

Исследование оптоэлектронного метода и разработка устройств для мониторинга жидких сред

Е.Ю. Кутенкова¹, Б.Н. Рахимов², Т.В. Ларина¹, Ш.И. Мадумаров³

¹ ФГБОУ ВПО СГГА, ² ТУИТ, Ташкент, ³ ФГБОУ ВПО НГТУ

Аннотация. Приведен анализ существующих средств мониторинга жидких сред. Предлагается новая конструкция многофункционального оптоэлектронного фотоколориметра для автоматического контроля. Отличительными особенностями которого является то, что стационарно расположенная кювета представляет собой склеенный из двух половин цилиндр с центральным отверстием, куда заливается исследуемая жидкость. Наличие $n+1$ оптопар позволяет контролировать наличие и содержание n компонентов в составе жидкостей.

Ключевые слова: Светоизлучающий диод, фотоприемник, оптопара, кварцевая кювета, полупрозрачные жидкости, сумматор, блок обработки фотоэлектрического сигнала, измерительный прибор, оптоэлектронная система.

В настоящее время оптоэлектронные методы контроля [1 - 4] с успехом применяются для количественного и качественного анализа различных веществ, например, для определения параметров полупрозрачных жидких сред (нефтепродуктов, растительного масла, глицерина, соков, напитков, мочи, крови и т.п.). Они обладают такими существенными преимуществами по сравнению с другими физико-химическими методами анализа, такими как высокая точность и чувствительность, экономичность являются их преимуществами.

Суть оптоэлектронного мониторинга состоит в том, что любое вещество отражает, поглощает, или излучает свет. При этом в зависимости от химического состава вещества и количественного соотношения составляющих его элементов изменяется интенсивность светопоглощения, угол отражения и другие характеристики взаимодействия светового излучения и вещества.

Оптические устройства для контроля физико-химических параметров жидкостей в зависимости от физических явлений, изменяющих параметры светового потока, прошедшего через исследуемую среду, можно подразделить на три группы:

поляриметрические, рефрактометрические, фотометрические.

Фотометрический метод в основном применяется для анализа жидких веществ и растворов. В этом методе либо сравниваются света анализируемой жидкости с эталоном, либо оценивается степень поглощения светового излучения.

Определяя цвета жидких сред можно контролировать концентрацию того или иного компонента. Это производится либо визуально, либо при помощи оптоэлектронных устройств, превращающих, с начала, электрическую энергию в световую, а после взаимодействия света с контролируемой средой – обратно в электрическую. В соответствии с этим различают фотометрический визуальный метод анализа, называемый часто колориметрическим, и метод анализа с применением оптронов – фотоколориметрический.

Одним из наиболее развивающихся направлений в этой области является создание оптоэлектронных анализаторов – фотоколориметров. Бесспорно, фотоколориметры применяются в различных областях народного хозяйства, например, на предприятиях водоснабжения, в металлургической, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и других областях народного хозяйства. для непрерывного или дискретного контроля физико-химических параметров веществ и материалов. В частности, фотоколориметры предназначены для измерения коэффициентов пропускания и оптической плотности водных растворов, а также для измерения скорости изменения оптической плотности вещества и определение концентрации определенного вещества в растворе.

Широкое использование фотоколориметры получили в медицине для определения концентраций биопрепаратов в биологических жидкостях и контроля за состоянием человека.

В последние годы значительно возросли требования, предъявляемые к оперативности и качеству медицинских услуг. Однако нехватка финансирования в медицине не позволяет

вывести эту важнейшую отрасль на новый качественный уровень. В частности, наличие на рынке медицинской техники широкого выбора оборудования для лабораторных исследований зарубежного производства не позволяет решить проблему снабжения отечественных биохимических и клиничко-диагностических лабораторий современной техникой из-за ее большой стоимости. При этом отсутствуют современные отечественные разработки в данной области. Кроме того, зарубежное лабораторное оборудование ориентировано на использование дорогостоящих реактивов производства западноевропейских фирм, что при массовых исследованиях делает практически невозможным эксплуатацию таких приборов в рядовых отечественных медицинских учреждениях. Отсутствие квалифицированного технического персонала по обслуживанию зарубежного лабораторного оборудования еще более усугубляет эту ситуацию.

