

УДК 621.89

*О. Т. АЛМАТАЕВ, У. С. ХОЛМАТОВ, Р. К. АЗИМОВ, Ю. Г. ШИПУЛИН,
С. А. МАКСУДОВ*

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РЕФЛЕКТИВНОГО ТИПА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЖИДКОСТНЫХ И ГАЗОВЫХ ПОВЕРОЧНЫХ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВОК

Представлена функциональная схема экспериментальной автоматизированной программируемой поверочной испытательной установки расходомеров-счетчиков жидкостей и газов, разработанная на основе оптоэлектронных преобразователей рефлективного типа. На основе анализа кинематической схемы определено оптимальное место размещения приемника излучения.

Для поверки и аттестации различных жидкостных и газовых расходомеров и счетчиков в настоящее время применяются специальные поверочные расходомерные устройства. К ним предъявляются высокие требования по точности, надежности, быстродействию, стоимости и технологичности изготовления. Кроме того требуется, чтобы процессы измерений и обработки их результатов были автоматизированы на основе современных достижений микропроцессорной техники [1].

Среди жидкостных расходомерных установок этим требованиям наиболее полно удовлетворяют конструкции с мерными баками, в которых необходимо точно фиксировать объем и время заполнения жидкостью. Из газовых расходомерных устройств лучшими характеристиками обладают колокольные установки, где требуется определять положение и время перемещения колокола [2].

Анализ существующих датчиков положения показал, что для поверочных расходомерных установок наиболее пригодны оптоэлектронные преобразователи на основе отражения светового потока, которые имеют ряд достоинств: простота и компактность конструкции; высокие чувствительность и точность, а также удобство монтажа и установки на элементах газомерного устройства [3]. Поэтому при разработке прибора использован принцип построения на основе отражения светового потока, то есть, оптоэлектронный преобразователь рефлективного типа (ОПРТ).

Проведенный анализ принципов построения оптоэлектронного преобразователя рефлективного типа для поверочных устройств позволил сделать следующие выводы:

1 Характерными конструктивными признаками ОПРТ для расходомерных устройств являются:

а) наличие следующих основных элементов: сосредоточенного источника излучения (ИИ); кольцевого приемника излучения (КПИ); модулятора светового потока; измерительной схемы (ИС);

б) в качестве модулятора светового потока используется цилиндрический рефлективный элемент (РЭ), светоотражающие свойства которого характеризуются геометрическими параметрами и отражательной способностью.

2 Роль цилиндрического рефлективного элемента заключается в создании на светочувствительной поверхности приемника излучения импульса светового потока, в результате чего определяются положения и перемещения подвижных элементов поверочных устройств.

3 Функция измерительной схемы заключается в создании на выходе ОПРТ необходимых выходных электрических аналоговых или цифровых сигналов для систем контроля и управления поверочным устройством.

Зная роль тех или иных элементов в конкретной конструкции ОПРТ, можно определить назначение, основные характеристики преобразователя и преимущества при его применении в поверочных устройствах.

Для анализа принципа построения и разработки математических моделей ОПРТ создана графовая модель, представленная на рисунке 1. В ней цепь питания ИИ представлена подграфом $U_{31} \rightarrow I_{31}$ (электрическое напряжение и ток), для которой схемная функция T_{31} с параметром Π_{31} отображает структуру цепи питания ИИ. В цепи $I_{31} \rightarrow \Phi_{01}(0)$ ток I_{31} преобразуется в световой поток $\Phi_{01}(0)$, что отображается коэффициентом межцепной связи $K_2[I_{31}, \Phi_{01}(0)]$.

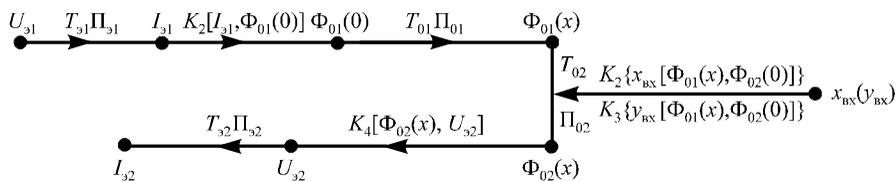


Рисунок 1 – Графовая модель ОПРТ

Зависимость светового потока, распространяющегося по цепи $\Phi_{01}(0) \rightarrow \Phi_{01}(x)$ между ИИ и РЭ, от продольной координаты x определяется формулой

$$\Phi_{01}(x) = I_0 \frac{S_{pэ}}{(x_0 + x)^2},$$

где I_0 – сила света; $S_{pэ}$ – площадь РЭ, освещаемая ИИ; x_0 – расстояние от ИИ до РЭ.

