

УДК 681.518.52

# ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Б. А. Малик**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057)702-13-16

**Н. П. Селенкова\***

Контактный тел.: 095-300-42-37

E-mail: nata-selenkova@km.ru

\*Кафедра «Технологии производства радиоэлектронных средств и электронно-вычислительных средств»

Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники

пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166

*Розглянуто питання використання первинних перетворювачів в системах забезпечення безпеки технологічних процесів. Проаналізовано вимоги до перетворювачів, можливості їх реалізації, запропоновано підхід, заснований на використанні волоконно-оптичних давачів, скануючих структур*

*Ключові слова: первинний перетворювач, безпека технологічних процесів*

*Рассмотрены вопросы использования первичных преобразователей в системах обеспечения безопасности технологических процессов. Проанализированы требования к преобразователям, возможности их реализации, предложен подход, основанный на применении волоконно-оптических датчиков, сканирующих структур*

*Ключевые слова: первичный преобразователь, безопасность технологических процессов*

*Problems of sensing devices usage in systems for safety of technological processes are considered. Requirements to such transformers, possibilities of their implementation are analyzed. The approach based on application of fiber optic sensors are offered*

*Keywords: sensing device, safety of technological processes*

## 1. Введение

В системах, обеспечивающих безопасность технологических процессов и промышленных объектов, датчики состояния параметров окружающей среды или оборудования являются преобразователями, поставляющими необходимую информацию для управляющих подсистем или лиц принимающих решения.

Наиболее приемлемыми для этих целей являются оптоэлектронные датчики, так как они оказывают минимальное воздействие на объект контроля и позволяют измерять оптические, механические и тепловые параметры с высоким пространственным и временным разрешением. Такие первичные преобразователи обычно реализуются в виде оптопар с различными управляющими элементами, волоконно-оптических датчиков, сканирующих структур.

Обеспечение безопасности такими датчиками может идти по двум направлениям: использование их как элемент системы предупреждения об опасности и как безопасный элемент в системах контроля и предупреждения.

При реализации систем безопасности необходимо принимать во внимание, что они обладают существенными различиями когда осуществляют сбор, обработку информации, принятие решений автоматически и когда участвует человек-оператор. Участие человека требует учета параметров устройств ото-

бражения информации и его психофизиологических особенностей.

## 2. Результаты исследований

Авторами были рассмотрены и исследованы три типа наиболее распространенных в системах безопасности первичных оптоэлектронных преобразователей: волоконно-оптические датчики (ВОД), датчики, использующие оптопары и оптические преобразователи изображений.

При использовании волоконно-оптических датчиков (ВОД) наиболее перспективными являются чисто оптические преобразователи, поскольку при этом наиболее полно учитываются все преимущества волоконно-оптической линии связи в целом. Информационным параметром в таких датчиках может быть амплитуда, фаза, частота и поляризация оптического излучения. В соответствии с ролью волоконного световода в схеме можно выделить две категории ВОД. Первая категория, в которой волоконный световод служит чувствительным элементом, и вторая, где световод используется в качестве оптического тракта для соединения элементов датчиков. Датчики этих типов могут индиферентно взаимное перемещение элементов конструкций величиной в доли микрометра, а также измерять параметры давлений и температур в больших динамических диапазонах с высокой точностью [1].

На приведенных ниже графиках представлены зависимости затухания сигнала от взаимного смещения деталей конструкций, на которых закреплены световоды. Они могут состоять из двух отрезков (передающего и приемного) расположенных соосно (рис. 1) и сплошного, который разрушается при достижении смещения определенных пределов (рис. 2). В этом эксперименте использовались световоды кварц кварц с диаметром сердцевины 50 микрометров (зависимости 1 на рис. 1 и 1, 2, 3 на рис. 2) и одномодовое волокно (зависимость 2 на рис. 1). Зависимости имеют достаточно большую крутизну, что обеспечивает хорошее соотношение сигнал/шум при использовании преобразователей.

При разработке и производстве автоматизированных систем контроля различными технологическими комплексами и, как частный случай, устройствами мобильной техники возникают задачи, решение которых требует комплексного подхода. Необходимо оптимизировать массогабаритные показатели, режимы работы, а также повысить безопасности их эксплуатации.

Для решения этих задач может быть полезна серия первичных преобразователей, которые передают информацию о состоянии уровня углеводородного топлива или другой технологической жидкости с подобными свойствами в систему обработки информации для принятия решения [2].