Эксплуатация таких приборов крайне затруднена, например, в условиях полевой лаборатории, в машине скорой помощи, при профосмотрах и выездах, что объясняется их громоздкостью и необходимостью работы от электросети. Отсутствие на рынке специализированных малогабаритных портативных приборов с возможностью работы не только от электросети, но и от бортовой сети автомобиля или аккумуляторов затрудняет работу медперсоналу.

Главной частью традиционного фотоколориметра, определяющей энергопотребление, надежность и массогабаритные показатели является оптический блок на основе лампы накаливания, который практически во всех фотометрических приборах является закрытым и имеет конструктивную защиту от влияния условий внешней освещенности. Эксплуатация таких приборов сопряжена с дополнительными манипуляциями при каждом измерении и, соответственно, с существенными затратами времени при проведении массовых измерений.

Разработка малогабаритного оптического блока открытого типа на основе полупроводниковой оптоэлектронной пары и переход от конструктивных средств защиты оптического канала к схемотехническим позволит кардинально уменьшить массу и габариты прибора повысить его надежность и увеличить срок службы. В связи с этим особую значимость приобретает разработка электронной измерительной части прибора, позволяющей эффективно работать в условиях меняющейся внешней освещенности.

В настоящее время наибольшее применение нашли отечественные фотоколориметры серийного выпуска такие, как колориметры фотоэлектрические концентрационного типа КФК-2МП [5], КФК-2 (рис. 1), содержащие излучатель, светофильтр, кювету (кварцевую или стеклянную) с исследуемым раствором, приемник оптического излучения (ПОИ), электронный блок обработки сигналов и измерительный прибор.

Эти колориметры предназначены для измерения в отдельных участках диапазона длин волн 315 - 80 нм, выделяемых светофильтрами, коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостных растворов и твердых тел, а также определения концентрации веществ в растворах методом построения градуировочных графиков. Колориметр позволяет производить измерения коэффициентов пропускания рассеивающих взвесей, эмульсий и коллоидных растворов в проходящем свете.



Рис. 1. Фотоколориметр КФК-2

Кроме того в мировой практике для этих целей получил распространение фотометр ЮНИКО 1201 (рис. 2), который предназначен для измерения коэффициентов пропускания, оптической плотности и концентрации растворов. Однолучевой спектрофотометр специально разработан для широкого использования в лабораториях всех отраслей промышленности, решения аналитических задач в таких отраслях, как клиническая химия, биохимия, защита окружающей среды, энергетика, металлургические, химические, пищевые лаборатории, лаборатории воды и сточной воды, нефтехимии и в других сферах контроля качества.

По техническим характеристикам и возможностям ЮНИКО 1200 (1201) полностью

заменяет широко применяемые в лабораторной практике фотоколориметры и фотометры фотоэлектрические типа ФЭК и КФК-2,-3,-5 и др. Например, спектрофотометр обеспечивает определение содержания веществ в различных растворах – меди, железа, хлора, серебра; определение содержания сахара, билирубина, глюкозы, холестерина, креатина в крови и моче; мочевины, общего белка, щелочей, фосфатов в химических растворах.

Фотометр ЮНИКО 1200 (1201) работает в спектральном интервале 325 – 1000 нм.

Прибор специально адаптирован для отечественных условий эксплуатации и выпускается с учетом российских лабораторных требований.