Световой поток $\Phi_{02}(x)$, отразившись от РЭ, освещает чувствительную поверхность $S_{осв}$ приёмника излучения, что отображается цепью $\Phi_{01}(x) \rightarrow \Phi_{02}(x)$.

Световой поток $\Phi_{02}(x)$ находится по формуле

$$\Phi_{02}(x) = I_0 \frac{S_{\text{осв}}}{(x_0 + 2x)^2} \rho_{\text{рЭ}},$$

где $\rho_{\text{рЭ}}$ – коэффициент отражения поверхности РЭ.

Далее по цепям $\Phi_{02}(x) \rightarrow U_{32}$ и $U_{32} \rightarrow I_{32}$ световой поток преобразуется в измеряемый ток. Выходной сигнал U_{32} определяется на основе коэффициента межцепной связи $K_4[\Phi_{02}(x), U_{32}]$.

На основе графовой модели можно определить статические характеристики ОПРТ как по продольной координате x , так и по поперечной координате y (координате перемещения РЭ).

Статическая характеристика по координате x необходима для определения оптимального расстояния $x_{\text{оп}}$ между РЭ и ПИ, исходя из требования обеспечения максимальной чувствительности. Эта характеристика в соответствии с графовой моделью имеет следующий вид:

$$U_{32x} = U_{31} T_{31} \Pi_{31} K_1 [I_{31}, \Phi_{01}(0)] T_{01} \Pi_{01} \times \\ \times T_{02} \Pi_{02} K_2 \{x_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\} K_4 [\Phi_{02}(x), U_{32}] T_{32} \Pi_{32} x.$$

Статическая характеристика по координате y позволяет получить оптимальный выходной сигнал ОПРТ для контроля положения и перемещения подвижного элемента, и согласно графовой модели она такова:

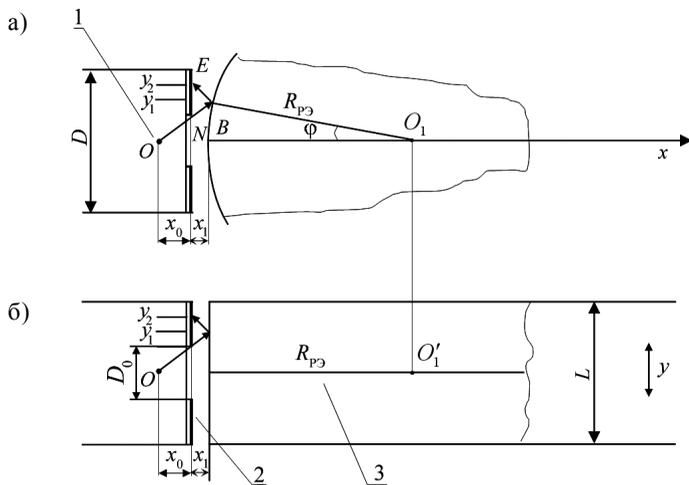
$$U_{32y} = U_{31} T_{31} \Pi_{31} K_1 [I_{31}, \Phi_{01}(0)] T_{01} \Pi_{01} \times \\ \times T_{02} \Pi_{02} K_3 \{y_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\} K_4 [\Phi_{02}(x), U_{32}] y.$$

Для получения конкретных статических характеристик ОПРТ необходимо иметь явные выражения для функций связи $K_2 \{x_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\}$, $K_3 \{y_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\}$, $K_4 [\Phi_{02}(x), U_{32}]$ и схемных функций с параметрами $T_{31} \Pi_{31}$; $T_{01} \Pi_{01}$; $T_{02} \Pi_{02}$; $T_{32} \Pi_{32}$.

Функция связи $K_1 [I_{31}, \Phi_{01}(0)]$, а также схемная функция T_{31} и параметр Π_{31} , определяются типом ИИ. Аналогично функция связи $K_4 [\Phi_{02}(x), U_{32}]$, схемная функция T_{32} и параметр Π_{32} определяются типом приемника излучения.

Важнейшими узлами ОПРТ являются цепи воздействия входных величин $x_{\text{вх}}$ и $y_{\text{вх}}$ на процесс преобразования $\Phi_{01}(x) \rightarrow \Phi_{02}(x)$, которые отображаются функциями связи $K_2 \{x_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\}$ и $K_3 \{y_{\text{вх}} [\Phi_{01}(x), \Phi_{02}(x)]\}$.

