

СОСТАВ УСТРОЙСТВА МОНОХРОМАТОРА ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ПОРТАТИВНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА

Ахатов А.Р.¹, Парманов Б.З.², Эштемиров Б.Ш.³

¹Ахатов Акмал Рустамович – доктор технических наук, профессор;

²Парманов Бехруз Закирович – ассистент;

³Эштемиров Бунед Шералиевич – ассистент,
кафедра естественных и технических наук,
Самаркандский государственный университет,
г. Самарканд, Республика Узбекистан

Аннотация: данная работа посвящена разработке спектрофотометра экологического назначения, оценке применимости и актуальности данного прибора для осуществления качественного экологического мониторинга. В работе проведен обзор различных методик экологического мониторинга, проведен их сравнительный анализ. Разработана специальная оптическая система, позволяющая добиться максимальной ширины спектра, что позволит более точно производить его оценку. Приведена общая электрическая часть прибора, где показаны взаимодействия между отдельными ее частями. Представлена совокупная электрическая схема.

Ключевые слова: спектрофотометр, монохроматор, Фотодиод SFH203P, Линза Optogama 7014, Коллимирующая линза KEY20-5, Светодиод TDS-P001L4Q27, призма Catech EQP-150-BK7.

COMPOSITION OF A MONOCHROMATOR DEVICE FOR A MICROPROCESSOR PORTABLE SPECTROPHOTOMETER

Akhatov A.R.¹, Parmanov B.Z.², Eshtemirov B.Sh.³

¹Akhatov Akmal Rustamovich - Doctor of Technical Sciences, Professor;

²Parmanov Behruz Zakirovich - Assistant;

³Eshtemirov Bunyed Sheralievich - Assistant,

DEPARTMENT OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES,
SAMARKAND STATE UNIVERSITY,
SAMARKAND, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: this work is devoted to the development of an ecological spectrophotometer, assessment of the applicability and relevance of this device for the implementation of high-quality environmental monitoring. The paper provides an overview of various methods of environmental monitoring, carried out their comparative analysis. A special optical system has been developed to achieve the maximum width of the spectrum, which will make it possible to more accurately evaluate it. The general electrical part of the device shows the interactions between its individual parts. Aggregate electrical diagram is presented.

Keywords: spectrophotometer, monochromator, SFH203P photodiode, Optogama 7014 lens, KEY20-5 collimating lens, TDS-P001L4Q27 LED, Catech EQP-150-BK7 prism.

УДК 681.2.0.8

Введение. Спектрофотометрия как аналитический метод исследования различных жидких и твердых тел начала активно развиваться в конце 19-го века как отдельная ветвь спектроскопии. Ключевым различием этих методов является то, что спектрофотометрия позволяет анализировать концентрацию и процентное содержание тех или иных веществ в каких-либо растворах, расплавах и смесях основываясь на оценке спектров поглощения веществ (для каждого конкретного вещества они являются уникальными), в то время как спектроскопия исследует лишь сами спектры [1].

Данная работа посвящена обзору различных методик экологического мониторинга, разработке специальной оптической системы, позволяющей добиться максимальной ширины спектра, что позволит более точно производить его оценку. Приведена общая электрическая часть прибора, где показаны взаимодействия между отдельными ее частями. Представлена совокупная электрическая схема.

Спектры излучения в монохроматоре. В случае использования дифракционной решетки, от каждого источника (по сути щели между штрихами решетки) будут распространяться световые волны, которые будут когерентными (синхронными) друг другу. Если на некотором расстоянии от решетки поместить экран, то мы сможем увидеть на нем яркие полосы, между которыми будет тень. В случае белого света эти полосы будут ничем иным как его спектром (рисунок 1) [2].