Рис. 2. Фотометр ЮНИКО 1201

Для данных устройств характерны следующие недостатки: невысокая чувствительность и неточность измерений, за счет несовершенства конструкции кюветы и кюветодержателя, которая предполагает необходимость извлечения кюветы из прибора при проведении каждого последующего анализа для того, чтобы заполнить очередной пробой, кроме того поверхности кювет приходится мыть и протирать от потеков исследуемой жидкости.

Промышленностью выпускаются автоматические фотоэлектрические колориметры для непрерывного контроля за цветом нефтепродуктов на технологических потоках, в которых используют дифференциальный метод измерения светопоглощения. В качестве сравнительного образцового средства чаще всего используется светофильтр, изготовленный из цветных стекол или специально подобранная жидкость с равноценной спектральной характеристикой. Выходное напряжение, подаваемое на регистрирующий прибор, изменяется пропорционально изменению отношения оптических плотностей контролируемого

продукта и образцового средства и измеряется при помощи оптической системы с электрической компенсацией.

Для контроля нефтепродуктопроводов разработан и используется специализированный автоматический фотоэлектрический колориметр погружного типа для осуществления контроля за границами раздела последовательно перекачиваемых бензинов [1].

Отверстие, находящееся в верхней части корпуса 1 фотоэлектрического датчика (рис. 1) [1], которое закрывается крышкой 9 с прокладкой 8, обеспечивает доступ жидкости во внутреннюю полость датчика. У корпуса с двух сторон имеются штепсельные разъемы 4 и 13. Прозрачные защитные окна 7 и 10, которые изготавливают из стекла или пластмассы, пропускающие световой поток в видимой и ИК-областях спектра герметично вклеены в стенки корпуса. Два источника излучения: 5 для работы в видимой области спектра, 3 для калибровки показаний датчика в ИК-области установлены перед защитным окном 7. Интерференционный светофильтр 6, пропускает видимую часть спектра и устанавливается между источником излучения 5 и окном 7. Инфракрасный интерференционный светофильтр 2 ограничивает поток излучения на источник 3.

Фоторезисторы 12 и 14, воспринимающие световой поток видимой части спектра при контроле полупрозрачных жидкостей и инфракрасное излучение при калибровке датчика находятся перед защитным окном 10. Светофильтр 11 пропускает излучение в видимом (зеленом) и инфракрасном диапазонах спектра и находится перед фоторезистором 12, а светофильтр 15 - излучение в видимом (красном) и инфракрасном диапазонах спектра, он установлен перед фоторезистором 14. К штепсельным разъемам 4 и 13 с помощью проводов подключены источники излучения 3, 5 и фоторезисторы 12, 14

Повышение чувствительности и точности контроля за цветом перекачиваемых полупрозрачных жидкостей обеспечивается за счет использования зеленого и красного светофильтров. Например, для коммерческого и премиального бензинов отношение пропусканий излучения красного и зеленого светофильтров изменяется от 0,9 до 7, т.е. максимальный предел отношений на границах раздела бензинов достаточно высокий - 8:1. Также в состав фотоэлектрического колориметра входят электронное устройство, блок питания и регистрирующий прибор.