На рисунке 2, а представлена кинематическая схема распространения света при продольном, а на рисунке 2, б – при поперечном перемещении РЭ, причем использованы следующие обозначения: x_0 – расстояние от ИИ до ПИ; x_1 – расстояние от ПИ до РЭ; D – диаметр ПИ; D_0 – диаметр диафрагмы ПИ; y_1, y_2 – отрезки, определяющие зону освещения ПИ; $R_{\text{рЭ}}$ – радиус РЭ.



1 – источник излучения; 2 – приемник излучения; 3 – рефлективный элемент

Рисунок 2 – Кинематическая схема распространения света: *a* – при продольном перемещении РЭ; *б* – при поперечном перемещении РЭ

На основании кинематической схемы, представленной на рисунке 2, *a*,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{D_0}{2} + y_1}{x + R_{\text{pe}}}.$$

Откуда

$$y_1 = (x + R_{\text{pe}}) \operatorname{tg} \varphi - \frac{D_0}{2}.$$

После преобразований получено

$$y_1 = \frac{D_0}{2} \left[\left(\frac{x}{R_{\text{pe}}} + 1 \right) \left(\frac{x}{x_0} + 1 \right) - 1 \right]. \quad (1)$$

Анализ соотношения (1) показывает, что при больших радиусах цилиндрического рефлективного элемента $R_{\text{pe}} \rightarrow \infty$:

$$y_1 = \frac{D_0 x}{2x_0}.$$

Зависимость площади освещения приемника излучения $S_{\text{осв}}$ от x определяется выражением

$$S_{\text{осв}} = \pi D_0^2 \frac{x}{x_0} \left(1 + \frac{x}{x_0} \right),$$

а коэффициент чувствительности ПИ к продольным перемещениям РЭ

$$k_{\text{пр}} = \pi D_0^2 \frac{1}{x_0} \left(1 + \frac{2x}{x_0} \right).$$

В целом величина светового потока, падающего на приемник излучения, будет определяться соотношением

$$\Phi_{01}(x) = I_0 \frac{S_{\text{осв}}(x)}{(x_0 + 2x)} \rho_1 \cdot e^{-k_x(x_0 + 2x)}.$$

На рисунке 3 показано изменение относительного значения светового потока $\frac{\Phi_{01}(x)}{\Phi_{01}(0)}$ в зависимости от продольного перемещения приемника РЭ. Из графика видно, что на участке 1 ОПРТ имеет высокую чувствительность к продольным перемещениям и поэтому на нем нецелесообразно устанавливать ПИ. На участке 2 чувствительность к продольным перемещениям весьма низкая, и этот участок рекомендуется для установки ПИ. Таким образом, на основании рисунка 3 можно определить оптимальное расстояние $x_{\text{оп}}$ между РЭ и ПИ.

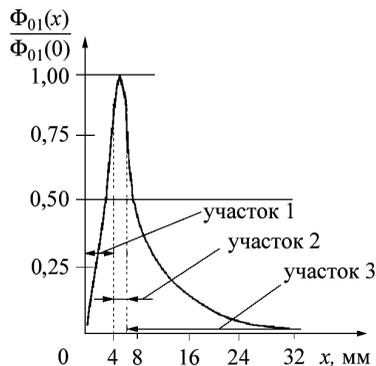


Рисунок 3 – График зависимости относительного светового потока от продольного перемещения x РЭ

