

УДК 681.785.582

DOI 10.21661/r-556592

М.Г. Даниловских, В.А. Стрещук

СИСТЕМА МИНИ-СПЕКТРОГРАФ/СМАРТФОН ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА

Аннотация: рассматривается вопрос создания системы мини-спектрометр/смартфон с целью визуализации спектров излучения, поглощения, отражения с отображением их на экране смартфона, позволяющей проводить экспресс-анализ в реальном режиме времени в полевых условиях.

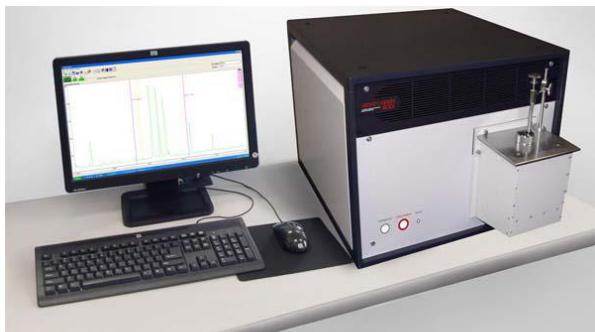
Ключевые слова: оптический акрил, схема Черни-Тернера, входная щель, призма полного внутреннего отражения, дифракционная решетка, ПЗС-детектор.

Введение

В современных экологических условиях информация о состоянии окружающей среды становится наиболее важной, так как она необходима людям для планирования своей деятельности [1; 2]. Мониторинг природной среды, природных ресурсов, флоры и фауны становится все более сложным и мониторинг ее состояния должен обеспечиваться постоянно в режиме реального времени. Одним из методов экологического мониторинга является оптический метод. Без знания химического состава флоры и фауны невозможно оценить состояние сельскохозяйственных угодий; поэтому были разработаны специальные методы определения химического состава растений, в том числе метод спектрального анализа [3].

Быстрый и точный анализ используется в сельском хозяйстве и пищевой промышленности – это анализ физико-химических и биологических показателей сельскохозяйственных культур и почвы, пищевых продуктов на наличие примесей токсичных элементов и тяжелых металлов, прикладных юридических наук, таких как судебная медицина, токсикология, геммология; в химическом и органическом синтезе новых соединений, в экологии, промышленности и т. д. и

позволяет точно и быстро изучать элементный состав вещества [4]. На (рис. 1) изображено лабораторное оборудование для спектрального анализа.



Искролайн 100
спектрограф для анализа металлов и сплавов



ЛИЭС
спектрограф для анализа горных пород

Рис. 1. Лабораторные измерительные спектрометры различного назначения

Но все чаще приходится проводить спектральный анализ, так сказать, в «поле» (то есть в том месте, где находится анализируемый объект). Поэтому для спектрального «экспресс-анализа» нельзя использовать дорогостоящее, громоздкое и сложное лабораторное измерительное оборудование, требующее квалифицированного персонала.

Спектральный «экспресс-анализ» чаще всего используется для разовой оценки, а также в экстремальных ситуациях (пожары, взрывы, катастрофы и т. д.).

Основным преимуществом спектрального «экспресс-анализа» является простота, доступность, скорость и мобильность оборудования, используемого для применения этих методов в полевых условиях, т.е. непосредственно на месте анализируемого объекта [5; 6].

В настоящее время для экспресс-анализа в полевых условиях используются либо простые оптические мини-спектрометры, либо мини-спектрографы, которыми могут пользоваться только специалисты [7; 8]. Это отдельные устройства, некоторые из них имеют возможность подключения к смартфону для передачи данных о собранных спектрах в общую базу данных (рис. 2).



Рис. 2. Примеры мини-спектрографов различного назначения

Современное развитие электронной промышленности позволяет решить эту проблему на основе новых технологий. Решение данной проблемы видится в применении смартфонов, на базе которых возможно создать комбинированную автономную систему для выполнения спектроскопических измерений в режиме реального времени в полевых условиях.

Конструкции системы мини-спектрограф/смартфон

Смартфон – это своеобразный компьютер и как всякое вычислительное устройство обладает процессором для обработки данных, ЖК-экраном для отображения информации, портом USB для подключения периферийных устройств, операционной средой и системой, поддерживающей беспроводную связь с возможностью подключения к другим мобильным телефонам и Интернету. Все это делает смартфон идеальной платформой для поддержки приложений, связанных со спектральной обработкой данных, полученных со спектрографа. Но спектрограф – это габаритное устройство поэтому для создания системы спектрограф/смартфон был создан мини-спектрограф с возможностью подключения его к смартфону.

