

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЛЕГКОИСПАРЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Введение

Измерение и текущий контроль уровня жидких, в том числе легкоиспаряющихся сред, по-прежнему, представляет актуальную задачу в процессе их производства, хранения и отпуска. Для этих целей применяются различные методы измерения уровня, в том числе и метод акустической локации.

Уровнемеры [1 – 3], в которых используется плоская акустическая волна, обеспечивают разрешение уровней жидкостей $\pm(0,2\dots1)$ мм, что определяет перспективность их использования не только для технологических, но и для коммерческих целей.

В работе рассмотрены особенности функционирования акустических уровнемеров с абсолютным и относительным методами измерения в процессе контроля уровня нескольких типов жидкостей, включая воду, дизельное топливо, спирт, растворитель и автомобильные бензины. Результаты исследований, выполненных на рабочих частотах 2 и 10 кГц, позволили определить области применения акустических уровнемеров для контроля уровня жидких сред.

Методика проведения исследований

Известно, что скорость распространения акустической волны зависит от различных параметров, в том числе температуры [4], давления и насыщенности паров контролируемой жидкости в канале распространения над ее поверхностью. При абсолютном методе измерения уровня влияние температуры компенсируется введением в состав уровнемера датчика температуры, а влиянием давления и насыщенности паров контролируемой жидкости в большинстве случаев пренебрегают. Относительный метод, за счет введения эталонного канала, теоретически позволяет компенсировать влияние изменений всех перечисленных факторов. Поэтому относительный метод считается предпочтительным при существенных изменениях параметров канала распространения, наблюдающихся, например при контроле уровня легкоиспаряющихся жидкостей.

Локационный метод определения уровня заключается в измерении расстояния до поверхности контролируемой жидкости и последующего расчета уровня по известным параметрам резервуара. Поэтому исследование влияния паров над контролируемой поверхностью жидкости, то есть в самом канале распространения акустической волны, целесообразно проводить в режиме измерения расстояния. При этом в течение проведения исследований необходимо обеспечивать неизменность геометрического расстояния «плоскость отсчета уровнемера – поверхность жидкости», а также температуры и давления окружающей среды.

В уровнемерах с плоской акустической волной [1] измерение расстояния до контролируемой поверхности производится в звуковедущей трубе (звуковом). Поэтому следует ожидать, что сразу после установки звуковода в контролируемую жидкость в нем начинается процесс возрастания насыщенности паров над поверхностью жидкости. Этот процесс будет продолжаться до достижения внутри звуковода динамического равновесия «испарение – конденсация». Если скорость распространения акустической волны в парах контролируемой жидкости отличается от ее величины в воздушной среде, то в интервале времени от момента установки звуковода до достижения динамического равновесия уровнемер будет регистрировать некоторое изменение расстояния до контролируемой поверхности. Следовательно, непосредственно после установки звуковода показания индикатора уровнемера будут соответствовать геометрическому расстоянию до контролируемой поверхности, а после наступления динамического равновесия паров внутри звуковода они могут отличаться от исходных.

При этом отличие от геометрического расстояния будет определяться как концентрацией паров контролируемой жидкости, так и скоростью акустической волны в них.

Рассмотренная ситуация будет наблюдаться при использовании абсолютного метода измерения расстояния до поверхности контролируемой жидкости. При относительном методе между первым (верхним) и вторым (нижним) приемниками внутри звуковода формируется участок известной (эталонной) протяженности [1]. Если эталонный канал расположен внутри резервуара и его протяженность соизмерима с протяженностью измерительного канала “второй приемник – поверхность контролируемой жидкости”, то можно ожидать совпадения величин скоростей акустической волны в обоих каналах. Поэтому применение относительного метода должно существенно или полностью устранять влияние наличия паров контролируемой жидкости на скорость распространения акустической волны, по крайней мере, после наступления динамического равновесия в звуковом. Кроме того, уровнемер с относительным методом измерения [1] обеспечивает возможность отдельного текущего контроля времен прохождения акустического эталонного и измерительного каналов, что позволяет исследовать динамику движения паров контролируемых жидкостей вдоль звуковода.