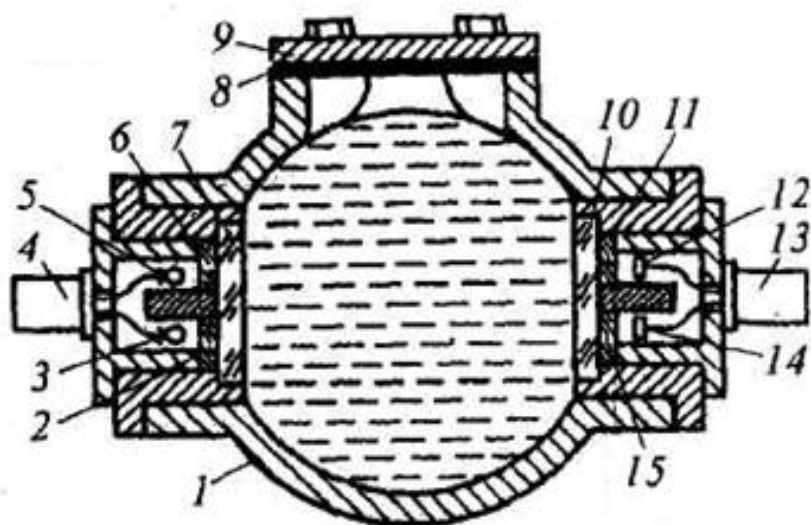


Рис 3. Конструкция фотоэлектрического датчика

Основными недостатками рассмотренного фотоэлектрического датчика являются сложность конструкции из-за необходимости использования светофильтров, что кроме того вносит определенные погрешности, а также важность обеспечения герметичности при контроле.

Авторами была предложена конструкция колориметра [6–8], которая позволяла устранить выше перечисленные недостатки за счет стационарного положения колориметра, встроенного в технологический поток полупрозрачных жидкостей. Кроме того кювету предлагалась изготавливать в виде прозрачной линзы-шара, внутри которой имеется по оси симметрии имеется цилиндрическое отверстие, куда с помощью специальных стоек закрепляется, например, четырехгранный или цилиндрический стержень с посеребренными отражающими поверхностями. Но данная конструкция имеет существенный недостаток: технологическая сложность изготовления линзы-шара, особенно полированной поверхности центрального отверстия.

Оптоэлектронный многопараметровый колориметр не имеет вышеперечисленных недостатков, его гораздо проще изготовить, так как кварцевая кювета состоит из двух полуцилиндрических трубок 15 (рис. 4, 5) [9, 10]. Плоское зеркало с двухсторонним отражением 8 приклеивается между двумя полуцилиндрами. Стеклоградированная воронка 18, куда заливается контролируемая жидкость 9, присоединяется к кювете. Кран 19,

находящийся снизу конструкции, служит для перекрытия жидкости. Вся конструкция помещена в корпус 18 (рис. 4). Датчик можно установить на линии технологического процесса, т.е. контролировать жидкости (соки, напитки, пиво и т.д.), протекающие через трубу по стрелке, указанной на рис. 4.

Кроме того, оптоэлектронный многопараметровый колориметр (рис. 5) состоит из задающего генератора 1 (источника импульсного питания), коммутатора 2, опорного лазерного диода 3, измерительных лазерных диодов 4, 5, 6, 7, $(n-1)_{из}$, $n_{из}$, измерительных фотоприемников 11, 12, 13, 14, $(n-1)_{пр}$, $n_{пр}$, блока обработки фотоэлектрического сигнала 16, регистрирующего прибора 17 (например, ЭВМ). При включении, задающий генератор 1, вырабатывает прямоугольные импульсы 8 - 10 Гц. Разделенные импульсы через коммутатор - переключатель оптронов 2 подаются попеременно на лазерные диоды 4, 5, 6, 7, $(n-1)_{из}$, $n_{из}$, которые имеют определенные спектральные характеристики, соответствующие спектральным характеристикам n компонентов (параметров), содержащихся в полупрозрачных жидкостях. При этом оптопары могут включаться последовательно. Лазерный диод 3 и измерительный фотоприемник 10 образуют опорную оптопару, которая предусмотрена для того, чтобы сравнивать измерительные сигналы с сигналом опорного канала и обеспечивать достоверность результатов измерения. При заполнении цилиндрического отверстия кюветы 15 контролируемой жидкостью 9 она облучается

лазерными диодами. В первом положении переключателя, поток излучения лазерного диода 4 фокусируется, проходит через контролируемую жидкость 9, отражается от одной из двух поверхностей плоского зеркала 8, и вновь проходя через контролируемый образец 9, далее попадает на измерительный фотоприемник 11. Затем сигналы поступают в блок обработки фотоэлектрического сигнала

(БОФС) - 16, где реализуется отношение сигналов этого измерительного потока и компенсационного - от диода 3 и измерительного фотоприемника 10. Во втором положении переключателя 2 подключается вторая оптопара, процесс измерения повторяется, и так далее происходит для остальных оптопар.