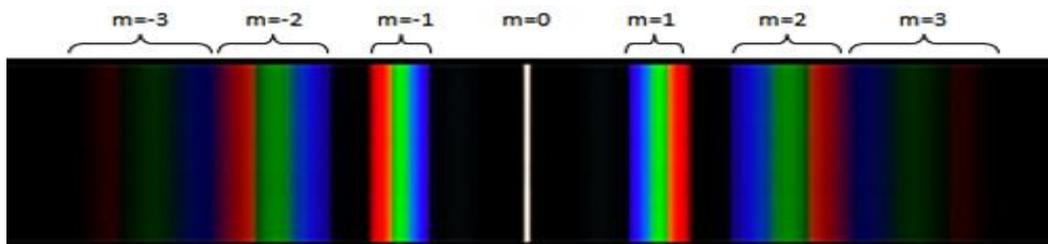


Рис. 1. Интерференционная картина белого света

На рис. 2 схематично представлен вариант использования спектрофотометра в случае с дифракционной решеткой, в котором на исследуемый образец подается пучок белого света, раскладывающийся в спектр уже после прохождения через него.

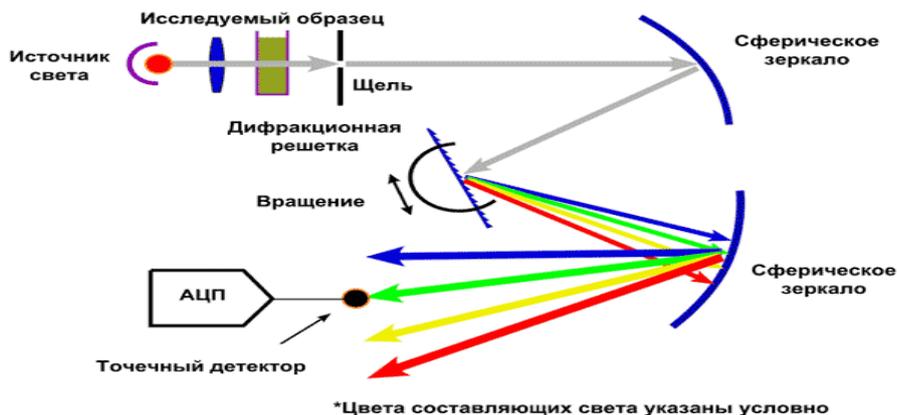


Рис. 2. Структурная схема спектрофотометра с монохроматором, стоящим после исследуемого образца

В подобной схеме, как было сказано выше, белый свет сначала проходит сквозь кювету с образцом, а уже потом раскладывается в спектр в монохроматоре и поступает на фоточувствительный элемент. Данный метод имеет место на существование, однако обладает рядом серьезных недостатков по сравнению со своим предшественником.

Во-первых, разложенный в спектр целиком белый свет сложнее детектировать. Для этого нужна специализированная и качественная ПЗС-матрица, которая помимо того, что довольно дорогая, еще и нуждается в специальной «обвязке» из электронных компонентов для корректной работы (тогда как при классическом варианте «монохроматор-образец-фотоприемник» роль последнего исполняет прецизионный фотоэлемент, который гораздо проще и дешевле приобрести) [3].

Во-вторых, белый свет, проходя сквозь прозрачную кювету, также будет в некоторой степени испытывать преломление и смещение – классическое прохождение света через плоскопараллельную пластину, представленное на рисунке 3 [4].

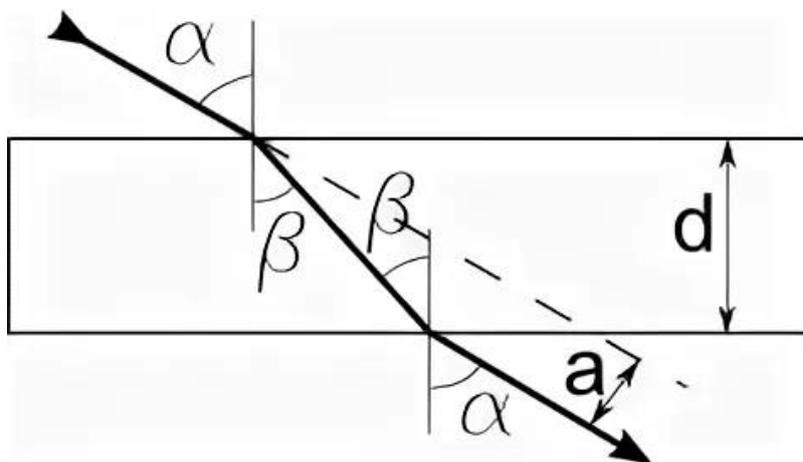


Рис. 3. Ход лучей света в плоскопараллельной пластине

Как видно из рис. 3, свет, проходящий через плоскопараллельную пластину, испытывает смещение a относительно своей предыдущей траектории распространения. Это будет дополнительной помехой при