Таким образом, в процессе исследований влияния паров контролируемых жидкостей на функционирование акустических уровнемеров необходимо:

1. Обеспечивать неизменность геометрического расстояния «плоскость отсчета уровнемера – поверхность контролируемой жидкости»;

2. Регистрировать результаты измерения уровнемером расстояния до поверхности контролируемой жидкости с момента установки звуковода в контролируемую жидкость и до достижения внутри звуковода динамического равновесия «испарение – конденсация» в случае использования прибора с абсолютным методом. При относительном методе также регистрировать время прохождения акустической волной эталонного канала.

Оценка влияния паров контролируемых жидкостей при использовании уровнемера с абсолютным методом будет проводиться по величине текущего изменения расстояния

$$\Delta R(t) = R_i(t) - R_0,$$

где $R_i(t)$ – текущее измеряемое расстояние до поверхности жидкости, а R_0 – расстояние в момент установки звуковода в контролируемую жидкость.

В случае использования уровнемера с относительным методом будут также оцениваться величины изменения времени прохождения акустической волной эталонного и измеряемого расстояний

$$\Delta T_{\bar{y}}(t) = T_{\bar{y}_i}(t) - T_{\bar{y}_0},$$

где $T_{\bar{y}_i}(t)$ – текущее время прохождения акустической волной эталонного канала, а $T_{\bar{y}_0}$ – время прохождения эталонного канала в момент установки звуковода в контролируемую жидкость, и

$$\Delta T_{\bar{o}}(t) = T_{\bar{o}_i}(t) - T_{\bar{o}_0}.$$

Здесь $T_{\bar{o}_i}(t)$ – текущее время прохождения акустической волной расстояния от нижнего приемника до контролируемой поверхности, а $T_{\bar{o}_0}$ – время прохождения этого же расстояния в момент установки звуковода в контролируемую жидкость.

Исследования проводились на рабочих частотах 2 и 10 кГц как для слабо (вода, дизельное топливо), так и легко испаряющихся (спирт, растворитель 650 и несколько типов автомобильных бензинов) жидкостей при различных длинах и диаметрах звуководов.

Результаты исследований

На рис. 1 представлены результаты контроля изменения расстояния $\Delta R(t)$ до поверхностей воды (кривая 1), дизельного топлива (кривая 2), растворителя 650 (кривая 3), спирта (кривая 4) и автомобильных бензинов АИ-98 (кривая 5) и АИ-95 «prim» (кривая 6) в течение первых 90 мин после установки в них звуковода уровнемера с абсолютным методом измерения.

