

Модернизация волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости

Татьяна Мурашкина, Инна Назарова, Кирилл Серебряков, Дмитрий Серебряков, Денис Митин (г. Пенза)

При финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ научной школы «Волоконно-оптическое приборостроение»

В статье предложена модернизированная конструкция многоточечного волоконно-оптического уровнемера для измерения прозрачных и непрозрачных жидкостей.

На многих инженерно-технических объектах ракетно-космической и авиационной техники (РК и АТ) есть необходимость измерения уровня жидкости в ёмкостях большого объёма с погрешностью меньшей 0,1 мм, например: в системах налива/слива топлива, учёта нефтепродуктов в условиях воздействия сильных электромагнитных помех и повышенной искро-, взрыво-, пожароопасности.

Волоконно-оптические системы измерения уровня жидкости (ВОСИУЖ) характеризуются обеспечением чрезвычайно высокого уровня безопасности при эксплуатации. Отсутствие источника электрической мощности в зоне измерения и замена её световой энергией с уровнем не выше 1 мВт гарантирует совершенно безопасную их работу в потенциально искро-, пожаро- и взрывоопасных условиях.

В работе [1] предложена ВОСИУЖ для дискретного измерения уровня жидкости, прозрачных для ИК-излучения, в нескольких точках ёмкости, включающая несколько волоконно-оптических сигнализаторов уровня жидкости (ВОСУЖ, далее – сигнализаторы), количество которых равно количеству точек съёма информации (как правило, не превышает 20).

Такой сигнализатор (см. рис. 1а) содержит:

- корпус 1, состоящий из конусообразного наконечника 5 и втулки 6 с цилиндрическим сквозным отверстием;
- подводящие оптические волокна 2 (ПОВ), состыкованные с источником излучения (на рисунке не показан);
- отводящие оптические волокна 3 (ООВ), состыкованные с приёмником излучения (на рисунке не показан);

- оптический чувствительный элемент 4 (ОЧЭ), закреплённый в конусообразном наконечнике 5 и втулке 6 с помощью соединительного состава 7 с коэффициентом преломления n_1 меньшим коэффициента преломления жидкости $n_ж$ ($n_1 < n_ж$).

ОЧЭ имеет круглое сечение и полусферический сегмент радиусом R на рабочем торце, обращённый в сторону жидкости. Параметр R определяется условием: $d_{ов} \leq R \leq 1,5d_{ов}$, где $d_{ов}$ – диаметр оптического волокна. ОЧЭ изготавливается из оптически прозрачного материала, например из кварцевого стекла, для которого должно выполняться условие: $n_{ст} < n_ж < n_1$, где $n_{ст}$, $n_ж$ и n_1 – показатели преломления окружающей среды, жидкости и стержня соответственно. Полусферический сегмент выступает за пределы конусообразного наконечника на значение равное R .

Принцип действия ВОСУЖ основан на нарушении условия полного внутреннего отражения (ПВО) при контакте сегмента с жидкостью [2].

Такие ВОСУЖ нельзя использовать для измерения уровня непрозрачных жидкостей, например нефти, так как возникает проблема нарушения прозрачности ОЧЭ: поверхность сегмента прозрачного стержня постепенно покрывается плёнкой, препятствующей реализации принципа действия, основанного на нарушении условия ПВО при изменении коэффициентов преломления сред в зоне контакта стержня с жидкостью [2].

Для обеспечения работы с любыми типами жидкостей в конструкцию ВОСУЖ введён герметичный упругий элемент, отделяющий ОЧЭ от жидкости. Возможны различные варианты его исполнения. Например, упругий элемент может быть выполнен в виде мембраны или силифона, поверхность глухого торца которого обращена к стержню ОЧЭ и расположена с малым зазором относительно крайней точки стержня (см. рис. 1б).

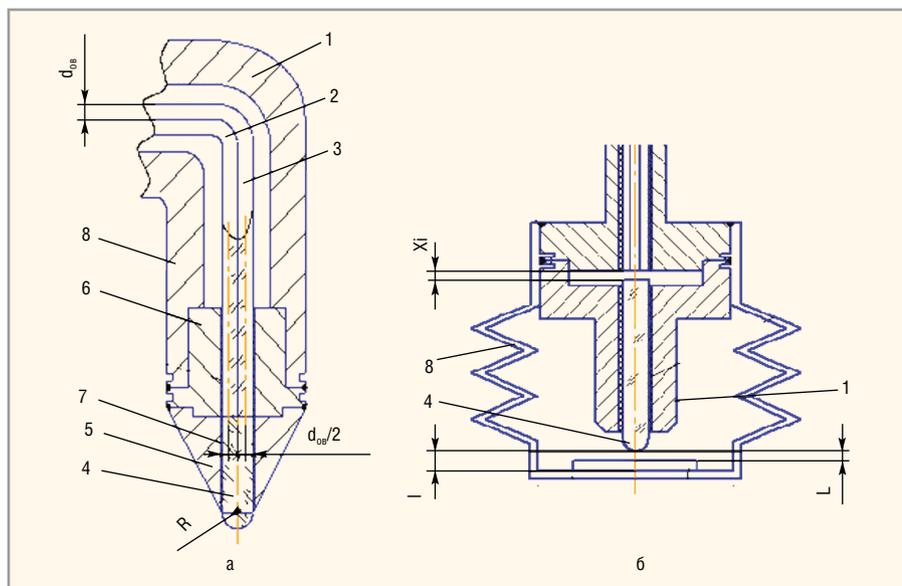


Рис. 1. Конструкция волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости:
а – по патенту [1]; б – защищённого от агрессивного воздействия жидкости

