

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского  
Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 1. С. 83–90.

**УДК 621.375.8**

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ОДНОЛУЧЕВОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТР С ИСТОЧНИКОМ СВЕТА В ВИДЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЯХ ЛКИ-301**

*Деулин Б. И.*

*БОУ ОО СПО «Орловский технологический техникум», Орел, Россия  
E-mail: boris1967or@qip.ru*

В статье описывается автоматизированный однолучевой спектрофотометр с источником света в виде модернизированного твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301, в котором используются активные лазерные элементы на эпоксиполимерах или пористых стеклах дискообразной формы, позволяющие проводить накачку «в одну точку» и установленные в автоматизированную стойку-радиатор. Изменение диапазона излучения лазера происходит за счет смены активного лазерного элемента путем вращения барабана стойки. Поворот барабана на требуемый угол осуществляется с помощью шагового двигателя. Настройка излучения на требуемую длину волны внутри диапазона осуществляется с помощью перестраиваемого интерферометра с пьезоэлементом, на который через цифро-аналоговый преобразователь поступает требуемый уровень напряжения с компьютера. Установка рабочего диапазона оптических плотностей автоматически обеспечивается поляризационным ослабителем за счет его вращения в соответствии с законом Малюса. Поворот поляризационного ослабителя на требуемый угол так же обеспечивается шаговым двигателем. Верхний предел измеряемой оптической плотности достигает значения «4,6». Общее управление работой прибора и обработка результатов измерений выполняются компьютером по заданной программе.

**Ключевые слова:** оптическая плотность, автоматизация, красители, лазер, диапазон, спектрофотометр.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Физико-химические методы анализа веществ получили широкое распространение. Эти методы основаны на изменении физических свойств веществ, проявляющихся в результате химических реакций. К ним относится группа оптических методов анализа, для реализации которых, отечественной промышленностью был освоен серийный выпуск приборов: фотоколориметров и спектрофотометров. Фотоколориметрический метод весьма распространен. С его помощью проводят количественный анализ наличия в воде алюминия, полифосфатов, мышьяка и его соединений, железа, марганца, цинка, свинца, нитратов, аммиака и так далее. Однако фотоколориметры и спектрофотометры, выпускаемые отечественной промышленностью до недавнего времени, например, ФЭК101, ФЭК54М, ФЭК60, ФЭК56, имеют ламповые источники света с малой

спектральной яркостью. Поэтому предел измеряемой оптической плотности, как правило, не превышает значения «2». Данным значением оптической плотности ограничивается верхний предел обнаружения исследуемых ингредиентов пробы, и возникают трудности при контроле мутных сред. Так, например, при определении меди фотоколориметрическим методом на перечисленных выше приборах с использованием пикрамина эпсилон исследуемый раствор должен содержать 0,5–40 мкг меди, с неокупраином – 2–200 мкг [1]. Если указанный раствор содержит большее количество меди, его необходимо разбавлять, на что требуются определенные временные затраты. Для преодоления этих трудностей необходимы приборы с большим значением измеряемой оптической плотности за счет применения более ярких источников света.

Повышение спектральной яркости спектрофотометров в основном развивается по двум направлениям: создание более ярких ламп и применение лазерных источников света. В настоящее время отечественной промышленностью освоен выпуск спектрофотометров с ламповыми источниками света, которые измеряют оптическую плотность до значения «4», например, СФ-56 [2, 3]. Ознакомиться с характеристиками современных спектрофотометров можно на электронных ресурсах [2, 3].

При создании спектрофотометров с лазерными источниками света определенный интерес представляют твердотельные перестраиваемые лазеры на красителях, так как широкий набор красителей позволяет охватить всю видимую область спектра от ближнего ультрафиолета до ближней инфракрасной.

В конце прошлого века отечественная промышленность освоила выпуск твердотельного лазера на красителях ЛКИ–301 с матрицей из полиметилметакрилата в виде диска, оптическая схема которого приведена на рис. 1 [4, 5]. Матрицы из полиметилметакрилата обладают рядом недостатков: низкой теплопроводностью, тепло- и фото стойкостью, невысокой твердостью; они сильно поглощают излучение в ближней УФ-области, что вызывает трудности при накачке от азотного лазера и ксеноновых ламп. Перечисленные недостатки вызывают необходимость сканирования при накачке пучком света по поверхности лазерного элемента [4, 5], что увеличивает нестабильность излучения лазера. Для обеспечения большей стабильности излучения накачка должна производиться «в одну точку».