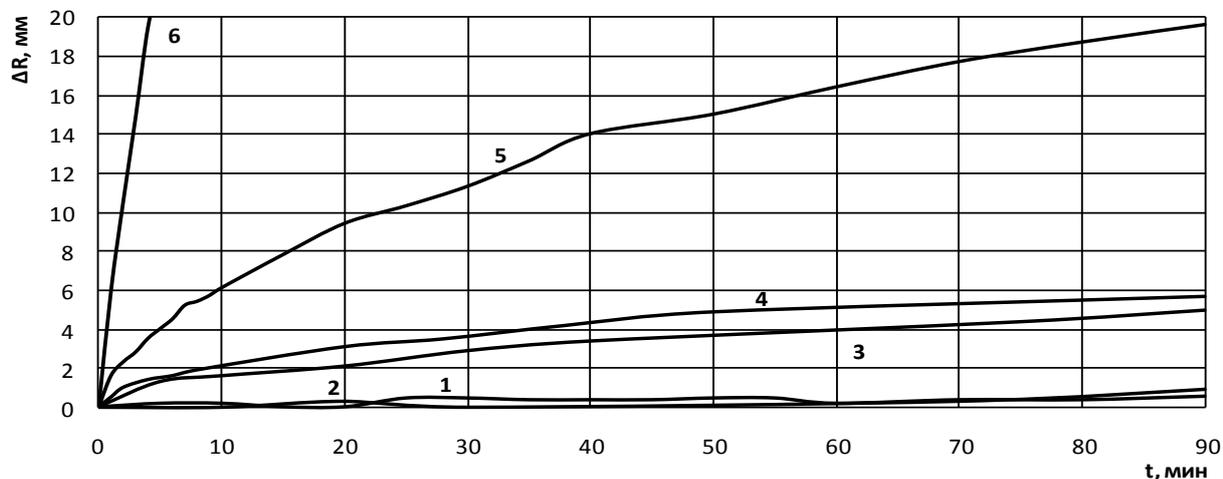


Рис. 1

Приведенные результаты свидетельствуют, что для слабо испаряющихся жидкостей (вода и дизельное топливо) величина $\Delta R(t)$ не превышала 1 мм в течение всего времени наблюдения. Для легкоиспаряющихся жидкостей (растворитель, спирт и бензины) на индикаторе уровнемера регистрировалось возрастание расстояния до поверхности контролируемых жидкостей. Этот процесс обычно продолжался в течение (1,5...2) ч до установки в звуковом динамического равновесия. Последующие изменения $\Delta R(t)$ не превышали ± 2 мм в течение длительного времени (см. рис.2). На этом рисунке представлена временная зависимость $\Delta R(t)$ для бензина АИ-98 через несколько часов (начало отсчета времени на рис.2) после наступления динамического равновесия паров бензина в звуковом.

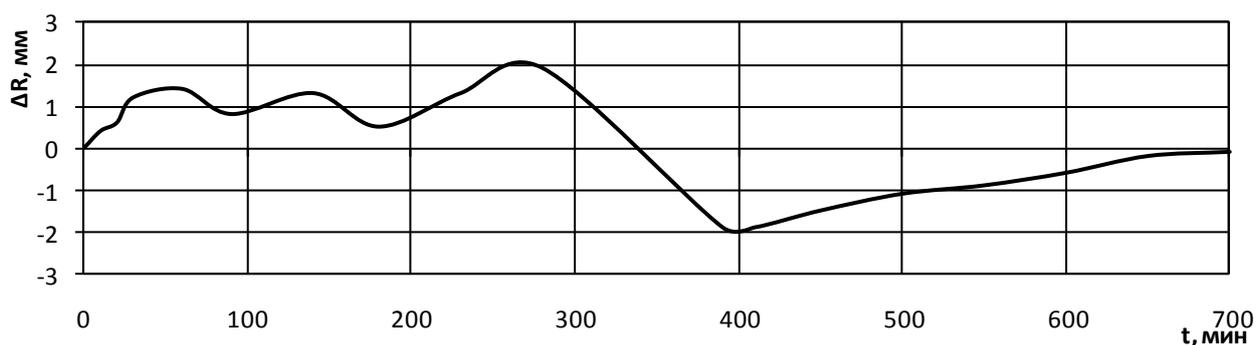


Рис.2

Дальнейшие исследования, учитывая практическую актуальность, проводились для автомобильных бензинов, произведенных из газового конденсата (прямогонный, АИ-95 и АИ-98) и нефти (АИ-92, АИ-95 и АИ-95«prim»). Например, на рис.3 представлены экспериментальные величины $\Delta R(t)$ для АИ-98, измеренные через 50 мин после установки звуковода в бензин. Они показывают (см. табл. 1), что для рабочих частот 2 и 10 кГц в диапазонах длин звуководов от 930 до 3130 мм, диаметров звуководов от 22 до 88 мм и температур окружающей среды от 12,5 до 15⁰С величины $\Delta R(t)$ составляли (12 ± 1) мм.

