

Расчёт параметров чувствительного элемента волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости

Инна Назарова, Дмитрий Серебряков, Кирилл Серебряков, Елена Бадеева, Татьяна Мурашкина (г. Пенза)

В статье описана методика расчёта конструктивных параметров оптического чувствительного элемента, оптимальные значения которых позволяют достичь более высоких метрологических характеристик волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в форме гранта.

В работе [1] предложен волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости (ВОСУЖ), в состав которого входит оптический чувствительный элемент (ОЧЭ) в виде стержня с шаровым сегментом из оптически прозрачного материала, для которого выполняется

условие $n_0 < n_{ж} < n_1$, где $n_0, n_{ж}, n_1$ – показатели преломления воздуха, жидкости и стержня соответственно, а отношение $d_o/d_c = 1,5$, где d_o – диаметр оболочки оптического волокна (ОВ), d_c – диаметр сердцевины ОВ. ВОСУЖ предназначен для контроля наличия в зоне установки сигнализатора прозрачной для инфракрасного излучения искро-, взрыво- и пожароопасных жидкостей с коэффициентом преломления $n > 1,25$. Модуляция оптического сигнала осуществляется в прозрачном стержне за счёт выполнения и нарушения условия полного внутреннего отражения.

Такие ВОСУЖ, работающие в релейном режиме, целесообразно применять при решении задач, не требующих измерения текущего уровня жидкости. Его выходной сигнал воспринимается последующей системой обработки измерительной информации как «0» или «1», в зависимости от того, погружен ли ОЧЭ в жидкость или находится над ней. Возможность чётко различать эти два состояния определяется, главным образом, отношением выходных сиг-

налов ОЧЭ в погружённом и не погружённом состояниях. Поэтому задача повышения чувствительности к управляющему сигналу является актуальной. Сигнализатор содержит последовательно установленные и оптически согласованные источник излучения 1, например светодиод, подводящее 2 (ПОВ) и отводящие 3 (ООВ) оптические волокна, ОЧЭ 4, закреплённые в корпусе 5, состоящем из двух частей 6 и 7, приёмник излучения 8, например фотодиод (см. рис. 1).

При изготовлении ОЧЭ необходимо выбрать оптимальные размеры его конструктивных параметров, обеспечивающие требуемые метрологические характеристики ВОСУЖ. Эти параметры должны обеспечивать максимальный перепад оптического сигнала и минимальные потери светового потока в зоне измерения, а также попадание лучей от подводящего волокна в отводящее волокно при отсутствии контакта стержня с жидкостью.

На рисунке 2 показан ход лучей в ОЧЭ. В работе [1] предложено длину стержня L определять с помощью выражения:

$$|I| = \frac{-R \cos(90 - \alpha) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \arcsin\left(\frac{\sin \Theta_{NA} n_0}{n_1}\right) + 1} + \frac{d_c}{2}}{\operatorname{tg} \arcsin\left(\frac{\sin \Theta_{NA} n_0}{n_1}\right)}, \quad (1)$$

где Θ_{NA} – апертурный угол оптического волокна, R – радиус шарового сегмента ОЧЭ, $d_o \leq R \leq 1,5d_o$, α – угол отра-

