

И.И. Вельджанов, А.А. Гримоть, И.А. Малевич, С.И. Чубаров

СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ С ЛАЗЕРНЫМ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ
КАНАЛАМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При диагностике параметров и измерении вариаций характеристик окружающей среды, а также результатов воздействия на нее хозяйственной деятельности человека важное место принадлежит лазерным измерительным системам.

Наиболее характерными направлениями применения лазерных систем являются определения крупномасштабных характеристик окружающей среды, параметров атмосферы, океана и подстилающей поверхности, измерения составляющих атмосферы, получение карт параметров рассеяния шлейфами выбросов и эволюции их во времени, распознавание объектов. Эти исследования можно проводить дистанционно как со стационарной платформы, так и с подвижного носителя. Применение лазеров для дистанционного зондирования позволяет без внесения мощных воздействий в исследуемую среду решать задачи сбора и обработки больших информационных массивов. Высокая эффективность лазерных измерительных систем спектральной диагностики, определяемая большим объемом информации, получаемой об объекте исследования или явлении, реальным временем, возможностью организации параллельной работы экспериментального и моделирующего каналов, выдвигает требование разработки информационно-вычислительной системы (ИВС)* для лазерной спектральной ди-

* ИВС – это автоматизированное средство (оптико-электронное), предназначенное для работы с информационными оптическими полями и обеспечивающее получение, преобразование, накопление и выдачу данных, а также генерацию на основе программных компонентов основных алгоритмов обработки оптической информации и управление процессом получения информации, в том числе: сбор с детекторов оптической энергии и восприятие в едином аппаратном и математическом базисе неизвестных световых величин, характеризующих состояние объекта; измерение и анализ информационных признаков светового поля, инициированного лазерным излучением; обработку результатов измерительных операций и выработку лазерного управляемого воздействия на объект исследования с целью выявления его свойств.

агностики окружающей среды, ориентированной на построение геоинформационной базы экспериментальных данных.

Обобщенная структурная модель ИВС геоинформационного комплекса, разработанная для решения задач диагностики параметров окружающей среды, представлена на рис.1. Данная структурная модель включает в себя средства активной диагностики, состоящие из трех типов лазерных систем, рассмотренных в работе [1], различаю-

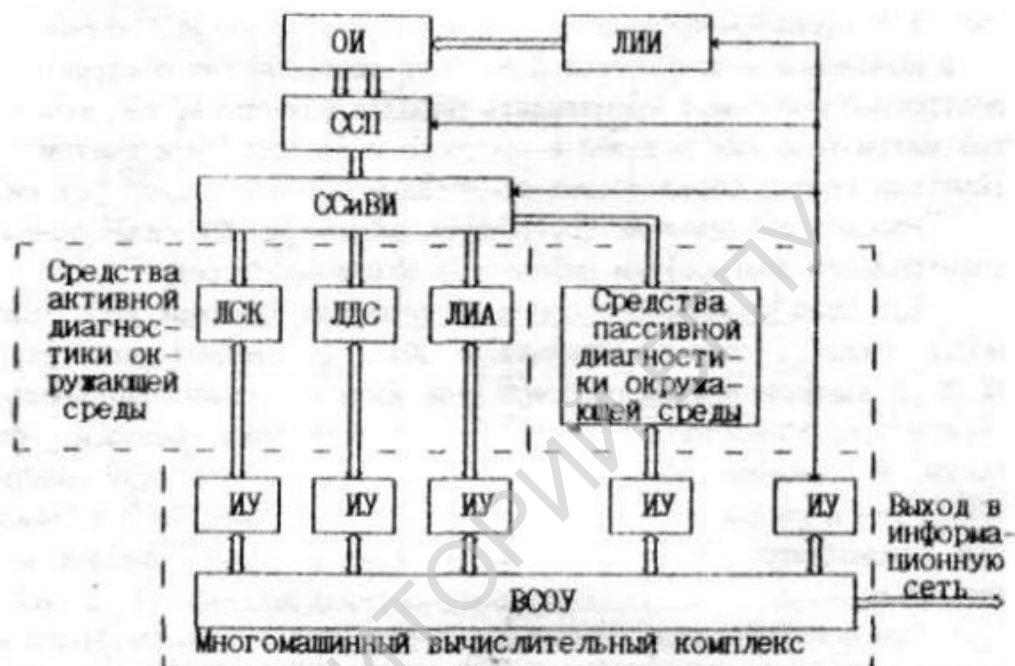


Рис.1. Обобщенная структурная модель лазерной ИВС:

