

Волоконно-оптическая система измерения уровня топлива

Андрей Архипов, Дмитрий Серебряков, Татьяна Мурашкина, Александр Бадеев, Антон Щевелев (г. Пенза)

Описывается новая система измерения уровня (ВОСИУТ), разработанная на базе волоконно-оптических сигнализаторов уровня жидкости и предназначенная для дискретного измерения уровня топлива в требуемом диапазоне. Система отличается повышенной надёжностью, искробезопасностью и высокими массогабаритными характеристиками. Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта Министерства образования и науки.

Современные и перспективные разработки авиационной, ракетно-космической и другой техники нуждаются в определённой номенклатуре датчиков для систем контроля, диагностики и управления, к которым предъявляют повышенные требования безопасности и работоспособности в жёстких условиях эксплуатации.

Существующие датчики и системы измерения уровня топлива, основанные на таких физических принципах, как ёмкостный, индуктивный и др., используют дополнительные системы защиты от искры, поскольку

для преобразования измерительной информации применяются электрические сигналы. Это, в свою очередь, приводит к увеличению массы датчиков. В вертолётной технике до настоящего времени используются поплавковые уровнемеры, занимающие до 10% объёма топливного бака и не позволяющие с высокой точностью выполнять измерения при наклоне относительно линии горизонта. Кроме того, такая система может выйти из строя при механических воздействиях. Поэтому была поставлена задача создать систему измерения уровня жидкого топлива,

которая отвечала бы вышеупомянутым требованиям и не обладала недостатками существующих средств измерения.

В работе [1] описан волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости, который частично решает поставленную задачу. Недостатком данного сигнализатора является отсутствие возможности контролировать несколько значений уровня жидкости.

Для полного решения поставленной задачи была разработана волоконно-оптическая система измерения уровня топлива (ВОСИУТ), показанная на рисунке 1 [2]. Система содержит источники излучения 1, например, полупроводниковые светодиоды, подводящие (ПОВ) 2 и отводящие (ООВ) 3 оптические волокна, оптические стержни 4, Г-образные корпуса 5, трубу 6, приёмники излучения 11, например фотодиоды.

Стержни 4 имеют круглое сечение и выполнены с шаровидными сегментами на рабочем торце, обращёнными в сторону жидкости радиусом R , определяемым выражением:

$$d_{об} \leq R \leq 1,5d_{об}, \quad (1)$$

где $d_{об}$ – диаметр оболочки оптического волокна из оптически прозрачного материала, например, из кварцевого стекла, для которого выполняется условие:

$$n_{сп} < n_T < n_1,$$

где $n_{сп}$, n_T , n_1 – показатели преломления окружающей среды, топлива и стержня соответственно.

Цилиндрическая часть стержней 4 закрепляется в Г-образных корпусах с помощью соединительного состава с коэффициентом преломления n_2 , меньшим коэффициента преломления топлива n_T ($n_2 < n_T$), при этом шаровой сегмент выступает за пределы корпуса 5 на значение, равное радиусу стержня R . С источниками излучения 1 состыкованы ПОВ 2, количество которых равно количеству точек

