

## ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ СРЕД

Н. Р. РАХИМОВ, А. М. КАСЫМАХУНОВА, Ш. УСМОНОВ

В связи с необходимостью повышения эффективности производства нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности и развития автоматизированных систем управления постоянно возрастает значение первичных измерительных преобразователей (ПИП) в частности, оптоэлектронных.

Интенсивное развитие оптоэлектроники позволило создать оптоэлектронные неразрушающие методы и устройства автоматического контроля, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к первичным преобразователям: бесконтактность контроля, высокая чувствительность, точность, быстродействие, надежность, малые габариты и энергопотребление.

Последние годы в области создания оптоэлектронного ПИП в Ферганском политехническом институте накоплен большой объем научных материалов, разработан ряд оптоэлектронных устройств [1–4] неразрушающего контроля физико-химических параметров жидких сред.

Основными физико-химическими параметрами, определяющими оптимальный ход технологического процесса, являются цветовые (для нефтепродуктов, хлопкового масла, соков, напитков и т. п.), влагосодержание (для нефти и нефтепродуктов, хлопкового масла, глицерина и т. п.), а также оптическая плотность, содержание одного вещества в другом и другие характеристики, подвергающиеся оптическому контролю.

Современное оптоэлектронное устройство состоит из четырех основных узлов: источника излучения — светоизлучающего диода (СИД), различных линз, контролируемого объекта (КО) и приемника оптического излучения (ПОИ). В последнее время в качестве источника излучения все шире применяются полупроводниковые источники некогерентного излучения — СИД [5, 6]. Их преимущество по сравнению с другими источниками в следующем: малых энергоемкости, габаритах и массе; способности выдерживать значительные механические перегрузки; высокой стабильности, надежности в работе; малой инерционности; простоте модуляции излучения. Эти свойства СИД позволяют использовать их в качестве источников излучения, питание к которым может подаваться с помощью бесконтактных схем. Сочетание малой инерционности с линейной зависимостью мощности излучения от тока делает возможным использование СИД в качестве источника излучения с управляемой интенсивностью, которую можно модулировать весьма высокой частотой или изменять по определенному закону за весьма короткий промежуток времени. Основным недостатком СИД является нестабильность

излучения при изменении температуры, которую можно исключить правильным подбором их режима питания или термостатированием [7].

В оптоэлектронных ПИП функции приемника излучения выполняет ПОИ, который является первичным преобразователем [8]. Роль последнего сводится к пропорциональному преобразованию освещенности его светочувствительной поверхности в выходное напряжение и ток. Такое преобразование оптического сигнала в электрический происходит вследствие того, что при изменении потока излучения в ПОИ либо меняется сопротивление, либо возникает электродвижущая сила.

К ПОИ, основанным на внешнем фотоэффекте, принадлежат вакуумные фотоэлементы: фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и болометры. К ПОИ с внутренним фотоэффектом относятся фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы, лавинные фотодиоды, приборы с зарядовой связью (ПЗС) и АФН-приемники [9].

ПОИ обладают различной спектральной чувствительностью — ее область для ФЭУ находится в пределах 0,16... 1,1 мкм, а у фотодиодов зависит от исходного полупроводникового материала: для кремниевых она составляет от 0,4 до 1,2 мкм, для германиевых — от 0,4 до 1,2 мкм. Область спектральной чувствительности фоторезисторов лежит в пределах от 0,4 до 10 мкм, а АФН-приемников — от 0,4 до 2 мкм.

По нашим заказам Санкт-Петербургское оптико-механическое объединение (ЛОМО) изготавливает различные линзы (полусфер, шарообразные, цилиндрические и т. п.). Оптоэлектронные средства для контроля оптических параметров жидких сред в зависимости от физических явлений, определяющих параметры прошедшего через исследуемую среду светового потока, разделяются на три группы: фотоэлектрические, рефрактометрические, поляризметрические. В зависимости от области применения их можно подразделить на пять групп: для изучения структуры и строения веществ; для определения и контроля кинетики различных физических и химических процессов, т. е. для изучения взаимодействий и превращений веществ; оптоэлектронные уровнемеры; оптоэлектронные расходомеры. По принципу построения датчики подразделяются на одно- и многоволновые.