ОИ – объект исследования; ЛИИ – лазерный источник излучения; ССП – сенсоры светового поля; ССВИ – средства сбора и выделения информации; ИУ – интерфейс управления; ВСОУ – вычислительная система обработки и управления

щихся уровнем получаемой информации об объекте исследования или явления. Это – лазерные системы контроля (ЛСК), лазерные диагностические системы (ЛДС) и лазерные измерительные анализаторы (ЛИА), а также средства пассивной диагностики, включающие в себя средства пассивного анализа спектра оптического излучения и средства контактного измерения таких параметров окружающей среды, как, например, влажность, давление, температура и т.д. Использование этих систем в геоинформационном комплексе позволяет получать информацию об исследуемом объекте или явлении на разных стадиях разработки математической модели исследуемого объекта

или явления. Когда математическая модель исследуемого объекта неизвестна или является стохастической, т.е. $M = \text{var}$, то процесс исследования сводится к выполнению взаимосвязанных процедур: обнаружения – измерения характеристик потока – оценивания объекта исследования, тогда в комплексе используется ЛИА. Когда математическая модель объекта не постоянна в процессе исследования или известна приближенно, т.е. $M \neq \text{const}$, тогда используется ЛДС. И наконец, когда математическая модель известна и не должна изменяться в процессе проведения исследования, т.е. $M = \text{const}$, тогда в комплексе используется ЛСК. В то же время такое структурное построение позволяет производить параллельную проверку получаемых математических моделей в процессе исследования с учетом параметров среды, определяемых средствами пассивной диагностики.

Рассмотрим примеры построения элементов ИВС для лазерной спектральной диагностики параметров окружающей среды.

Бортовая многопроцессорная система для лазерных ИВС. Сложность задач, решаемых лазерными ИВС, определяет архитектуру ВСОУ. К вычислительным системам для данного применения предъявляются требования автоматического преобразования, ввода и обработки информации, поступающей с измерительных блоков лазерной ИВС, причем скорость поступления информации определяется частотой зондирующих импульсов, числом измерительных каналов и их емкостью.

При использовании, например, перестраиваемого лазерного излучателя частота зондирующих импульсов достигает 25 кГц. Число информационных каналов системы многопараметрической активной диагностики определяется количеством длин волн измерителя и, как правило, для эффективной обработки сигнала обратного рассеяния должно составлять от 3 до 5. Типичной является ситуация одновременного использования трехканальных ЛСК, ЛДС, ЛИА с информационной емкостью по 512 байт в каждом канале, емкость информационных каналов пассивной диагностики (влажность, давление, температура) по 2 байт в каждом канале, следовательно, скорость информационного потока, поступающего на ВСОУ, составляет более 115 Мбайт/с.

Для удовлетворения этих требований предложена структура бортовой многопроцессорной системы, представляющая собой N -мерную матрицу функциональных узлов, каждый из которых состоит из собственно микро-ЭВМ, контроллера $2N$ высокоскоростных каналов и $2(N+1)$ портового запоминающего устройства. Каждый из функцио-

нальных узлов соединен с $2N$ ближайшими функциональными узлами высокоскоростными параллельными каналами через контроллер параллельных каналов, а также имеет общий банк памяти с ближайшими функциональными узлами благодаря наличию многопортового запоминающего устройства. На основе предложенной структуры разработана трехмерная бортовая многопроцессорная система (рис.2), сос-