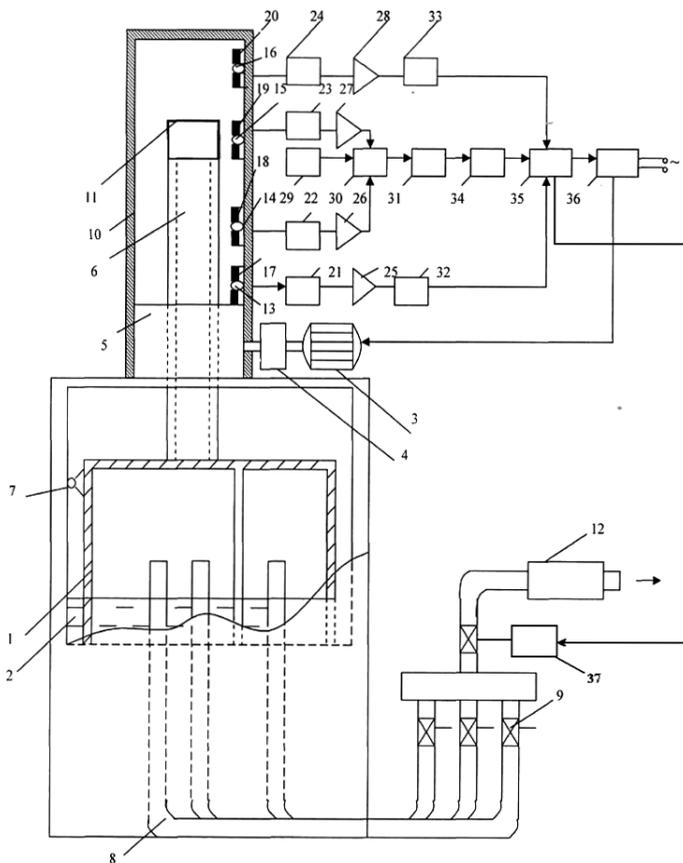
Согласно кинематической схеме, представленной на рисунке 2, б, в процессе измерения РЭ совершает поперечное перемещение по направлению координаты y . При этом изменяется площадь освещенных поверхностей как отражающей поверхности РЭ, так и площади освещенной поверхности $S_{\text{рз}}(y)$ приемника излучения по координате y . При перемещении по координате y на РЭ падает световой поток, который, начиная от значения $y_{\text{н}}$, последовательно освещает сегменты поверхности РЭ, площадь которых

$$S_{\text{рз}}(y) = \frac{4}{3} \sqrt{R_{\text{осв}}^2 - (R_{\text{осв}} - y)^2} \cdot y,$$

и при полном освещении создает сплошной круг. Отраженный световой поток $\Phi_{02}(x)$ от РЭ на кольцевом приемнике излучения также последовательно освещает площадь в виде сегментов по координате y .

Авторами разработана на основе ОПРТ автоматизированная колокольная газомерная установка (рисунок 4), в которой перемещение колокола 1 в резервуаре с водой 2 обеспечивается с помощью электродвигателя 3, редуктора 5 и винта 6. Вытесняемый из-под колокола 1 воздух по трубе 8 поступает через переключающиеся краны 9 к поверяемому расходомеру или счетчику 12. Переключатель скоростей 4 позволяет изменять скорость перемещения коло-

кола 1 с помощью роликов 7 и тем самым обеспечивает изменение задаваемого расхода воздуха через расходомер или счетчик газа 12. Автоматическое измерение расхода воздуха при протекании через расходомер или счетчик газа 12 обеспечивается с помощью четырех ОПРТ, состоящих из приемников излучения 17, 18, 19, 20, и источников излучения 13, 14, 15, 16, два из которых находятся в верхней и два в нижней части стенки корпуса 10.



1 – колокол; 2 – резервуар; 3 – электродвигатель; 4 – переключатель скорости; 5 – редуктор; 6 – винт; 7 – ролики; 8 – трубы; 9 – краны; 10 – корпус; 11 – светоотражающий цилиндр; 12 – поверяемый расходомер; 13, 14, 15, 16 – источники излучения; 17, 18, 19, 20 – кольцевые приемники излучения; 21, 22, 23, 24 – мостовые измерительные схемы; 25, 26, 27, 28 – электронные усилители; 29 – генератор импульсов; 30 – электронный клапан; 31 – счетчик импульсов; 32, 33 – аналого-цифровые преобразователи; 34 – промежуточный преобразователь; 35 – микропроцессор; 36, 37 – исполнительные устройства

Рисунок 4 – Функциональная схема колокольного газомерного устройства с электрическим приводом

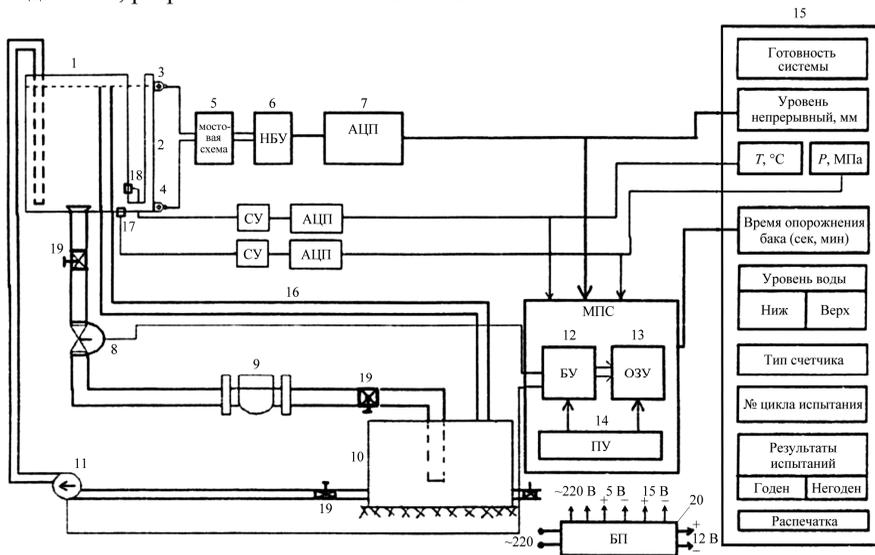
В разработанном газомерном устройстве колокол 1 погружается в резервуар с водой 2 не под действием собственного веса, а с помощью электрического привода. Скорость перемещения колокола 1 может быть задана с помощью микропроцессорной системы управления.

