряк, М.А.Чернин // Конверсия в машиностроении. 2001. № 1 (44).

2. Автоматизированное рабочее место оператора локомотивного депо / В.С.Наговицын, А.А.Калмыков, В.И.Елфимов, С.Н.Пестерев, О.А.Гусев // Конверсия в машиностроении. 2001. № 1 (44).

3. Основы радиотеплолокации: Учеб. пособие / В.И.Гадзиковский, А.А.Калмыков, В.С.Кубланов, Н.И.Серегин / Уральский технический ун-т. Екатеринбург, 2001.

4. *Елфимов В.И.* Разработка локационной системы дистанционного зондирования для экологического мониторинга природных и техногенных объектов / В.И.Елфимов, А.А.Калмыков // Записки Горного института. СПб., 2001. Т.149.