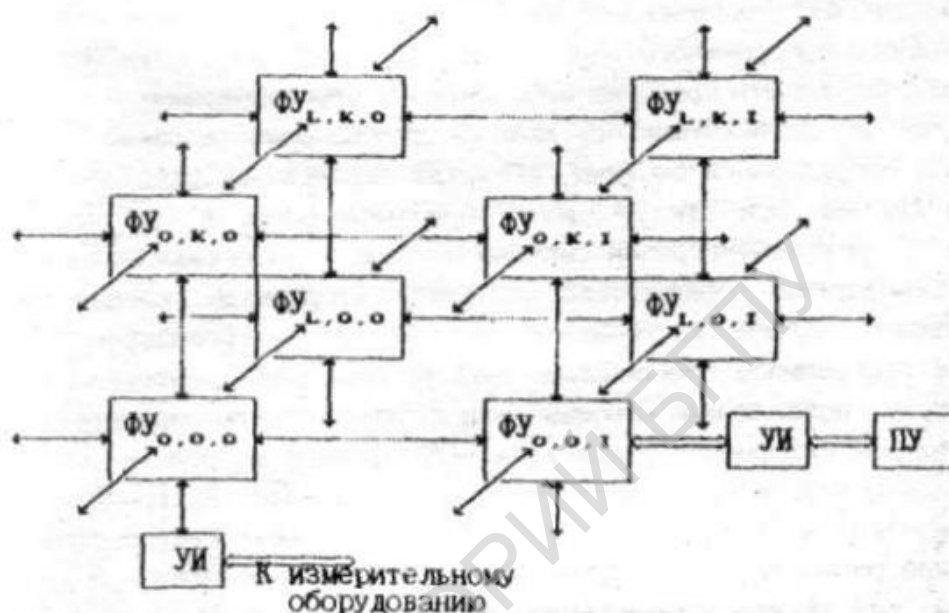


Рис.2. Трехмерная бортовая многопроцессорная система:

ФУ_{L,к,г} - L,к,Г - функциональный узел; УИ - унифицированный интерфейс; ПУ - периферийное устройства

стоящая из функциональных узлов структурная схема которых приведена на рис.3. Данное архитектурное построение вычислительной

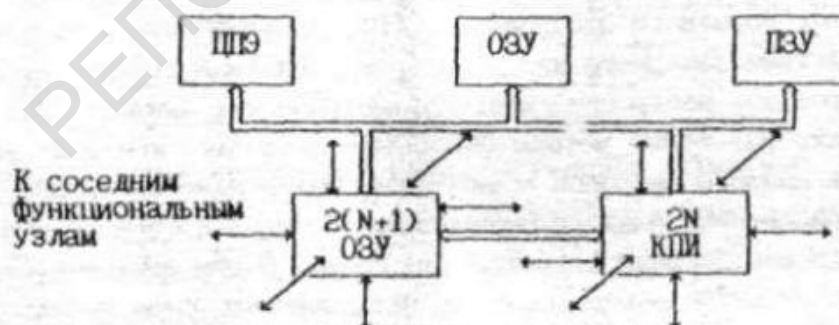


Рис.3. Структурная схема функционального узла:

ЦЗУ - центральный процессор; ОЗУ, ПЗУ - оперативное и постоянное запоминающее устройство; КПК - контроллер параллельных каналов

системы позволяет эффективно производить параллельные и конвейерные вычисления, параллельный ввод информации по измерительным

каналам. Кроме того, данная система обладает высокой надежностью, так как отказ одного из функциональных узлов не приводит к катастрофическому отказу всей системы. Вычислительные системы такого типа относятся к однородным вычислительным системам.

Использование многопроцессорной системы в качестве средства управления измерительным оборудованием и обработки измерительной информации ИВС предъявляет требование разработки системного и прикладного программного обеспечения. В системное программное обеспечение входят средства самоконтроля (тестирования) и обработки ошибок, возникающих при выполнении программ, а также из-за сбоев в оборудовании системы, средства поддержания работоспособности системы при отказе одного или нескольких функциональных узлов путем реконфигурации системы и средства программной поддержки стандартных периферийных устройств (терминалы, внешние запоминающие устройства большой емкости и т.д.). Созданное прикладное программное обеспечение представляет собой интегрированную среду, позволяющую производить статистическую обработку измерительной информации и вывод на периферийные устройства, в диалоговом режиме и удобном для исследователя виде. Построение математических моделей исследуемых объектов по результатам статистической обработки и их коррекция, обработка измерительной информации, результатов статистической обработки получаемых моделей ведутся в реальном времени. Прикладное программное обеспечение также включает средства сетевой поддержки для передачи информации по компьютерной сети.

Лазерный измерительный анализатор пространственно-временной структуры сигнала обратного рассеяния. Для решения задач анализа сигнала обратного рассеяния (СОР), являющегося результатом взаимодействия лазерного излучения с исследуемой средой, предложен ряд методов построения многопараметрических анализаторов СОР [2]. Однако известные методы обработки лидарных сигналов, основанные на аналого-цифровом кодировании интенсивности сигнала обратного рассеяния, обладают низкой производительностью, узкой полосой, большой погрешностью восстановления формы при квантовании и требуют больших объемов памяти и трудоемких вычислений. Нами разработан метод анализа пространственно-временной структуры СОР, позволивший значительно снизить объем анализируемой информации и тем самым повысить эффективность и быстродействие лазерного комплекса. Сущность метода заключается не только в анализе