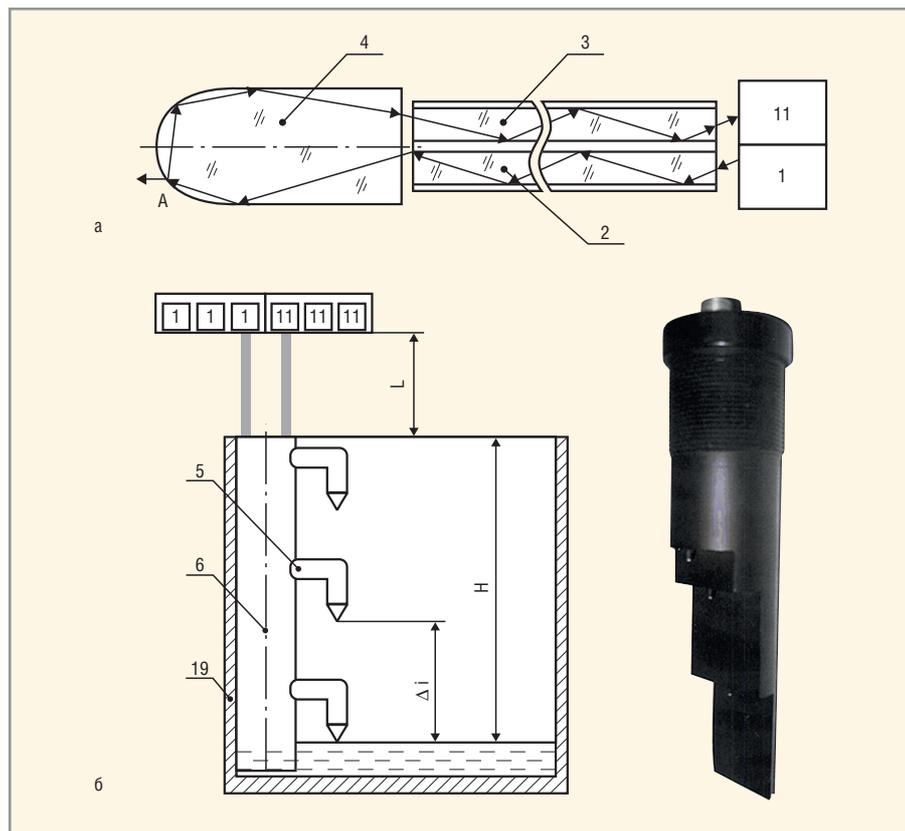


Рис. 1. Конструкция волоконно-оптической системы измерения уровня топлива

съёма информации об уровне жидкого топлива.

Труба 6 изготавливается длиной не менее максимального значения измеряемого уровня топлива. Поперечное сечение трубы может быть круглым или прямоугольным. В трубе изготовлены сквозные отверстия так, чтобы их оси были перпендикулярны продольной оси трубы. Количество отверстий соответствует количеству точек съёма информации об уровне топлива.

Корпуса 5 крепятся к трубе 6 с помощью сварки так, чтобы отверстия в верхней части корпуса 5 были совмещены с отверстиями в трубе 6. Герметизация трубы осуществляется с помощью заглушки в её нижней части. Внутренняя полость трубы заполняется герметиком в целях исключения поломки оптических волокон при воздействии вибрации, ударов и т.п. Отводящие оптические волокна 3, количество которых равно количеству точек съёма информации об уровне жидкости, соединены с приёмниками излучения 11. Оптические волокна 2 и 3 проходят внутри трубы 6 и через отверстия в трубе 6 протянуты к приёмному торцу стержня 4.

Описываемая ВОСИУТ позволяет измерять несколько значений уровня жидкости с минимальной дискретностью, равной $\Delta i = d_{\text{ов}}$. Общее количество оптических волокон ВОСИУТ равно $2n$, где n – количество контролируемых точек уровня жидкости, причём длина L_i двух отдельных i -х волокон определяется соотношениями (см. рис. 2):

а) когда точки контроля уровня жидкости равноудалены:

$$L_i \geq L + [H - (i - 1)\Delta_i];$$

б) когда точки контроля уровня жидкости распределены по длине ёмкости неравномерно:

$$L_i \geq L + (H - \Delta_i),$$

где L – длина участка от источника 1 или приёмника излучения 11 до ёмкости 19 (см. рис. 1); H – высота ёмкости 19 (или расстояние от верхней границы ёмкости до последней точки съёма информации); Δ_i – расстояние между ближайшими точками контроля; $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер точки съёма.

При отсутствии контакта шарового сегмента стержня 4 с жидкостью лучи света за счёт выполнения условия полного внутреннего отражения отражаются от поверхности стержня и возвращаются обратно к входному торцу стержня 4, преломляются и выходят из стержня 4, падая на приёмный торец ООВ 3. По волокнам 3 поток излучения распространяется до приёмника излучения 11, где происходит его регистрация.

При контакте шарового сегмента с жидкостью происходит нарушение условия полного внутреннего отражения, и большая часть излучения выходит из стержня; оставшаяся (меньшая) часть по ООВ 3 распространяется до приёмника излучения 11.

Таким образом, наличие жидкости в зоне измерения соответствует высокий уровень напряжения приёмника излучения 11, а отсутствию жидкости – низкий уровень напряжения. Повышение или понижение уровня жидкости в ёмкости 19 ведёт к последовательному срабатыванию измерительных каналов. Сигналы с приёмников излучения 11 передаются в систему обработки информации, которая может выдавать сигнал в виде последовательного дискретного повышения или понижения напряжения соответственно при повышении и понижении уровня жидкости или обрабатывать сигналы с каждого измерительного канала.

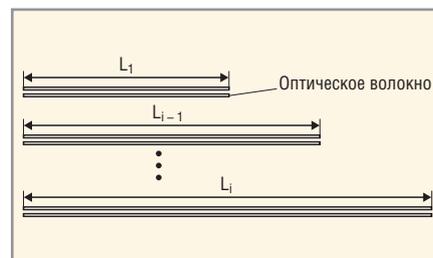


Рис. 2. Определение длины оптических волокон

Описываемая конструкция ВОСИУТ реализует дискретное измерение уровня жидкого топлива, что позволяет контролировать несколько значений уровня топлива в требуемых точках ёмкости. Система работоспособна в жёстких условиях эксплуатации, обладает абсолютной искро-, взрыво- и пожаробезопасностью, т.к. в качестве передающей среды используется световой поток, и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков Д.И., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости. Патент № 2297602, МПК G 01 F 23/22, 20.04.2007.
2. Серебряков Д.И., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Архипов А.В., Мытарев А.В. Патент РФ 2399887. Волоконно-оптический уровнемер и способ его изготовления.