Созданная система мини-спектрограф/смартфон состоит из двух частей это сам мини-спектрограф и работающий с ним в купе смартфон. Мини-спектрограф, работающий в первом и втором порядке длин волн, в диапазоне 400–700 нм и имеющий минимальные размеры [10]. Смартфон, предназначенный для регистрации, первичной обработки спектра, хранения и передачи информации о полученных спектрах на базовую станцию.

Мини-спектрограф предназначен для подключения к смартфону через модуль Bluetooth-HC-05. Монолитный оптический элемент в виде цельного куска изготовлен из акрила (ПММА) с показателем преломления около 1,49 и оптической схемой Черни-Тернера (рис. 3).

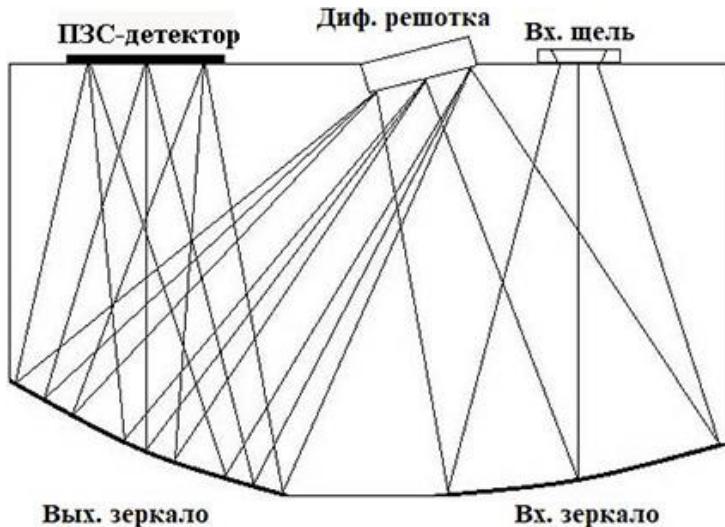


Рис. 3. Оптическая схема Черни-Тернера

Входная щель, входное зеркало с радиусом R , дифракционная решетка, сферическое выходное зеркало с радиусом R и линейный ПЗС-приемник расположены на твердой поверхности моноблока и обеспечивают дифракцию первого и второго порядков с фокусированным спектром на выходной поверхности моноблока, на которой укреплен ПЗС-детектор. (рис. 4).



Рис. 4. Монолитный акриловый корпус

Изготовление мини-спектрографа из монолитного акрилового корпуса исключает необходимость подгонки и юстировки внешних монтажных элементов при его изготовлении. Неиспользуемые поверхности монолитного корпуса покрыты черным эпоксидным клеем с показателем преломления, примерно равным показателю преломления акрилового корпуса.

Мини-спектрограф конструктивно состоит (рис. 5)

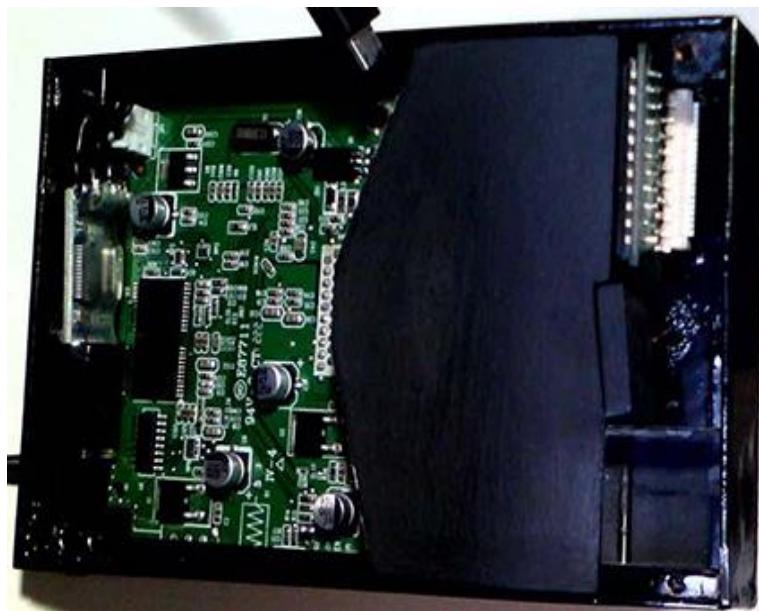


Рис. 5. Конструкция мини-спектрограф

из оптической призмы для сбора света и направления его на входную щель спектрографа (рис. 6),