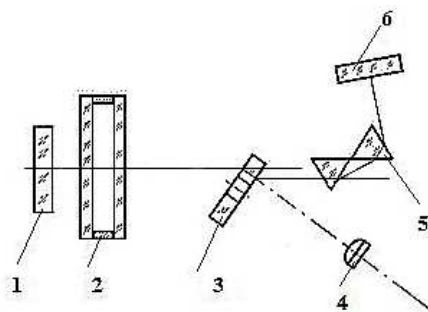


Рис. 1. Оптическая схема твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301: 1 – зеркало оптического резонатора; 2 – интерферометр; 3 – активный лазерный элемент; 4 – линза; 5 – призма; 6 – выходное зеркало оптического резонатора.

С этой целью красители были внедрены в ряд других материалов, например, в эпоксиполимеры и пористые стекла [4, 5]. Выходное излучение лазера ЛКИ-301 зависит от многих факторов: типа красителя, лазера накачки, материала матрицы, ее рабочей температуры. Более подробно это рассмотрено в работах [4, 5].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для уменьшения временных затрат на проведение анализов проб и увеличения диапазона рабочих оптических плотностей на рис. 2 представлен автоматизированный спектрофотометр с лазерным источником света. В качестве источника света был взят модифицированный твердотельный лазер на красителях на базе ЛКИ 301, описанный в [6].

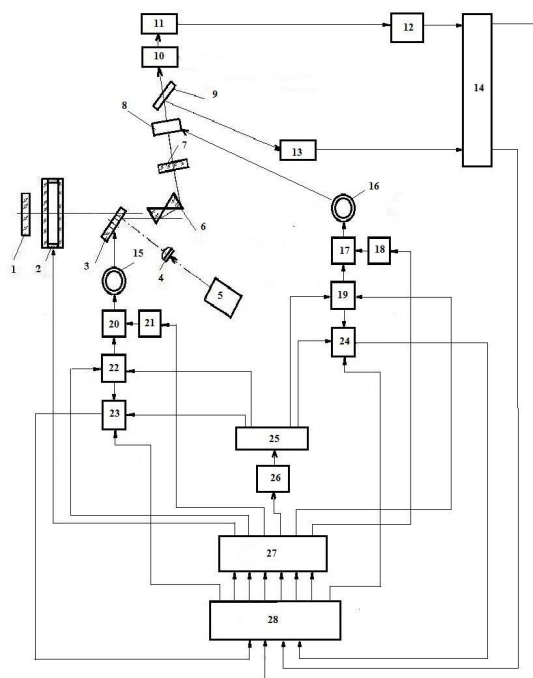


Рис. 2. Автоматизированный однолучевой спектрофотометр на базе модернизированного твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301.

1 – зеркало; 2 – интерферометр; 3 – стойка-радиатор; 4 – линза; 5 – лазер накачки; 6 – призма; 7 – выходное зеркало; 8 – поляризационный ослабитель; 9 – светоделительное зеркало; 10 – кювета; 11 – фотопреобразователь; 12 – усилитель; 13 – фотопреобразователь; 14 – двухканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 15 – шаговый двигатель; 16 – шаговый двигатель; 17 – электромагнитное реле; 18 – ключ; 19 – ключ; 20 – электромагнитное реле; 21 – ключ; 22 – ключ; 23 – счетчик импульсов; 24 – счетчик импульсов; 25 – генератор импульсов; 26 – ключ; 27 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 28 – компьютер.

Спектрофотометр, представленный на рис. 2, выполнен по однолучевой схеме. В работе [7] было показано, что представленный в ней двухлучевой спектрофотометр с источником света в виде модернизированного твердотельного лазера на красителях из работы [6] может работать с образцами, верхний предел оптической плотности которых достигает значения «4,3». Спектрофотометр, представленный на рис. 2, выполнен по однолучевой схеме. Поэтому интенсивность излучения, падающего на кювету с пробой, будет примерно в 2 раза выше, чем у двухлучевого. Следовательно, предлагаемый прибор сможет работать с пробами, у которых верхний предел измеряемой оптической плотности достигает значения «4,6» (так как  $\lg 40\ 000=4,6$ ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Устройство работает следующим образом. Излучение от лазера накачки 5 через линзу 4 падает на активный лазерный элемент, находящийся в стойке 3. Под действием излучения накачки краситель в активном лазерном элементе люминесцирует. Глухое зеркало 1 и выходное зеркало 7 составляют оптический резонатор. Внутри него находится перестраиваемый интерферометр 2, который служит для выделения из широкополосного излучения люминесценции красителя, узкой линии выходного излучения лазера. Необходимая длина волны выходного излучения лазера внутри диапазона устанавливается за счет подачи на перестраиваемый интерферометр 2 с компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь 27 требуемого уровня напряжения. Призма 6 служит для поворота выходного излучения на требуемый угол и его дисперсии.

За выходным зеркалом 7 установлен съемный поляризационный ослабитель 8, ослабляющий лазерное излучение до требуемого уровня и тем самым делает прибор универсальным, то есть способным работать с образцами различной оптической плотности.