амплитудно-энергетических характеристик СОР, но и в измерении в реальном масштабе времени распределений положения характерных точек отраженного сигнала в заданной зоне интенсивности СОР и анализ временных флуктуаций этих точек. Регистрация же полного профиля СОР позволяет получать информацию об оптических характеристиках среды, заключенную во всех характеристических зонах. Для достоверного выявления данных временных признаков, производится предварительная оценка интенсивности СОР и по результатам этой оценки определяется зона изменения СОР от реперного сигнала однородной среды и далее фиксируются временные положения начала зон анализа. Разбиение СОР осуществляется на три пространственно-временные зоны (рис.4): зона τ_A от момента возбуждения до границы слоя, где определяются оптические характеристики среды, зона τ_N задается временным интервалом, где интенсивность сигнала СОР уменьшается в e раз, а зона τ_r — глубиной проникновения сигнала возбуждения в среду.

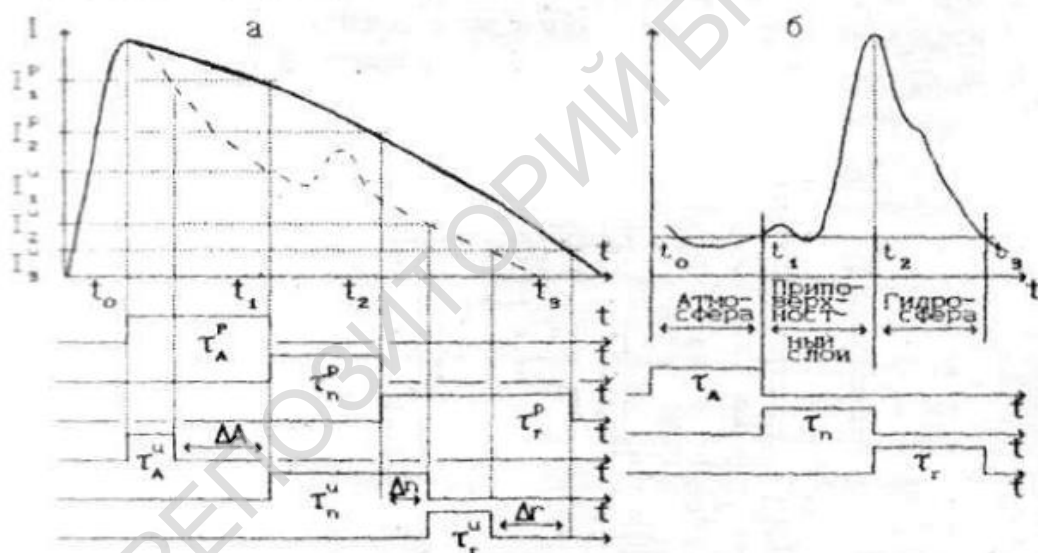


Рис. 4. Пространственно-временная структура СОР

Появление различных органических примесей, изменение структуры температурных полей, вариации динамики турбулентных вихрей изменяют кинетику фотонного обмена, а следовательно, и время затухания СОР, меняют глубину проникновения излучения за счет изменения прозрачности, рассеяния и затухания лазерного излучения и, как следствие этого, в качестве дифференциальных временных признаков проявляются в пространственно-временной структуре

профиля СОР, т.е. наблюдается временная деформация выбранных зон анализа $\Delta A = \tau_A^p - \tau_A^u$; $\Delta n = \tau_n^p - \tau_n^u$; $\Delta r = \tau_r^p - \tau_r^u$. На рис.5 приведена структурная схема разработанного лазерного измерительного анализатора пространственно-временной структуры сигнала обратного рассеяния. Реперный сигнал однородной среды с фотоприемного устройства преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП и накапливается в ОЗУ. По полученным результатам оценивается зона изменения интенсивности СОР и далее посредством временных дискриминаторов фиксируются временные положения начала зон анализа СОР – момент t_0 соответствует возбуждению, t_1 – началу зоны определения оптических характеристик среды, t_2 – концу данной зоны, где $I_1/I_2 = e$, и момент t_3 – окончанию отраженного сигнала. Данные контрольные сигналы принимаются за реперные (эталонные) сигналы, запоминаются в АДЗУ и в соответствующие моменты времени преобразуются в цифровую форму и запоминаются в ОЗУ. На этом цикл формирования реперных сигналов заканчивается и далее зондируется исследуемая среда. На каждом акте зондирования принятый сигнал через фотоприемник, временной дискриминатор зон, схему синтеза временных интервалов поступает на измеритель время-код и запоми-