Рис. 6. Призмы полного внутреннего отражения с держателем пластиковой щели (рис. 7),

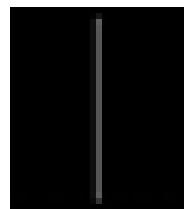


Рис. 7. Пластиковая входная щель оптической решетки дифракционной (рис. 8), вклейенной в специальное посадочное место монолитного корпуса,

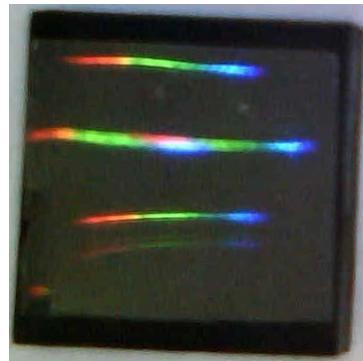


Рис. 8. Плоская отражательная дифракционная решетка

коллимирующее и фокусирующее зеркала, покрытые протекторной защитой от окисления на воздухе алюминиевого слоя (рис. 9),

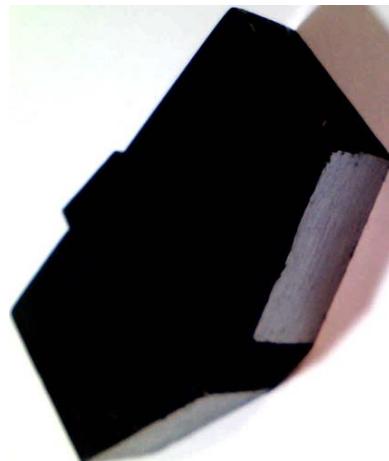


Рис. 9. Монолитный акриловый корпус с входным и выходным зеркалами
выходная поверхность, на которую наклеен модуль регистрирующего
устройства – линейный ПЗС-детектор (рис. 10),

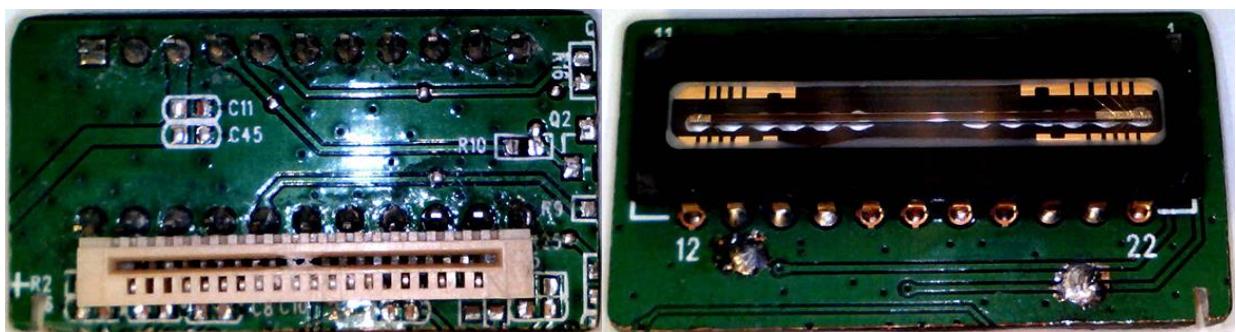


Рис. 10. Линейный ПЗС-детектор
от линейного ПЗС-детектора данные передаются по гибкому полиамидному
кабелю на электронную плату регистрации (рис. 11),