дальнейшем распространении белого света. Как минимум, на диспергирующую оптическую линзу он будет падать более рассеянным, чем в варианте «монохроматор-образец-фотоприемник», что приведет к дополнительной погрешности при измерении интенсивности светового потока.

Дисперсионная призма для распространения белого света. Учитывая вышеописанные минусы, для разрабатываемого спектрофотометра в качестве основы монохроматора была выбрана оптическая дисперсионная призма производства компании Castech, модель EQP-150-BK7 (рис. 4) [5].



Рис. 4. Дисперсионная призма Castech EQP-150-BK7

В качестве источника света планируется использовать мощный светодиод TDS-P001L4Q27 белого света (рис. 5) [6]. Он отличается световым потоком 100 Лм, теплой цветовой температурой (3000-3500К) и стабильным спектром в оптическом диапазоне (рис. 6) [7].



Рис. 5. Светодиод TDS-P001L4Q27

Spectrum

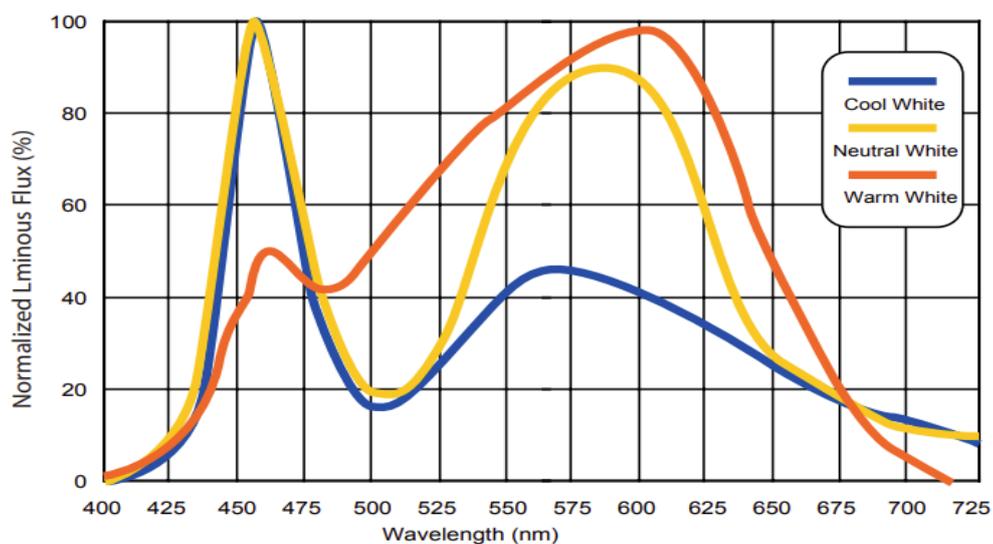


Рис. 6. Оптический спектр светодиода семейства диодов TDS-P001L4 (спектр TDS-P001L4Q27 обозначен оранжевым цветом)

Из минусов светодиода TDS-P001L4Q27 можно отметить довольно большой потребляемый ток – до 350 мА при полной светимости. Однако данный диод был выбран не случайно, и по сравнению с конкурентами он обладает одним важнейшим для нашей разработки преимуществом – форм-фактор данного диода позволяет использовать специализированную коллимирующую оптику, предназначенную специально для светодиодов.

Применение коллимирующей оптики для монохроматра. В качестве коллиматора была выбрана линза KEY20-5 производства компании Arlight, представленная на рис. 7 [8]. Эта коллимирующая линза на выходе дает пучок света с рассеянием в 5 угловых градусов, что позволяет использовать ее для точной подачи света на призму.