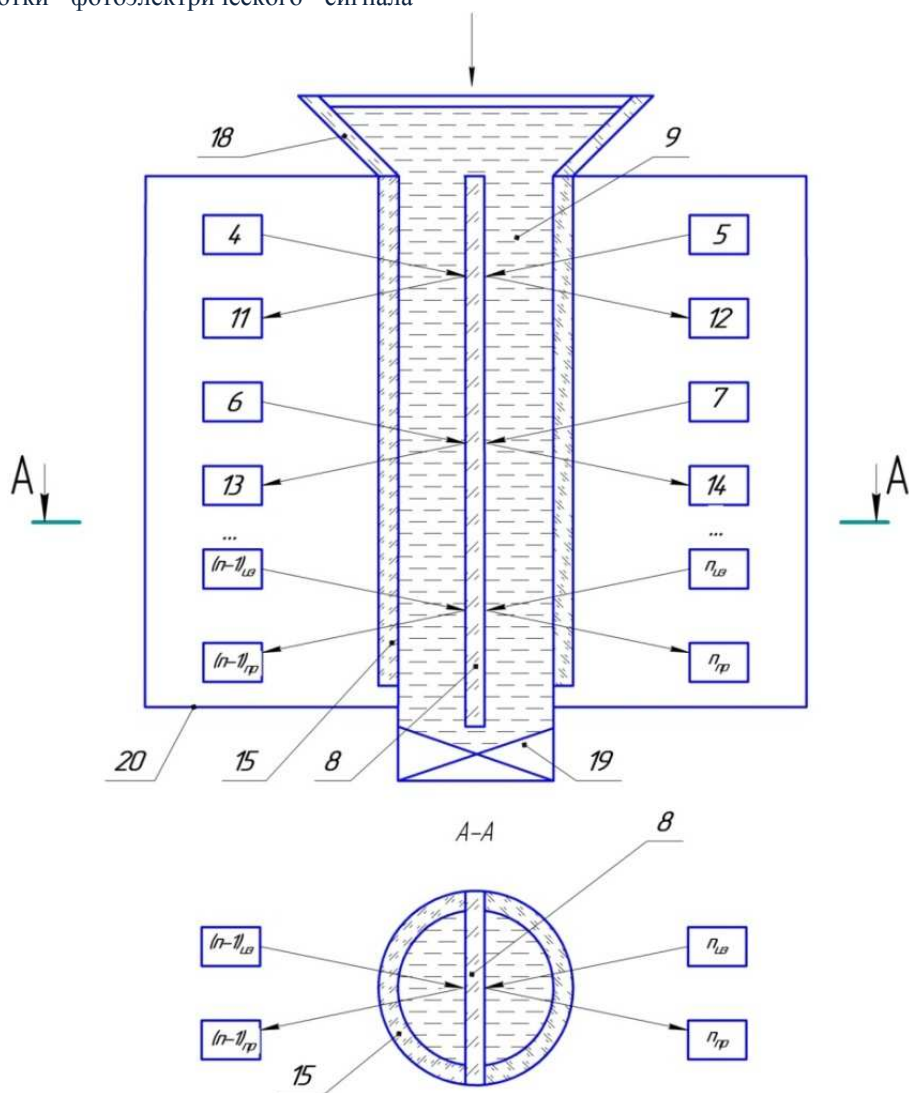


Рис. 4. Конструкция датчика оптоэлектронного многопараметрового колориметра

Полученный сигнал отношения пропорционален величине коэффициента пропускания и оптической плотности жидких сред или прозрачных твердых тел. За счет использования n оптопар в конструкции датчика можно определить наличие и концентрации веществ (параметров) в растворе. Полученные результаты подаются на измерительный прибор или ЭВМ 17, по показанию которого судят о параметрах жидких сред при этом необходимо наличие предварительно определенных градуи-

ровочных характеристик. ЭВМ обеспечивает автоматическое выполнение аналого-цифровых измерительных преобразований, вычислительных процедур, выдачу полученной информации, формирование командной и другой служебной информации, необходимой для функционирования оптоэлектронных многофункциональных автоматических контрольно-измерительных систем.