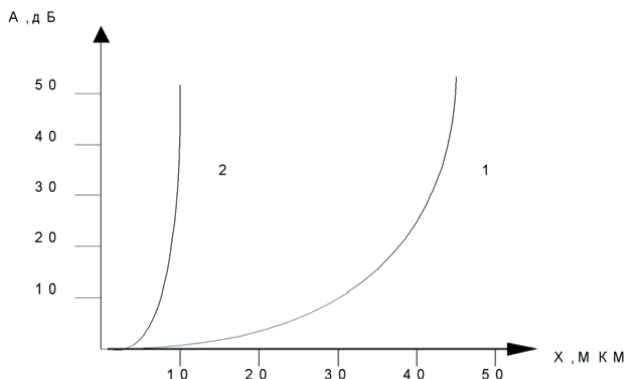


Рис. 1. Зависимости затухания сигнала от взаимного смещения деталей конструкций

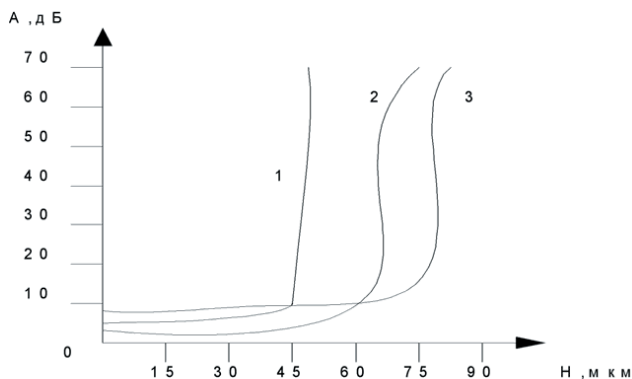


Рис. 2. Зависимости затухания сигнала от взаимного смещения деталей конструкций при разрушении

Емкости для хранения таких жидкостей могут иметь весьма сложную форму, а сами жидкости –

широкий спектр физико-химических свойств. Использование традиционных контактных поплавково-резисторных первичных преобразователей нецелесообразно из-за их низкой надёжности, наличия скользящего контакта, который может искрить и привести к возгоранию или детонации топлива, необходимости сложной тарировки и трудности эксплуатации индикаторных приборов со сложной шкалой и неравномерным шагом.

Для емкостей позволяющих использование поплавка с маятниковым рычагом авторами разработан первичный оптоэлектронный преобразователь, в котором между излучателем и фотоприёмником размещен подвижный сектор с плавно изменяющейся оптической плотностью (оптический клин).

Поплавок жестко соединен с оптическим клином, представляющим из себя пластину из прозрачного полимера, например полистирола, на которую нанесен экспонированный и обработанный фотоэмульсионный слой с изменяющейся по определенному закону оптической плотностью. Закон распределения оптической плотности определяется формой бака и, например, для параллелепипеда или цилиндра будет иметь вид:

$$\psi(x) = 0,02094 \cdot x - \left[ \arccos\left(\frac{h-x}{r}\right) - 30^\circ \right]$$

где  $h$  – высота бака;  $x$  – уровень топлива;  $r$  – длина рычага поплавка;  $30^\circ$  – начальный угол расположения рычага относительно вертикали

Уровень топлива определяется величиной тока, возникающего в приемнике оптического излучения (фотодиоде), и соответственно величиной светового потока, проходящего через пластину. Источником узконаправленного излучения является светодиод, а световой поток на фотодиоде изменяется в зависимости от угла поворота пластины (положения поплавка) и, следовательно, от оптической плотности участка, через который он проходит.

При невозможности использования поплавка с маятниковым рычагом можно применять оптоэлектронный датчик с синхронно перемещающимися на поплавке излучателем и приемником. Поплавок перемещается вдоль вертикально расположенного окна с изменяющейся оптической плотностью. Такие окна довольно просто изготовить методом переменного экспонирования эталонного шаблона на прозрачной основе и последующей фотопечати рабочих окон на основании из полистирола, покрытого фотоэмульсией. Характеристика изменения плотности должна учитывать параметры поперечного сечения бака на различных уровнях.

Единственным существенным недостатком такого датчика является необходимость обеспечения гибкого токопровода к перемещающимся излучателю и приемнику, но такие конструкции отработаны на различного вида аппаратуре, где есть подвижные электронные модули.

Одной из самых универсальных систем контроля при обеспечении безопасности технологических процессов являются системы, использующие для преобразования оптической информации фотоприборы с зарядовой связью (ФПЗС). В этом случае важными ха-

раактеристиками системы представляются дальность обнаружения изменения параметров контролируемого объекта при недостаточной освещенности или излучающей способности, а также разрешающая способность при работе в автоматическом режиме и при участии человека-оператора.