В этом случае ВОСУЖ работает следующим образом: когда жидкость доходит до глухого торца упругого элемента, то за счёт гидростатического давления сильфон 8 сжимается (или прогибается мембрана), при этом светопоглощающая поверхность глухого торца сильфона (или мембраны) соприкасается со сферическим сегментом стержня 4. Благодаря этому происходит нарушение условия ПВО внутри стержня 4, и большая часть излучения выходит наружу, оставшаяся меньшая часть по ООВ передаётся к приёмнику излучения 7.

Дискретный принцип измерения разработанной ВОСИУЖ [1] не обеспечивает требуемую точность измерения уровня жидкости.

Для непрерывного измерения уровня жидкости используют датчики гидростатического давления (ДГД), располагаемые, как правило, на дне ёмкости. Но ни один из существующих ДГД не рассчитан на измерение давления с высокой точностью в больших ёмкостях, что обусловлено конструктивными особенностями упругих мембран. Поэтому предлагается размещать волоконно-оптические ДГД [3] на нескольких уровнях ёмкости. Например, если ёмкость имеет высоту 20 м, то её по высоте можно разделить на 10 участков по 2 м и, соответственно, на каждом уровне установить ДГД, диапазон измерения которого соответствует данному участку. При этом волоконно-оптический ДГД устанавливается на ту же трубу, на которой установлены ВОСУЖ (см. рис. 2).

Для повышения точности измерения за счёт уменьшения аддитивной составляющей погрешности измерения из-за неточной установки ДГД в ёмкости предлагается использовать ВОСУЖ с открытым ОЧЭ (см. рис. 1а) только в процессе калибровки перед началом эксплуатации системы. Для калибровки же отдельных участков в процессе эксплуатации рекомендуется применять модернизированные защищённые ОЧЭ (см. рис. 1б).

Если требуется измерить уровень жидкости в условиях полёта, то в ёмкость можно установить 3 и более ВОСИУЖ в вершинах треугольника (многоугольника). Такое техническое решение снижает погрешность, обусловленную углом наклона поверхности жидкости относительно горизонта.

Приблизительные габаритные размеры одной ВОСИУЖ будут в 2–3 раза

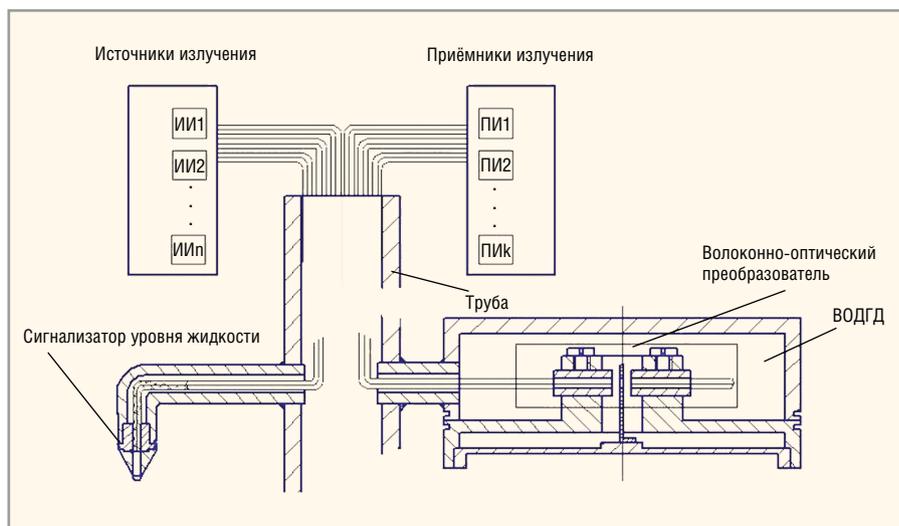


Рис. 2. Пример ВОСИУЖ, содержащей волоконно-оптические датчики гидростатического давления (ВОДГД) и ВОСУЖ, выполняющие роль калибровочных элементов

меньше, чем у аналогов. Практически будет исключена аддитивная составляющая погрешности измерения. Температурная погрешность снизится в 2–3 раза по сравнению с аналогами и не превысит 1% в диапазоне температур $\pm 60^\circ\text{C}$.

Новая ВОСИУЖ позволяет производить измерения уровня жидкостей для ИК-излучения, сохраняет работоспособность в жёстких условиях (РК и АТ), обладает абсолютной искро-, взрыво- и пожаробезопасностью и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2399887. Волоконно-оптический уровнемер и способ его изготовления. Серебряков Д.И., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Архипов А.В., Мытарев А.В. Опубликовано 20.09.2010. Бюллетень № 26.
2. Патент РФ № 2297602. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости. МПК6 G01 F 23/22. Серебряков Д.И., Мурашкина Т.И. Опубликовано 20.04.2007. Бюллетень № 11.
3. Патент РФ № 2290605. МПК6 G01 L 19/04. Волоконно-оптический преобразователь перемещения. Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Опубликовано 27.12.2006. Бюллетень № 36.