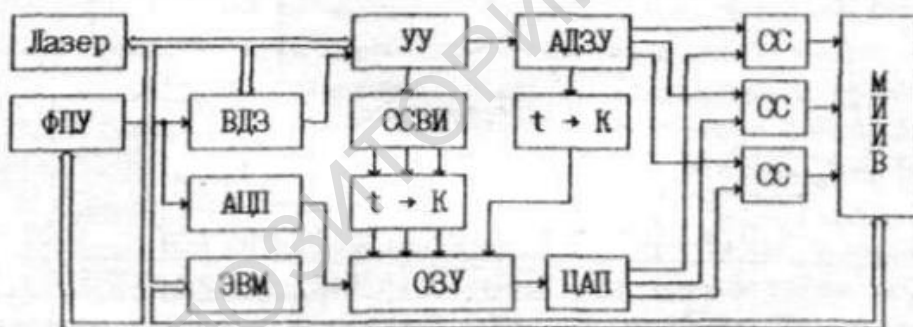


Рис.5. Структурная схема ЛИА пространственно-временной структуры СОР:

ФПУ – фотоприемное устройство; ВДЗ – временной дискриминатор зон; УУ – устройство управления; АДЗУ – аналого-динамическое запоминающее устройство; ОСВИ – схема синтеза временных интервалов; $t \rightarrow K$ – преобразователь время-код; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; СС – схема совпадений; МИИВ – многостоповый измеритель временных интервалов; АЦП и ЦАП – аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи

нается в ОЗУ, в котором осуществляется синхронное накопление преобразованных измерительных сигналов по всей зондируемой области. Далее производится сравнение измерительных сигналов с реперными посредством ЦАП и СС.

В случае отсутствия различий оптических характеристик про-

пространственно-временная структура измерительных сигналов не имеет отличия от реперных и в накопитель информации с многостопового измерителя интервалов времени не поступают оценки измерительных сигналов. Появление изменений в оптических характеристиках среды приводит к появлению на выходе схем совпадений маркерных сигналов $\Delta_A, \Delta_n, \Delta_r$, величина которых определяется отличием длительностей реперных сигналов $\tau_A^r, \tau_n^r, \tau_r^r$ от длительностей измерительных сигналов $\tau_A^u, \tau_n^u, \tau_r^u$, содержащих информацию об оптических неоднородностях среды. При этом многостоповый измеритель интервалов времени последовательно измеряет относительно момента излучения лазерного импульса t_0 их взаимное положение и длительность маркерных сигналов $\Delta_A, \Delta_n, \Delta_r$, запоминает длительности $\Delta_A, \Delta_n, \Delta_r$ и характеристических зон $\tau_A^u, \tau_n^u, \tau_r^u$ одновременно с формой СОР в ЭВМ, которая осуществляет управление источником излучения, фотоприемником. При этом никакие вариации интенсивности СОР не оказывают влияния на процесс обнаружения вариаций пространственно-временной структуры СОР, а формирование маркерных сигналов $\Delta_A, \Delta_n, \Delta_r$ как результат отличия измерительного СОР от реперного с последующим измерением их длительности и временного положения повышает точность определения оптических характеристик исследуемой среды. В качестве источника оптического возбуждения в анализаторе используется полупроводниковый многоэлементный лазер. Погрешность измерения сформированных временных интервалов 1 нс, диапазон измеряемых интервалов 1 нс + 1 мкс, число каналов измерения - 4.

При исследовании сложных трасс типа "атмосфера-гидросфера" применение данного анализатора позволяет повысить эффективность лазерной системы. При этом целесообразно всю трассу разбивать на следующие характерные зоны (см. рис. 4, б): зона τ_A от начала возбуждения до верхней границы переходного, приводного слоя, зона τ_n охватывает переходной приводный слой, включая зону Френелевского рассеяния излучения от поверхности воды до максимального сигнала отражения от границы раздела, и зона τ - проникновение сигнала в глубину гидросферы.

Литература

1. Вельджанов И.И., Малевич И.А., Чубаров С.И. и др. Структурные модели лазерных систем с высоким пространственно-временным разрешением (системный подход)// Настоящий сборник, С.5-13.
2. Иванов В.И., Малевич И.А., Чайковский А.П. Многофункциональные лидарные системы. -Мн: Университетское, - 1986. -286с.