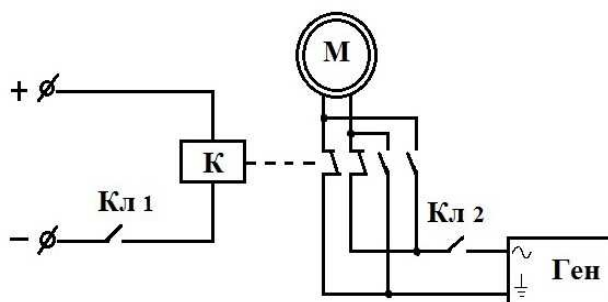
Прибор выполнен по однолучевой схеме, поэтому на выходе поляризационного ослабителя 8 установлено светоделительное зеркало 9. Оно отражает часть светового потока (около 1 %) и направляет его на фотопреобразователь 13, где оно преобразуется в напряжение и служит в качестве репера. Другая часть светового потока поступает на кювету 10 с исследуемой пробой и затем поступает на фотопреобразователь 11, который преобразует ее в напряжение. Для увеличения чувствительности прибора напряжение с фотопреобразователя 11 поступает на усилитель 12, с выхода которого оно поступает на двухканальное АЦП 14, где аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и далее поступает на компьютер 28 для дальнейшей обработки сигнала по соответствующей программе.

Смена диапазона длин волн излучения, на которых работает прибор, происходит путем смены активных лазерных элементов. Это выполняется за счет поворота барабана стойки 3 с лазерными элементами. Стойка 3 выполняется из материала с высокой теплопроводностью, поэтому она также выполняет функции радиатора охлаждения активных лазерных элементов. С ее устройством можно ознакомиться в работах [8, 9]. Поворот барабана стойки 3 осуществляется за счет вращения шагового двигателя 15. Для вращения шагового двигателя 15 с

компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 27 подается сигнал на ключ 26 с целью включения генератора импульсов 25. Одновременно компьютер 28 подает сигнал через ЦАП 27 на ключ 22, который замыкает цепь, и сигнал с генератора импульсов 25 может поступать на контакты электромагнитного реле 20, к которому подключены выводы шагового двигателя 15 (ключ 2, рис. 3). Синхронно с замыканием цепи, на которую поступает сигнал с генератора импульсов 25, ключ 22 включает счетчик импульсов 23, который служит для контроля угла поворота шагового двигателя 15.

Импульсы с генератора 25 поступают на контакты электромагнитного реле постоянного тока 20, к которому подключены выводы шагового двигателя 15, рис. 2. Будем считать, что для вращения шагового двигателя 15 по часовой стрелке выводы генератора импульсов 25 и шагового двигателя 15 подключены на нормально замкнутые контакты электромагнитного реле 20, рис. 2. Под действием импульсов генератора 25, шаговый двигатель 15 начинает осуществлять вращение. К генератору прямоугольных импульсов 25 подключен счетчик импульсов 23, с помощью которого можно контролировать угол поворота шагового двигателя 15. Данные со счетчика импульсов 23 поступают на компьютер 28. При повороте шагового двигателя 15 на требуемый угол с компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь 27 поступает сигнал на ключ 26 с целью его закрытия и выключения генератора импульсов 25, а также на счетчик импульсов 23 для его обнуления.

При необходимости вращения шагового двигателя 15 против часовой стрелки с компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь 27 поступает сигнал на ключ 21, который замыкает цепь катушки электромагнитного реле 20 (ключ 1, рис. 3). В результате чего электромагнитное реле 20 срабатывает. При этом нормально замкнутые контакты размыкаются, а нормально разомкнутые замыкаются, рис. 3. Далее с помощью компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь 27 открывается ключ 26, который включает генератор импульсов 25. Теперь импульсы от генератора 25 поступают на нормально разомкнутые контакты электромагнитного реле 20, к которым подключается шаговый двигатель 15, рис. 2. Таким образом меняется полярность импульсов поступающих на шаговый двигатель 15, и он начинает вращаться против часовой стрелки. Для контроля угла поворота шагового двигателя 15 служит счетчик импульсов 23, подключенный к генератору прямоугольных импульсов 25. Данные со счетчика импульсов 23 поступают на компьютер 28. При повороте шагового двигателя 15 на требуемый угол с компьютера 28 через цифро-аналоговый преобразователь 27 поступает сигнал на ключ 26 с целью выключения генератора импульсов 25 и на ключ 21, который размыкает цепь катушки электромагнитного реле постоянного тока 21. Далее с компьютера 28 поступает сигнал на счетчик импульсов 23 с целью его обнуления. Если нет необходимости выключения генератора импульсов, то с компьютера 28 через ЦАП 27 поступает сигнал на ключ 22, который размыкает цепь, по которой на электромагнитное реле постоянного тока 18 поступает сигнал с генератора 25 (ключ 2, рис. 3). При этом генератор 25 продолжает работать.