В основу оценки дальности обнаружения оптических изменений берется закон обратных квадратов, согласно которому освещенность в плоскости наблюдения меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до источника излучения.

Освещенность  $E$  объекта выбирается исходя из требований, накладываемых при выборе камеры наблюдения.

Для камер без ИК коррекции с чувствительностью не хуже 0,1 лк  $E_{\text{объекта}} = 2$  лк. Уровень освещенности 2 лк выбирается исходя из потерь излучения при формировании изображения оптической системой на ПЗС матрице. Характеристики оптики во многом определяют чувствительность и разрешающую способность системы контроля.

Относительное отверстие объектива отражает его собирающую способность и равно отношению диаметра входного зрачка объектива  $D$  к фокусному расстоянию  $f$ . Наибольшее относительное отверстие объектива (при полностью открытой диафрагме) является светосилой и определяет угол зрения объектива.

Величина, обратная относительному отверстию, называется диафрагмой или  $F$ -числом объектива. Для значений диафрагмы (или  $F$ -числа) существует следующая закономерность: чем меньше число, тем больше света пропускает объектив, тем более качественные изображения можно получать при наблюдении объектов с недостаточной освещенностью или яркостью.

При работе с чувствительной видеокамерой, использующей ИК подсветку, наиболее предпочтительны объективы с  $F$ -числами 1.0; 1.2; 1.4. Однако следует помнить, что уменьшение  $F$ -числа ведет, с одной стороны к увеличению чувствительности (за счет пропуска большего количества света через объектив), но, с другой стороны, к уменьшению глубины резкости и снижению разрешающей способности объектива.

Значение диафрагмы объектива, его фокусное расстояние, а также размер ПЗС матрицы определяют суммарный угол обзора камеры наблюдения, который желательно подбирать с учетом диаграммы направленности осветителя, если он используется [3].

Обычно в системах видеонаблюдения используют объективы с фокусным расстоянием от 2,8 мм (угол поля зрения по горизонтали около 90°) до 12,0 мм (угол поля зрения по горизонтали около 20°). Как правило, короткофокусные (широкоугольные) объективы вносят нелинейные искажения в изображение, особенно заметные по краям, а длиннофокусные позволяют собрать значительно меньшее количество света.

При выборе объектива необходимо учитывать вероятность распознавания объекта заданного размера на заданном расстоянии. В специальных телевизионных следящих системах для определения вероятности

распознавания объекта на телевизионном растре используется критерий Джонсона, который применительно к распознаванию изображения объекта выглядит следующим образом:

$$P(N) = 1 - e^{-0,15(N-1)^2}$$

где  $N$  – количество элементов разложения по горизонтали или вертикали (минимальное из них),  $P(N)$  – вероятность распознавания объекта.

Отсюда можно вывести обратную зависимость необходимого размера объекта (в элементах разложения) от требуемой вероятности его распознавания:

$$N(P) = 1 + \left( -\frac{\ln(1-P)}{0,15} \right)^{\frac{1}{2}}$$

где  $P$  – заданная вероятность распознавания объекта на телевизионном растре.

Высота и ширина реально наблюдаемого участка местности (в картинной плоскости) зависит от расстояния до него (при условии перпендикулярности оптической оси объектива к наблюдаемой плоскости), фокусного расстояния объектива и размеров преобразователя свет-сигнал (ПЗС матрицы).

Для 1/3" ПЗС матрицы эта зависимость выглядит следующим образом:

$$W = \frac{4,8 \cdot L}{f}$$

где  $W$  – ширина наблюдаемого участка местности (в картинной плоскости) в метрах,  $L$  – расстояние до наблюдаемого участка местности в метрах,  $f$  – фокусное расстояние объектива в миллиметрах.

$$H = \frac{3,6 \cdot L}{f}$$

где  $H$  – высота наблюдаемого участка местности (в картинной плоскости) в метрах.

Исходя из вышеописанных закономерностей, можно вывести зависимость требуемого фокусного расстояния объектива для распознавания объекта заданного размера на заданном расстоянии при требуемой вероятности распознавания. Если размер объекта на ТВ растре  $N$  элементов разложения, а его линейный размер по горизонтали (в картинной плоскости)  $W_0$  метров и разрешение ТВ камеры по горизонтали  $R$  элементов разложения, то ширина картинной плоскости  $W_k$  равна:

$$W_k = \frac{W_0 \cdot R}{N}$$

где  $N$  – количество элементов разложения,  $W_0$  – линейный размер объекта,  $R$  – разрешающая способность ТВ камеры.

$$f = \frac{4,8 \cdot L \cdot \left( 1 + \left( -\frac{\ln(1-P)}{0,15} \right)^{\frac{1}{2}} \right)}{W \cdot R}$$

где  $f$  – фокусное расстояние объектива в миллиметрах,  $P$  – требуемая вероятность распознавания.