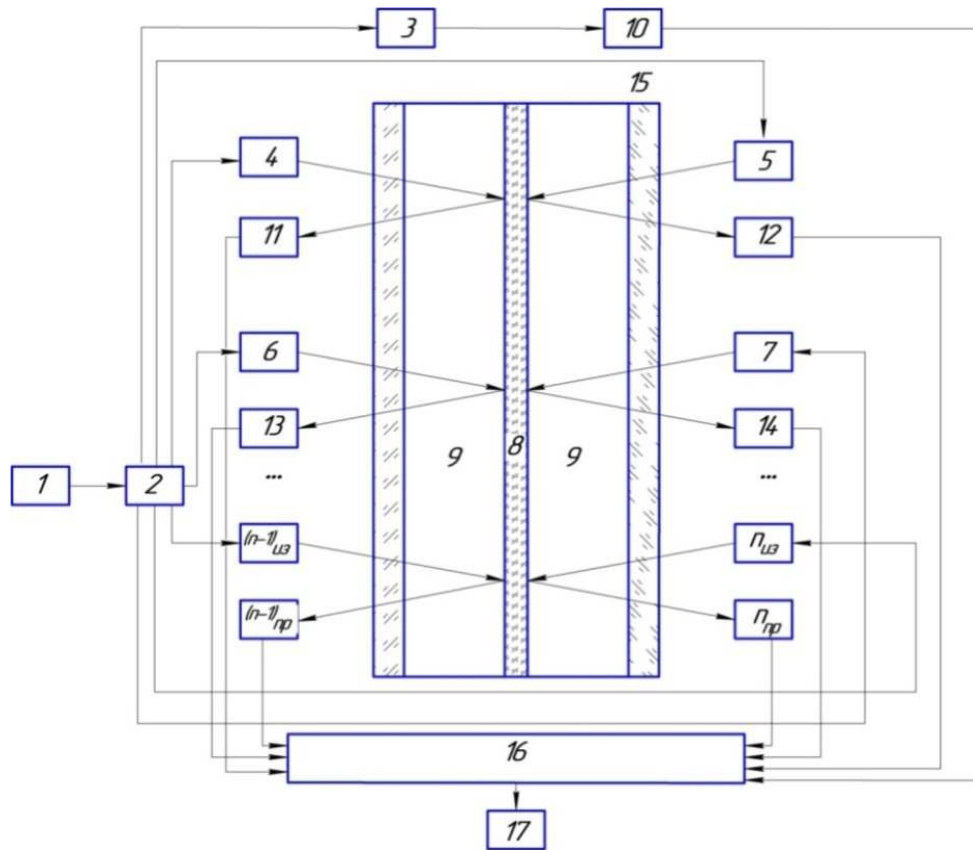


Рис. 5. Блок-схема оптоэлектронного многопараметрового колориметра

Для обеспечения эффективности работы предлагаемых устройств [9 - 10] были экспериментально определены характеристики основных элементов колориметров, такие как проходная характеристика оптронной пары с открытым оптическим каналом (ООК). Для сравнения результатов расчета коэффициента передачи оптического сигнала (ОС) с экспериментальным значением необходима характеристика оптронной пары без ООК. Были сняты характеристики оптронных пар с использованием схемы, показанной на рис. 6, где в качестве светоизлучающих диодов (СИД) использовались следующие: синие (С), зеленые (З), красные (К), инфракрасные (ИК) (рис. 2, 3). В качестве приемника излучения использовался фоторезистор СФ2-4, охватывающий широкую спектральную область. Результаты эксперимента, который проводился при комнатной температуре ($t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$),

представлены на рис. 7 в виде графической зависимости тока фотоприемника от тока источника излучения. Кривые, полученные в результате эксперимента, показывают, что характеристики оптронной пары достаточно близки к линейной зависимости.