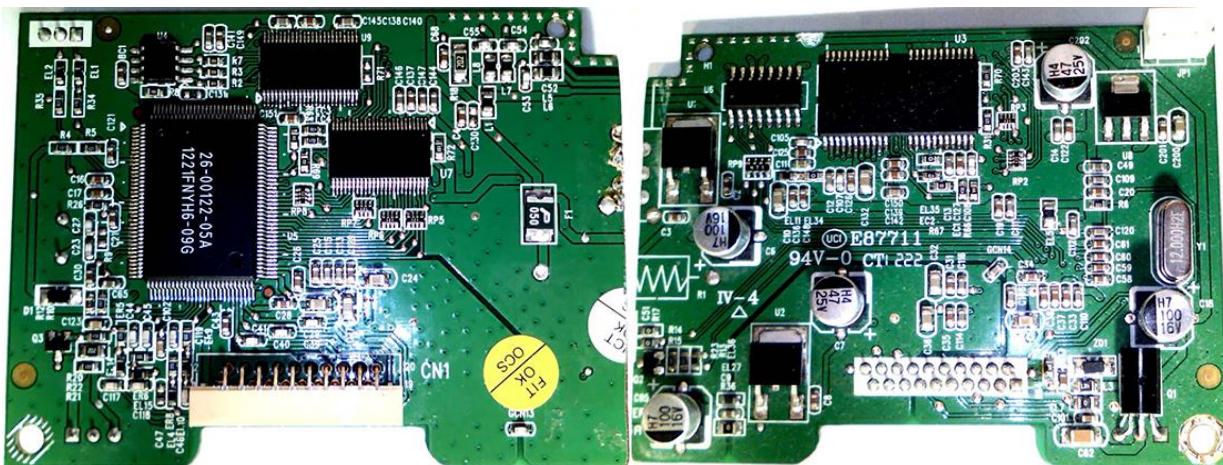


Рис. 11. Плата электронной регистрации

затем через модуль Bluetooth-HC-05 передается на смартфон для дальнейшей обработки (рис. 12).

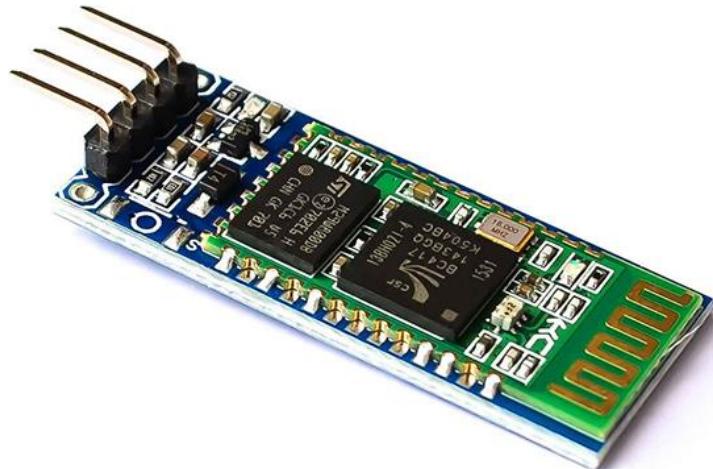


Рис. 12. Модуль Bluetooth-HC-05

Мини-спектрограф работает следующим образом. Излучение от исследуемого источника направляется через призму с полным внутренним отражением на входную щель монолитного корпуса спектрографа. После входной щели световой пучок, проходя через монолитный корпус спектрографа, попадает на входное зеркало, которое коллимирует падающий световой пучок и направляет его на отражающую дифракционную решетку. Дифрагированный свет, отраженный от решетки, собирается и фокусируется выходным зеркалом на выходную поверхность с регистрирующим элементом (ПЗС-детектором). Данные с ПЗС-датчика передаются по гибкому полиамидному кабелю на электронную плату регистрации с интерфейсом USB, а затем через модуль Bluetooth-HC-05 передаются на смартфон для дальнейшей обработки.

Заключение

Экспресс-анализ с помощью системы мини-спектрограф/смартфон позволяет не только записывать и визуально наблюдать на экране спектры поглощения, отражения и излучения, но и выбирать метод обработки, отображать результат обработки в режиме реального времени и оценивать результаты анализа. Спектральные свойства через программный интерфейс, быстрое изменение параметров обработки с отображением результата изменения на экране, хранение или передача данных на базовую станцию.

На (рис. 14) показан смартфона с интерфейсом программы контроля, регистрации и обработки спектра излучения.