На рис. 3 приведена зависимость фокусного расстояния объектива от размера объекта и дальности распознавания при вероятности распознавания  $P=0,999$  (достоверное распознавание).

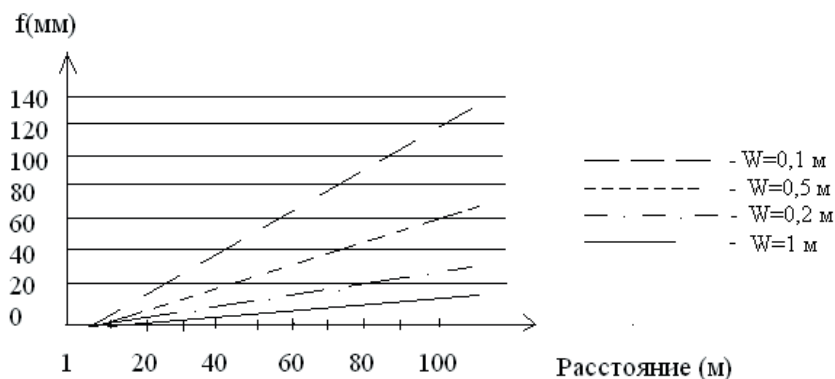


Рис. 3. Зависимость фокусного расстояния объектива от размера объекта и дальности распознавания

Обычным объективам при установке их на чувствительные камеры черно-белого изображения свойственна потеря четкости при наблюдении в ИК диапазоне. Для устранения этого недостатка производится инфракрасная коррекция – технология применения специальных оптических материалов, позволяющая значительно снизить дисперсию света в объективе во всем диапазоне длин волн света, включая инфракрасную область. При этом улучшается разрешающая способность, контраст получаемого изображения и, как следствие, передача мелких деталей наблюдаемого объекта.

Видеокамеры с ФПЗС работающие в инфракрасном диапазоне целесообразно интегрировать в системы обеспечивающие взрывопожарную безопасность.

Для обнаружения процессов самовозгорания, тления, пожара или взрыва, можно используя идентификацию по ряду факторов, проявлением которых это явление сопровождается. Общим принципом работы всех автоматических устройств обнаружения загораний является измерение физических величин, связанных именно с этими факторами.

При использовании оптических датчиков информационными параметрами загорания являются: спектральный состав и интенсивность излучения, флуктуация интенсивности излучения.

Уже выработано несколько основополагающих принципов идентификации пламени, которые стали классическими. Это принципы частотной и спектральной селекции источников излучения.

В частотном принципе идентифицирующим признаком является наличие низкочастотных колебаний интенсивности излучения от очага пламени. При спектральной селекции идентификация пламени осуществляется по наличию в спектре излучения контролируемого источника спектральных полос, характерных для продуктов, образующихся при горении [4].

В настоящее время задача сводится не столько к обнаружению пламени, сколько к обеспечению нечувствительности извещателя к многочисленным, постоянно возникающим, естественным и промышленным оптическим помехам.

Основные функциональные параметры, принципы выделения излучения пламени на фоне оптических помех, логика электронной обработки первичных сигналов, эксплуатационные и конструктивные характеристики датчиков всецело определяются электрическими, фотоэлектрическими, оптическими и конструктивными особенностями приемника излучения [5].

Прием и прямое преобразование в электрическую энергию ИК-излучения от очагов пожара, первичных стадий взрывного процесса и фоновых оптических помех, формирование и выдача электрического сигнала о пожаре может быть возложена на один матричный фотоприемник на приборах с зарядовой связью. Обработка сигнала с ФПЗС дает информацию о спектрах излучения от одного или нескольких типов очагов пожара и соответствующих спектрах излучения фоновых оптических помех.

### Выводы

Проведенные исследования показывают, что использование оптоэлектронных первичных преобразователей в системах контроля за параметрами технологических процессов позволяют существенно повысить их безопасность.

Преимущество таких преобразователей в возможности получать необходимую информацию без существенного влияния на сам технологический процесс, широкий спектр параметров, которые можно контролировать.