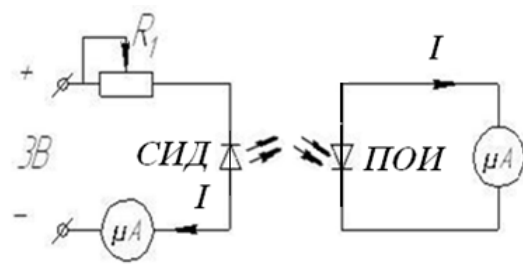


Рис. 6. Схема снятия характеристики оптронной пары

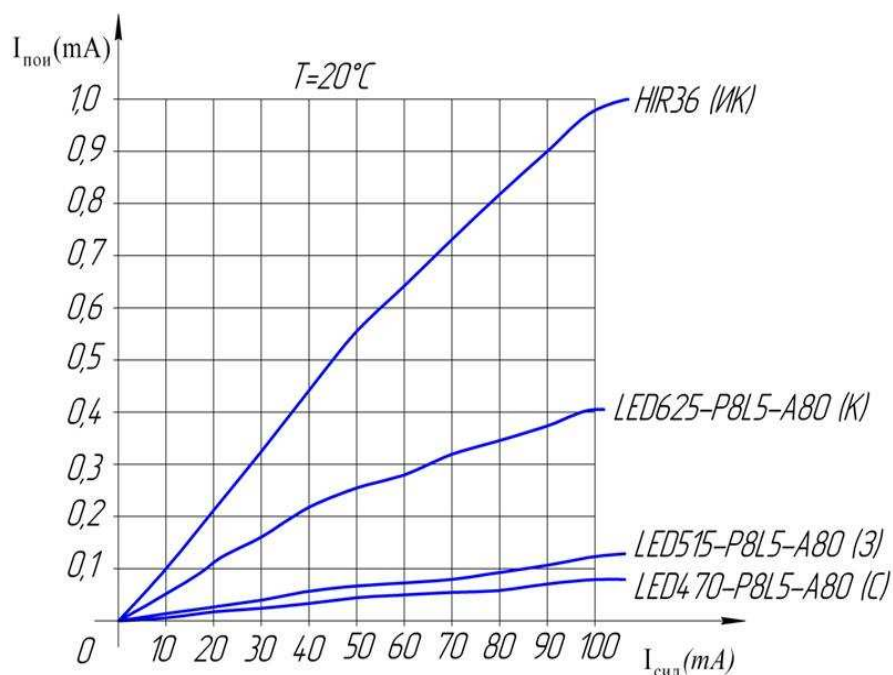


Рис. 7. Характеристики оптронной пары

Эксперимент позволил для каждого спектрального диапазона выявить светодиоды, для которых характеристика идет круче и эти светодиоды обладают большей мощностью излучения по сравнению с остальными. Для датчика имеет смысл брать в качестве источника излучения те светодиоды, которые имеют более крутую характеристику из всех исследованных для соответствующей определенной спектральной области (синих, зеленых, красных, инфракрасных). В результате проведенных экспериментов в качестве источников оптического излучения было принято решение использовать следующие светодиоды: синий «Пиранья» LED470-P8L5-A80, зеленый «Пиранья» LED515-P8L5-A80, красный «Пиранья» LED625-P8L5-A80, инфракрасный «Пиранья» HIR36.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый авторами оптоэлектронный многопараметровый имеет небольшие габариты ($200 \times 50 \times 200$), но за счет двукратного прохождения излучения через исследуемую полупрозрачную жидкость обеспечивает точность проводимых измерений. Стационарное расположение кюветы, через которую пропускается жидкость снижает погрешности измерений, которые неизбежны при переустановке датчика. Усовершенствованная конструкция кюветы, позволит упростить ее

изготовление и снизить затраты на стадии ее производства. Наличие n+1 оптопар позволяет контролировать наличие и содержание n компонентов в составе жидкостей, что делает анализ более объективным.