Принцип многоволнового метода основан на принципе облучения контролируемого объекта двумя или более световыми потоками. По результатам исследования физико-химического состава и спектральных характеристик для контроля цвета полупрозрачных жидкостей (хлопкового масла, соков, напитков и т. п.) в ходе технологического процесса

выбран двухволновой метод. При этом используется зеленое излучение с длиной волны  $\lambda = 0,56$  мкм и красное с  $\lambda = 0,68$  мкм. Конструктивно датчик-анализатор ДЦ-5М [2] состоит из корпуса и электронного блока, соединенных между собой кабелем.

Основными узлами датчика являются два идентичных кварцевых колпачка. Внутри одного из них находятся два СИД, в другом — идентичные АФН-приемники. Между кварцевыми колпачками протекает анализируемая полупрозрачная жидкость.

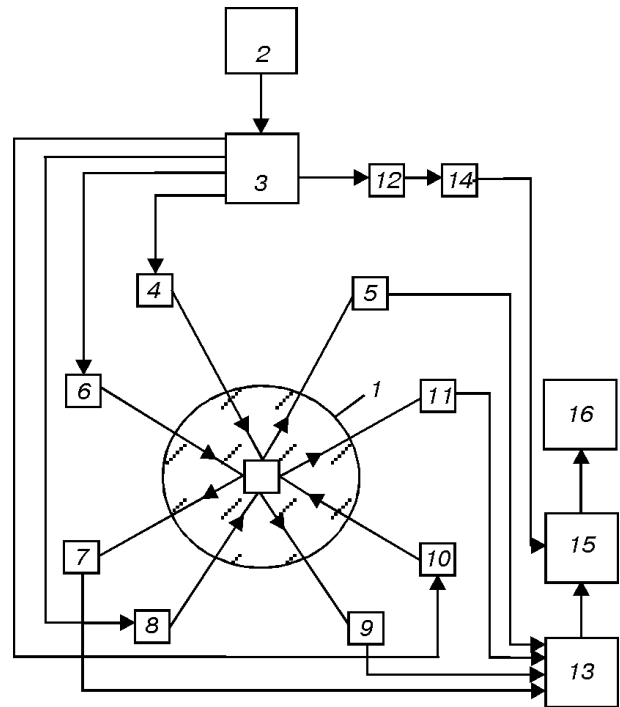
Действие устройства УФД-4М [3] для контроля качественных параметров жидкостей (мутности, цветности, кислотности) основано на принципе регистрации интенсивности световых потоков, прошедших через контролируемую жидкость и эталонный раствор. Оно работает следующим образом. Блок питания снабжает идентичные генераторы стабилизированным током. Каждый генератор в отдельности вырабатывает импульсные токи, которые подаются к идентичным СИД. Излучения, проходящие через контролируемую жидкость и эталонный раствор, поступают на АФН-приемники. Далее разница сигналов, пропорциональная контролируемому параметру, регистрируется измерительным прибором.

На основе элемента нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и использования двухволнового принципа разработан датчик ИВГ-2М [8] для контроля концентрации глицерина и датчик-зонд для определения влажности. Применение первого обеспечивает получение надежных результатов, высокую воспроизводимость, необходимую точность и высокую чувствительность, позволяет простыми средствами осуществить эффективный контроль концентрации глицерина, а также осуществлять их автоматизацию.

Разработанный датчик-зонд [10] для определения влажности и содержания воды в цистернах с различными жидкостями (нефть, нефтепродукты, жирные кислоты, глицерин и т. п.) работает следующим образом. Его погружают в исследуемую жидкость, при этом чувствительный элемент (элемент НПВО на основе светоизлучающих диодов и АФН-приемника) с помощью привода углубляется в жидкость. По мере движения чувствительного элемента происходит непрерывное самоочистление его чувствительной грани с помощью очистительных щеток, равномерно размещенных вдоль корпуса.