Рис. 7. Коллимирующая линза KEY20-5

Для фокусировки света, разложенного в спектр после призмы, а также прошедшего через кювету с образцом для фокусировки на фотоприемник, будут использоваться лазерные собирающие линзы производства компании Optogama, модель 7014 (рис. 8) [9]. При довольно компактных размерах (диаметр 12,7 мм), они пропускают волны с длиной волны от 350 до 2000 нм, имея при этом световую апертуру более 90%. Фокусное расстояние линз 20 мм (для фотоприемника) и 100 мм (для фокусировки спектра), что отлично подходит для компактного спектрофотометра.



Рис. 8. Линза Optogama 7014

После того, как лучи пройдут через линзу и сфокусируются, они попадут на фотоприемник. В роли фотоприемника выступает фотодиод SFH203P производства компании OSRAM (рис. 14). Он обладает необходимым для нашего прибора диапазоном чувствительности длин волн 400-1100 нм, спектр которого представлен на рис. 9.



Рис. 9. Фотодиод SFH203P

Таким образом, для создания оптической части спектрофотометра необходимыми компонентами являются монохроматор, Фотодиод SFH203P, Линза Optogama 7014, Коллимирующая линза KEY20-5, Светодиод TDS-P001L4Q27, призма Castech EQP-150-BK7 с вышеперечисленными показателями и функциональными возможностями.

Закключение. Следует отметить, что последние достижения оптико-электронного приборостроения в сочетании с тенденциями микропроцессорной техники сформировали предпосылки для создания портативного спектрофотометра с развитым функциональным составом пригодного для использования в производственных условиях. В свою очередь современное состояние оптико-электронного приборостроения характеризуется тем, что, с одной стороны, имеет место очень высокий потенциал в области оптической науки и оптического приборостроения, а с другой – налицо невостребованность

промышленностью большого числа разработок, которые изначально были нацелены на решение уникальных наукоемких проблем..

Рассмотренные в данной работе результаты исследований позволяют решить общую проблему, состоящую в комплексе взаимосвязанных задач с одной стороны, и приблизиться к решению задач основной цели исследования – созданию портативного спектрофотометра для повышения эффективности мониторинга экологических объектов ирригационного назначения, в частности водоемов, водохранилищ, искусственных и естественных озер и т.д.

Список литературы / References

1. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы: Учебник / Е.П. Попечителей, Н.А. Кореневский, С.П. Серегин // Курский государственный технический университет. Курск, 2009. С. 519-521.
2. Спектральные приборы. Дифракционная решетка / Физика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph10/> (дата обращения: 12.07.2021).
3. Принципы работы и устройство приемников света на ПЗС. / www.startcopy.net. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.startcopy.net/notes/ccd.shtml/> (дата обращения: 21.08.2021).
4. Преломляющие системы / Образовательный центр Ом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.abitur.by/fizika/teoreticheskie-osnovy-fiziki/optika/zakony-otrazheniya-i-prelomleniya-sveta/prelomlyayushhie-sistemy/> (дата обращения: 21.08.2021).
5. Равносторонние дисперсионные призмы / Лазерное и оптическое оборудование в Санкт-Петербурге | АО «ЛЛС». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lenlasers.ru/product/ravnostoronnie-dispersionnye-prizmy/> (дата обращения: 26.08.2021).
6. Стекло ВК-7 / Beijing Zhong Cheng Quartz Glass Co., Ltd. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zcg-quartz.ru/glass-2.html/> (дата обращения: 06.09.2021).
7. TDS-P001L4Q27, Светодиод белый 140", 100Лм, 1Ватт, серия STAR 3000-3500K / ChipDip [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/tds-p001l4q27/> (дата обращения: 11.09.2021)
8. Линза 5 градусов KEY20-5 / LED Preimum. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://spb.ledpremium.ru/catalog/dlya_moshchnykh_led_emitter/linza_5_gradusov_key20_5/ (дата обращения 15.09.2021)
9. Optogama Plano-convex spherical lenses / Лазерное и оптическое оборудование в Санкт-Петербурге | АО «ЛЛС». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lenlasers.ru/upload/iblock/046/optogama_PCX.LLS.pdf_ (дата обращения: 15.09.2021).