К - катушка электромагнитного реле; М - шаговый двигатель; Ген - генератор импульсов; Кл 1 - ключ; Кл 2 - ключ

Рис. 3. Подключение шагового двигателя к генератору импульсов через электромагнитное реле

Изменение диапазона рабочих оптических плотностей осуществляется ослаблением интенсивности лазерного излучения, за счет поворота поляроида поляризационного ослабителя 8 в соответствии с законом Малюса. Поворот поляроида осуществляется за счет вращения шагового двигателя 16.

Управление работой шагового двигателя 16 аналогично управлению шаговым двигателем 15. Функции элементов 17, 18, 19, 24 аналогичны функциям элементов 20, 21, 22 и 23 соответственно.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предлагаемый спектрофотометр автоматически устанавливает выходное излучение на необходимую длину волны и требуемый рабочий диапазон оптических плотностей, что облегчает проведение анализа и сокращает временные затраты.
2. Прибор позволяет работать с пробами, верхний предел оптической плотности которых достигает значения «4,6».

#### Список литературы

1. Деулин Б. И. Спектрофотометр с источником света в виде РОС-лазера на органических красителях / Б. И. Деулин // Волгоград: Известия ВолГТУ, серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». – 2013. – Т. 8, № 23. – С. 90–95.
2. ОКБ «Спектр». Спектральные приборы для вашей лаборатории [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.okb-spectr.ru/>
3. Сигма Lab. Лабораторное оборудование и аналитическое оборудование. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sigma-lab.ru/>
4. Деулин Б. И. Модернизация твердотельного лазера на органических красителях ЛКИ-301 / Б. И. Деулин // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», № 5 (301). – Орел: Издательство ОрелГТУ, 2013. – С. 145–149.
5. Деулин Б. И. Сравнительные характеристики твердотельных лазеров на красителях с различными матрицами / Б. И. Деулин // Материалы VI Международной заочной научно-практической

- интернет-конференции «Инновационные, фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству». – Орел: Издательство ОрелГАУ, 2013. – С. 162–166.
6. Деулин Б. И. Автоматизированный твердотельный лазер на красителях / Б. И. Деулин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2015. – Т. 1 (67), № 4. – С. 109–118.
  7. Деулин Б. И. Автоматизированный двухлучевой спектрофотометр с источником света в виде модернизированного твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301 / Б. И. Деулин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия – 2016. – Т. 2 (68), № 4. – С. 82–91.
  8. Деулин Б. И. Стойка-радиатор для твердотельного лазера на красителях / Б. И. Деулин, В. В. Филиппов // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 5 (9). – С. 82–91.
  9. Деулин Б. И. Автоматизированная стойка для твердотельных лазерных элементов с мембранными радиаторами / Б. И. Деулин, В. В. Филиппов // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 5 (9). – С. 95–101.

## AUTOMATED DOUBLE-BEAM SPECTROPHOTOMETER WITH A LIGHT-SOURCE UPGRADED SOLID-STATE LASER DYE LCI-301

*Deulin B. I.*

*Orel Technology College. Orel, Russia  
E-mail: boris1967or@qip.ru*

The article proposes an automated single-beam spectrophotometer with a light source in the form of upgraded solid state dye laser LCI-301, which uses active laser elements on the epoxy resin or porous glass disk-shaped, allowing to carry out pumping "one point" and placed in an automated rack radiator. Changing the laser range is due to the change of the active laser element by rotating the drum rack. Rotating drum stand at the desired angle by means of a stepper motor. Setting the desired radiation wavelength within the range by means of a piezo-tunable interferometer to which, through digital-analog converter is supplied with the required voltage level computer. Setting the working optical density range is automatically provided polarization attenuator by rotation in accordance with the law of Malus. Rotating the polarization attenuator to the desired angle is provided so as a stepper motor. The upper limit of the measured optical density reaches a value of "4.6". Overall management of the device operation and processing the results of measurements performed on a given computer program.

**Keywords:** optical density, automation, dyes, laser range spectrophotometer.

### References

1. Deulin B. I. Spectrophotometer with a light source in the form of a DFB laser based on organic dyes, Volgograd: News VolGTU series «*Electronics, measuring equipment, radio and telecommunications*», **8** (23), 90 (2013).
2. EDB "Spectrum". Spectral devices for your laboratory [Electronic resource] - Access mode: <http://www.okb-spectr.ru/>
3. Sigma Lab. Laboratory equipment and analytical equipment. [Electronic resource] - Access mode: <http://www.sigma-lab.ru/>