Расход газа, фиксируемый газомерной установкой, не зависит от давления под колоколом и определяется скоростью его перемещения и площадью внутреннего сечения колокола 1

$$G = Fv,$$

где G – объемный расход, м³/ч; F – площадь внутреннего сечения, м²; v – скорость перемещения колокола, м/с.

Разработанная схема ОПРТ может использоваться как в газомерных устройствах, так и при оценке расхода жидкостей. На рисунке 5 представлена функциональная схема экспериментальной автоматизированной программируемой поверочной испытательной установки расходомеров-счетчиков жидкостей, разработанной на основе ОПРТ.



1 – измерительный бак; 2 – вертикальный цилиндрический сосуд; 3–4 – оптоэлектронные преобразователи верхнего и нижнего уровня жидкости; 5 – мостовая измерительная схема; 6 – нормирующий блок с усилителями; 7 – 8-разрядный АЦП; 8 – управляемый электромагнитный клапан; 9 – испытуемый расходомер-счетчик жидкости; 10 – сливной бак; 11 – циркуляционный насос с электродвигателем; 12 – блок управления исполнительными механизмами; 13 – блок оперативной памяти; 14 – пульт управления оператором; 15 – лицевая панель установки; 16 – сливной трубопровод для аварийных режимов; 17 – датчик давления; 18 – датчик температуры; 19 – переключатели; 20 – универсальный блок питания

Рисунок 5 – Функциональная схема экспериментальной микропроцессорной программируемой поверочной испытательной установки расходомеров-счетчиков жидкостей

Таким образом, в работе на основе исследования кинематической схемы распространения света в оптоэлектронном преобразователе рефлекторного типа установлены оптимальные значения некоторых геометрических параметров конструкции, что позволило использовать такие преобразователи в приборах для поверки расходомеров и счетчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Intellectual microprocessor testing gas measuring instrument installations** / R. K. Azimov [et al.] // Sixth World Conference Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS-2010, Tashkent, Uzbekistan, November 25–27, 2010. – Tashkent, 2010. – P. 266–269.

2 **Алматаев, О. Т.** Автоматизированная программируемая поверочно-испытательная установка расходомеров счетчиков жидкостей / О. Т. Алматаев, Ю. Г. Шипулин, О. А. Жумаев // Химическая технология контроль и управление. – 2010. – № 3. – С. 46–49.

3 **Шипулин, Ю. Г.** Аналоговые оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов для систем контроля уровня и расхода / Ю. Г. Шипулин, А. Р. Азимов // Вестник ТашГТУ. – 1999. – № 1. – С. 43–46.

*O. T. ALMATAEV, U. S. KHOLMATOV, R. K. AZIMOV, YU. G. SHIPULIN,
S. A. MAKSUDOV*

OPTOELECTRONIC CONVERTERS OF REFLECTIVE TYPE FOR THE AUTOMATION OF LIQUID AND GAS FLOW-MESURING TEST RIGS

The functional scheme of the experimental automated programmable calibration test rig of the flow-meter mechanism for liquids and gases is presented. The scheme is developed on the basis of the reflective type optoelectronic converters. Based on the kinematic scheme analysis the optimal location of the radiation detector is determined.

Получено 21.01.2014

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 8. Гомель, 2014**

УДК 539.5:621.89

Т. А. АЛМАТАЕВ¹, Т. С. ХАЛИМЖАНОВ²

¹*Андижанский машиностроительный институт, Узбекистан*

²*Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ОБРАБОТАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОМ

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований зависимости механических свойств эпоксидных полимерных композитов от режимов ультразвуковой обработки. Установлены оптимальные режимы ультразвуковой обработки.