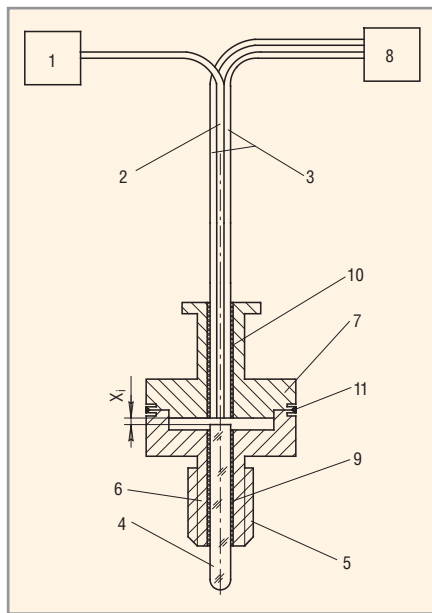


Рис. 1. Конструкция ВОСУЖ

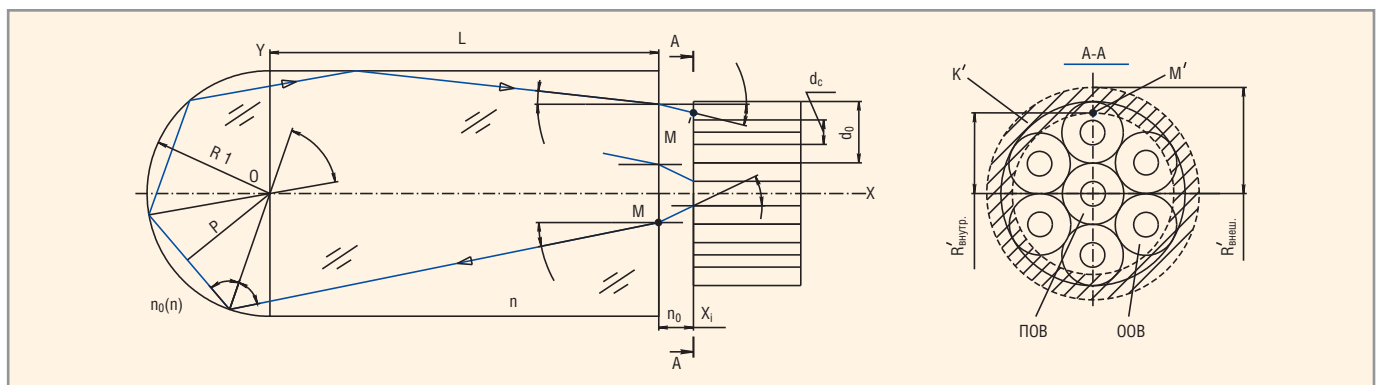


Рис. 2. Ход лучей в оптическом чувствительном элементе

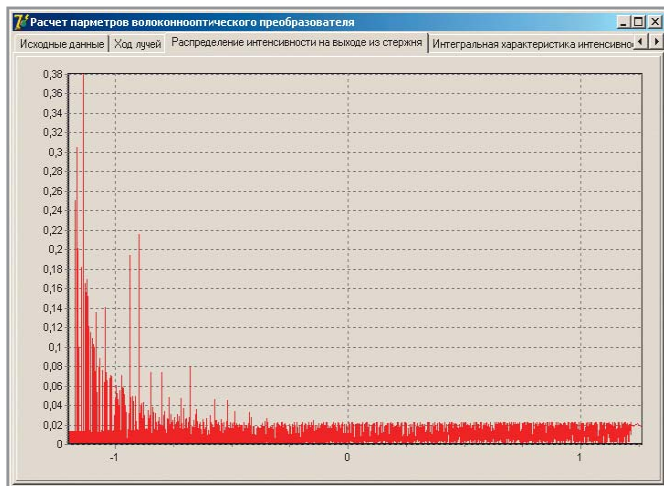


Рис. 3. Распределение интенсивности на выходе из стержня ОЧЭ с жидкостью

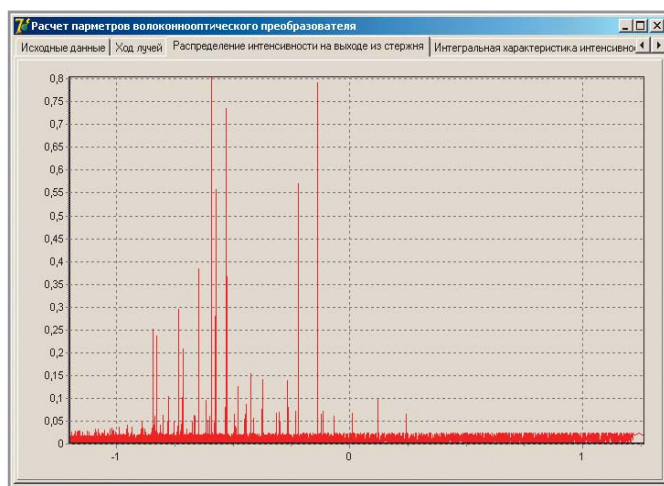


Рис. 4. Распределение интенсивности на выходе из ОЧЭ при контакте с воздухом

жения от шарового сегмента, определяемый выражением $\arcsin n_0/n_{ж} < \alpha < \arcsin n_{ж}/n_1$, а отношение L/R должно отвечать условию:

$$3,15 \leq L/R \leq 3,25 \vee 3,42 \leq L/R \leq 3,60 \vee 3,63 \leq L/R \leq 3,75 \vee 3,90 \leq L/R \leq 4,0. (2)$$

Для выбора оптимальных значений параметров L и R необходимо найти распределение интегральной интенсивности по длине ОЧЭ и по его радиусу в заданных пределах и определить участки, на которых искомые параметры будут максимальными. Математическое моделирование проводилось для двух случаев: контакта ОЧЭ с жидкостью (см. рис. 3) и с воздухом (см. рис. 4).

Проведённые расчёты показали, что максимальный перепад сигнала будет обеспечен, если световой поток отражается от шарового сегмента под углом α , равным:

$$45^\circ < \alpha < 46^\circ 23' \vee 49^\circ 5' < \alpha < 52^\circ 10' \vee 52^\circ 38' < \alpha < 54^\circ 45' \vee 57^\circ 15' < \alpha < 60^\circ. (3)$$

При отсутствии контакта шарового сегмента с жидкостью при падении луча под углом α на шаровой сегмент происходит полное внутреннее отражение, и луч отражается от шарового сегмента под углом:

$$\sin \alpha_{отр} = \frac{\sin \alpha n_1}{n_0},$$

где $\alpha_{отр}$ – угол отражения от шарового сегмента.

При контакте шарового сегмента с жидкостью происходит нарушение условия полного внутреннего отражения, и часть светового потока выходит из стержня под углом:

$$\sin \alpha_{вых} = \frac{\sin \alpha n_1}{n_{в.ср}},$$

где $n_{в.ср} > 1,25$ – коэффициент преломления жидкости; $\alpha_{вых}$ – угол преломления.

Определено, что максимум интегральной интенсивности по длине ОЧЭ достигается при $L = 4$ мм, составляя 11% от входного сигнала; максимум интегральной интенсивности по радиусу ОЧЭ достигается при R_1 , находящемся в диапазоне 0,9...0,95 мм.

Эти значения конструктивных параметров L, R чувствительного элемента обеспечивают не только максимальный перепад сигнала, но и минимальные инфоформативные потери в зоне измерения за счёт обеспечения одного и того же значения угла падения α на шаровой сегмент чувствительного элемента для

всех лучей, распространяющихся в пределах угловой апертуры подводящего оптического волокна, и попадания этих лучей в отводящие оптические волокна.

В предлагаемой конструкции чувствительного элемента волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости исключены сложные технологические операции по получению поверхности чувствительного элемента. Конструкция обладает повышенной искровзрывобезопасностью и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2297602, Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости. МПК6 G01 F 23/22. Д.И. Серебряков, Т.И. Мурашкина. Оpubл. 20.04.2007, Бюл. № 11. ©