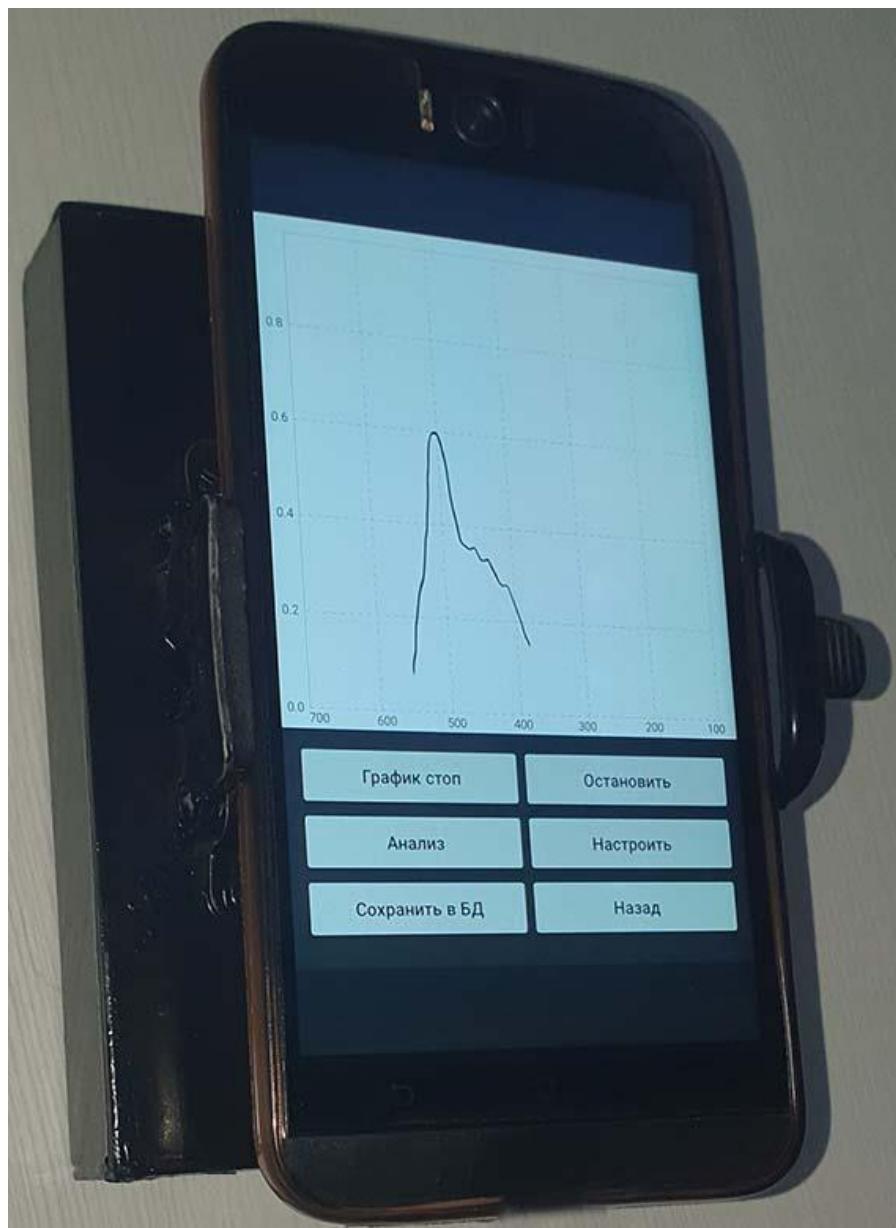


Рис. 14. Смартфон с интерфейсом программы.

Список литературы

1. Чернышов В.Б. Экологическая защита растений // Проблемы энтомологии в России. Сб. научн. Трудов XI Съезда РЭО / СПб ЗИНРАН. – 1998. – т.2. – С. 199–200.
2. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М.: Колос. – 1996. – 376 с.
3. Евсеев В.В. Модель экологически безопасной защиты зерновых культур от болезней в агроландшафтах Уральского региона / В.В. Евсеев // Вестник защиты растений. – 2013. – №2. – С. 13–25.
4. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. С. 511.
5. Карначук Р.А. Фоторегуляция роста и продуктивности растений картофеля при размножении *in vitro* / Р.А. Карначук, В.Ю. Дорофеев, Ю.В. Медведева // VII Съезд общества физиологов растений России, Международная конференция «Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий» 4–10 июля 2011. – Нижний Новгород, 2011. – С. 313–314.
6. Алехина Н.Д. Физиология растений / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко [и др.]; под реда. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2005.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: для вузов. – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848с.
8. Пейсахсон И.В. Оптика спектральных приборов. Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л.: Машиностроение, 1975. – 312 с.
9. Зайдель А.Н. Техника и практика спектроскопии / А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский. – М.: Наука, 1972.
10. Патент РФ №205270 «Мини-спектрограф для полевых измерений» Даниловских М.Г., Винник Л.И., Стрещук В.А. Опуб. 06.07.2021г. Бюл. №19.

Даниловских Михаил Геннадьевич – канд. с.-х. наук, преподаватель, ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет им. Я. Мудрого», Россия, Великий Новгород.

Стрещук Виталий Александрович – студент, ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет им. Я. Мудрого», Россия, Великий Новгород.