Разработаны также уровнемер для контроля химических активных жидких сред (СО<sub>2</sub>, нефтепродукты, глицерин и др.) на основе АФН-приемника. Используемые в нем светодиоды со спектром излучения на опорной и измерительной длинах волн выбираются по специальным характеристикам контролируемой жидкости. По спектральным характеристикам контролируемой жидкости выбираются светодиоды со спектром излучения на опорной и измерительной длинах волн. Устанавливается необходимая мощность излучения светодиода.

Устройство НПВО [11] предназначено для контроля оптических параметров (концентрация, влажность, показатель преломления и поглощения и т. п.) жидких сред. Оно включает шар-призму 1 с полостью в виде призмы, проходящей через его



Устройство для определения оптических параметров жидких сред (обозначения в тексте).

центр, задающий генератор (источник импульсного питания) 2, триггер 3 со счетным входом, излучающие диоды 4-7 и компенсационный светоизлучающий диод 8, измерительные 9-12 и компенсационный 13 АФН-приемники, сумматор 14, сравнивающий блок 15 и регистрирующий прибор 16. Внутри шар-линзы 1, работающей на основе НПВО-эффекта, выполнена полость в виде  $n$ -гранной пирамиды. Соответственно устройство содержит  $n-1$  дополнительных источников излучения и измерительных АФН-приемников, а также сумматор. Каждый источник излучения оптически связан через одну из граней призмы с соответствующим АФН-приемником. Далее разница сигналов суммарных измерительных и дополнительного АФН-приемников, пропорциональная контролируемому параметру, подается на измерительный прибор 16.

При прохождении исследуемого вещества через шар, оно оказывает давление на его измерительные грани. Благодаря этому осуществляется хороший контакт исследуемого вещества с оптическим элементом, за счет чего повышается точность измерений.

В результате лабораторных и производственных испытаний установлены следующие технические характеристики устройства:

Напряжение питания, В .....	220
Частота, Гц .....	50
Потребляемая мощность, Вт, не более .....	5
Предел контроля цветности (ЦНТ) .....	0,1... 8,0
Чувствительность (ЦНТ) .....	0,05
Предел измерения влажности, % .....	0... 20
Предел измерения мутности, % .....	1... 50
Габариты, мм .....	200×50×200
Масса, кг, не более .....	0,5

В целом оптоэлектронные устройства с применением различных линз можно использовать в контрольно-измерительной технике в качестве параметрического измерительного преобразователя

неэлектрических величин — таких, как плотность, влажность, координаты движущихся объектов, цвета, шероховатость, концентрация, уровень жидкостей и т. д. Следует отметить, что применение этих линз открывает широкие возможности в разработке миниатюрных измерительных устройств для неразрушающего контроля различных физических параметров.

1. *Rahimov N. R., Mirzamakhmudov T. M.* Control device for qualitative parameters of liquids on the basis of photosensitive semiconductor sensors «УФД-1А». — Moscow: Vneshtorgizdat, 1989. — № 1379 Т. — P. 2.
2. *Rahimov N. R., Gafurov U. A., Zokirov R.* Semitransparent fluid colour sensor-analysier ДЦ-5М. — Moscow, Vneshtorgizdat, 1991. — № 3822 Т. — P. 2.
3. *Rahimov N. R., Gafurov U. A., Zokirov R., Isaqov M.* Fluid quality parameters control device УФД — 4 М. — Moscow, Vneshtorgizdat, 1991. — № 3825 Т. — P. 2.
4. *Rahimov N. R., Gafurov U. A., Akhunjyanov M.* Sensor-probe for moisture determination ДЗВ-2М. — Moscow, Vneshtorgizdat, 1991. — № 3824 Т. — P. 2.