Работа поддержана грантом по проекту «Исследование предельных точностей оптических методов измерения параметров движения и мехатронных методов управления движением и разработка новых робототехнических и электромеханических систем», Темплан, проект № 7.559.2011.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Неразрушающий контроль: справочник: В 7т./под общ.ред. В.В. Клюева. Т. 6: Магнитные методы контроля, Оптический контроль, Радиоволновый контроль / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 2004.
- [2] Рахимов Н.Р., Касымохунова А.М., Усманов Ш.. Оптоэлектронные средства неразрушающего контроля физико-химических параметров жидких сред / журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль». – Киев, 2001. № 3. – С. 40–42.
- [3] Рахимов, Н.Р. Оптоэлектронные системы на основе эффекта НПВО для контроля технологических параметров нефти и нефтепродуктов / Н.Р. Рахимов, Л.Ф. Парфирьев // Изв. вузов. Приборостроение, 2006. - № 1. – С. 41 – 45
- [4] Мирзамахмудов Т.М., Рахимов Н.Р., Гафуров У.А., Зокиров Р.З., Атакулов О.Х.. Устройство для определения оптических параметров жидких сред / Авторское свидетельство № 1693482 от 23.11.91 г.
- [5] Глухов В.С. Термохимические методы и приборы для анализа жидких сред. – Армавир, АГПИ, 1998.

© **АВТОМАТИКА И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. 2012, №1(1)**

[6] Пат. 2413201 Российская Федерация, МПК51 G01N 21/03. Оптоэлектронный фотоколориметр/ Рахимов Б.Н., Ушаков О.К., Кутенкова Е.Ю., Ларина Т.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия». - №2009146659/28; заявл. 15.12.2009; опубл. 27.02.11, Бюл. №6. - 4 с. : ил.

[7] Рахимов, Б.Н. Оптоэлектронный автоматический колориметр/Б.Н. Рахимов, О.К. Ушаков, Е.Ю. Кутенкова, Т.В. Ларина // Приборы и техника эксперимента, 2011. - № 5. - С. 161 – 162.

[8] Rakhimov, B. N. Aspects of Improvement of Automatic Optoelectronics Colorimeter Receiver of Optical Radiation (ROR) / B. N. Rakhimov, E. U. Kutenkova, P. V. Petrov // Proceedings of the RFBR and DST Sponsored "The Second Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics" 10 – 13 September, 2011. Additional Volume sponsored by NSTU, Department of Automation, p. 32 – 33.

[9] Заявка № 2011153209 Российская федерация. Оптоэлектронный многопараметровый колориметр/Б.Н. Рахимов и др.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия».

[10] Ушаков, О.К. Автоматический колориметр на основе оптоэлектронных преобразователей/ О.К. Ушаков, Е.Ю. Кутенкова, А.Н. Серьезнов / Интерэкспо ГЕО – Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10 – 20 апреля 2012 г. Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии»: сб. материалов в 2 т. Т.1. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 146 - 151.

Елена Юрьевна Кутенкова - доцент кафедры ТОП ФГБОУ ВПО "СГГА".

E-mail: kutenkova.elena@yandex.ru

Рахимов Бахтиержон Нематович - аспирант ТУИТ, Ташкент.

E-mail: nerah@rambler.ru

Татьяна Вячеславовна Ларина - доцент кафедры ТОП ФГБОУ ВПО "СГГА".

E-mail: larina_t_v@mail.ru

Шерзод Ильхомович Мадумаров - аспирант НГТУ кафедры Автоматики.

E-mail: fergana_10@mail.ru