Чувствительность и быстроедействие преобразователей позволяют обнаруживать незначительные отклонения параметров, что дает возможность предупредить выход их строя технологических систем или выход параметров технологических процессов за допустимые пределы.

### Литература

1. Невлюдов, І.Ш. Інформаційні оптоволоконні мережі зв'язку банківських систем [Текст] / І.Ш.Невлюдов, Б.О. Малик та ін. – Харків – 2004 – 231 с.

2. Малик, Б.А. Взрыво-пожаробезопасные датчики АСК уровня углеводородного топлива [Текст] / Б.А.Малик // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» – 2005 – № 19. – с. 53-56.
3. Ткаченко, А.П. Техника телевизионных измерений [Текст] / А.П. Ткаченко, В.И.Кириллов – Минск: Вышэйшая школа, 1976 – 46с.
4. Горбунов, Н.И. Датчики для систем обеспечения пожаро-взрывобезопасности [Текст] / Н.И.Горбунов, Ф.К.Медведев, Л.К.Дийков, С.П.Варфоломеев // Датчики и системы – 2004.
5. Малик, Б.А. Системы пожарной безопасности технологических процессов на фотоприборах с зарядовой связью [Текст] / Б.А.Малик, Н.П.Селенкова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – Харьков – 2010 – №2/3(44) – с. 67-70.

**Пропонується застосовувати магнітовідривний метод для комплексного контролю твердості та кількості карбідів у високолегованому аустенітному чавуні, товщини немагнітного антифрикційного шару на сталевій основі**

**Ключові слова:** магнітовідривний метод, неруйнівний контроль, аустенітний чавун

**Предлагается применять магнитоотрывной метод для комплексного контроля твердости и количества карбидов в высоколегированном аустенитном чугуна, толщины немагнитного антифрикционного слоя на стальном основании**

**Ключевые слова:** магнитоотрывной метод, неразрушающий контроль, аустенитный чугун

**It is offered to apply the magneto tear-off method for the complex control of the hardness and the number of carbides in the high-alloy austenitic cast-iron, the thickness of non-magnetic antifriction coating**

**Key words:** magneto tear-off method, non-destructive testing, austenitic cast-iron

УДК 621.7.08:621.225

## НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАГНІТОВІДРИВНИМ МЕТОДОМ

**В.О. Ярута**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра інформаційних технологій  
Харківська державна академія культури  
Бурсацький спуск, 4, м. Харків, Україна, 61003  
Контактний тел.: (057) 338-13-82  
E-mail: victor\_yaruta@ukr.net

**О.М. Ярута**

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний інженер-технолог  
Спільне підприємство ЗАТ «ХЕМЗ-ІРЕС»  
вул. Індустріальна, 15-а, м. Харків, Україна, ДСП

### Вступ та постановка задачі дослідження

Для видобутку нафти використовують заглибний насосний агрегат. Він складається з асинхронного електродвигуна, системи гідрозахисту та відцентрового насоса [1]. Між секціями ротора асинхронного електродвигуна монтуються у корпусах [2] опорні підшипники ковзання. На валу заглибного насосного агрегату для витримування великого навантаження кріпляться п'яти. Викачування пластового середовища здійснюється з глибини до 2500 м, де температура може сягати 250<sup>0</sup>С. З іншого боку, якщо заглибний насосний агрегат монтується на родовищах крайньої півночі, то його конструктивні частини можуть довгий час зберігатися при низьких температурах, до –50<sup>0</sup>С. Такі умови експлуатації та збереження насосного агрегату ставлять певні вимоги до його деталей. Зокрема, робоча поверхня сталевих п'ят повинна мати немагнітний антифрикційний шар заданої товщини. А корпус під-

шипника ковзання необхідно виготовляти з високолегованого аустенітного чавуна твердістю 140 – 170 НВ [3], в структурі якого може міститися до 30% карбідів [4]. Відомо, що змінювання температури такого чавуна може збільшити в ньому вміст карбідів, що призводить до спотворення форми корпусу підшипника. При певній кількості карбідів у чавуні деформація корпусу підшипника перевищує допустимі межі. Таким чином, при виготовленні п'ят і корпусів підшипників ковзання необхідно безпосередньо у цеху здійснювати поточний контроль лінійних розмірів усіх деталей, а також твердості та кількості карбідів у чавунних деталях.

Традиційно на виробництві для контролю твердості виливок використовується метод Бринелля, для вимірювання товщини антифрикційного шару застосовується металографічний метод, для контролю структури чавуна використовується металографічний або хімічний методи, а можливе змінювання розмірів корпусів підшипників оцінюється їх звичайним ви-