Ферган. политех. ин-т,  
Республика Узбекистан

5. *Берг А., Дин П.* Светодиоды. — М.: Мир. — 1979.
6. *Мухиддинов М. М.* Светодиоды и их применения для автоматического контроля и измерения. — Ташкент: Фан, 1976.
7. *Полупроводниковые* фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазон спектра / Под ред. В. И. Стафеева. — М.: Радио и связь. — 1984.
8. *Рахимов Н. Р., Хатамов С. О., Холмурзаев А. А.* Оптоэлектронный концентратор глицерина на основе ИК-излучателя / INFRA-2000 (сб.ст.). — С. 256–259.
9. *Рахимов Н. Р., Тожиев Р. Ж., Холмурзаев А. А.* Оптический метод и разработки приборов для определения физических параметров нефти и нефтепродуктов / INNOVATION-2000 (Сб. ст.) — (сб.ст.)<sub>5</sub> — С. 141–143.
10. *А. С. № 1689813 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01 N 21/85.* Датчик-зонд для определения влажности / Т. М. Мирзамахмудов, Н. Р. Рахимов, У. Ф. Гафуров др. — Оpubл. 7.11.91; Бюл. № 41.
11. *А. с. № 1693482 СССР, МКИ<sup>7</sup> G 01 N 21/43.* Устройство для определения оптических параметров жидких сред. / Т. М. Мирзамахмудов, Н. Р. Рахимов, Э. С. Мусаев и др. — Оpubл. 23.11.91; Бюл. № 43.

Поступила в редакцию  
30.11.2000

УДК 621.785:681.32

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

**В. Н. ДУБРОВИН, С. А. СУББОТИН, В. К. ЯЦЕНКО**

Одной из важных задач при прогнозировании запаса прочности деталей газотурбинных авиадвигателей (ГТД) и внедрении нового технологического процесса является предварительная оценка коэффициента упрочнения  $\beta^y$  — отношения пределов выносливости упрочненной детали  $\sigma_{-1}^y$  и детали, окончательно обработанной по серийной технологии шлифованием или полированием  $\sigma_{-1}$ :  $\beta^y = \sigma_{-1}^y / \sigma_{-1}$ .

Для определения коэффициента упрочнения необходимо провести испытания на усталость определенного числа деталей, что на стадии проектирования является дорогостоящей и трудновыполнимой задачей. В настоящее время расчет запаса прочности деталей выполняется по результатам испытания на усталость стандартных образцов с различными концентраторами напряжений. В этом случае не всегда соблюдается подобие напряженного состояния в зоне контакта при деформационном упрочнении и изменение коэффициента упрочнения при переходе от упрочненного образца к детали [1].

Эффективность алмазного выглаживания, которое нашло применение в авиадвигателестроении, в значительной мере зависит от выбранных режимов, физико-механических и геометрических характеристик упрочняемых деталей и деформирующего инструмента.

© В. Н. Дубровин, С. А. Субботин, В. К. Яценко, 2001

В задачу исследования [2] входило получение с помощью теории подобия и анализа размерностей математической модели коэффициента упрочнения с участием параметров процесса алмазного выглаживания, физико-механических характеристик материалов деталей и инструмента с учетом изменения эффективности упрочнения при наличии концентрации напряжений и масштабного фактора деталей на этапе проектирования и внедрения технологического процесса.

В качестве факторов, наиболее полно отражающих физико-химические свойства деталей, предлагается использовать [1]:

- 1) твердость материала НВ, МПа;
- 2) среднее контактное давление в зоне деформирования  $q_{\max}$ , МПа;
- 3) полуось эллипса касания в зоне упругого контакта  $a$ , мм;
- 4) подача при выглаживании  $s$ , мм/об;
- 5) временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$ , МПа;
- 6) предел текучести материала  $\sigma_{0,2}$ , МПа;
- 7) показатель деформационного упрочнения,  $n$ ;
- 8) теоретический коэффициент концентрации напряжений от следов обработки;
- 9) параметр исходной шероховатости детали  $R_{al}$ , мкм;
- 10) сила выглаживания  $P_y$ , Н;