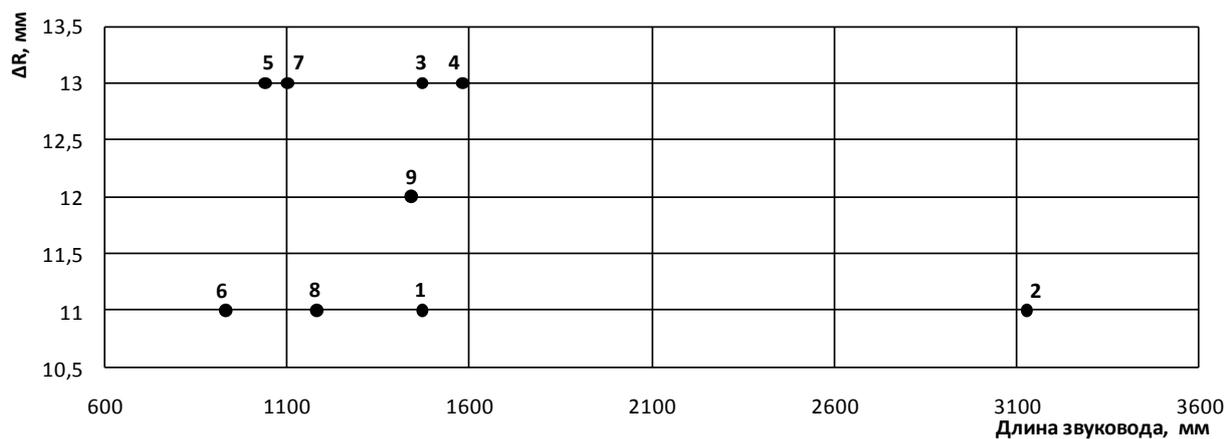


Рис.3

Таблица 1

Номер точки	Диаметр звуковода, мм	Длина звуковода, мм	Температура, градусы	Рабочая частота, кГц	Величина $\Delta R(t)$, мм
1	22	1470	13	2	11
2	22	3130	15	2	11
3	27	1470	13	10	13
4	27	1580	13	2	13
5	36	1040	14	2	13
6	36	930	14	10	11
7	48	1100	14	10	13
8	48	1180	12.5	2	11
9	88	1440	13	2	12

Проведенные исследования свидетельствовали, что для каждого типа бензина величина $\Delta R(t)$ практически не зависела от длины и диаметра звуковода (см. рис.3) и существенно зависела от исходного сырья и технологии их производства (см. кривые 5 и 6 на рис.1). Последнее обстоятельство очевидным образом связано с существенным отличием химического состава бензинов, а значит и их паров, произведенных из различного исходного сырья. На рис.4 приведены зависимости $\Delta R(t)$ для бензина АИ-98 (кривая 1), произведенного из газового конденсата, и бензина АИ-95 «prim» (кривые 2 и 3), произведенного из нефти.

Данные на рис.4 позволяют уменьшить расстояние до поверхности бензина с 900 мм (кривая 2) до 500 мм (кривая 1), при котором наблюдается отсутствие зависимости величины $\Delta R(t)$ от длины звуковода.

С целью снижения влияния паров бензинов на результаты контроля расстояния до контролируемой поверхности был применен относительный метод измерения. На рис. 5 представлены временные зависимости $\Delta R(t)$ для бензина АИ-92 при абсолютном (кривая 1) и относительном (кривая 2) методах измерения. Представленные данные свидетельствуют, что применение относительного метода не устраняет, а обеспечивает только незначительное снижение влияния паров бензина на результаты измерения расстояния до контролируемой поверхности.

На рис. 6 представлены результаты измерения увеличения времен прохождения акустическим сигналом измеряемого $\Delta T_x(t)$ (кривая 1) и эталонного $\Delta T_y(t)$ (кривая 2) расстояний для бензина марки АИ-98 при относительном методе. Они свидетельствуют, что несмотря на существенное увеличение времени прохождения измеряемого расстояния $\Delta T_x(t)$, время

прохождения эталонного расстояния $\Delta T_{\gamma}(t)$ увеличивается незначительно, оставаясь практически неизменным. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что пары бензина, существенно снижающие скорость распространения акустической волны, в основном локализируются непосредственно над его поверхностью и лишь их незначительная часть поднимается вверх по звуководу. Именно по этой причине относительный метод также не может считаться пригодным для контроля уровня автомобильных бензинов без применения специальных мер, устраняющих их испарение.

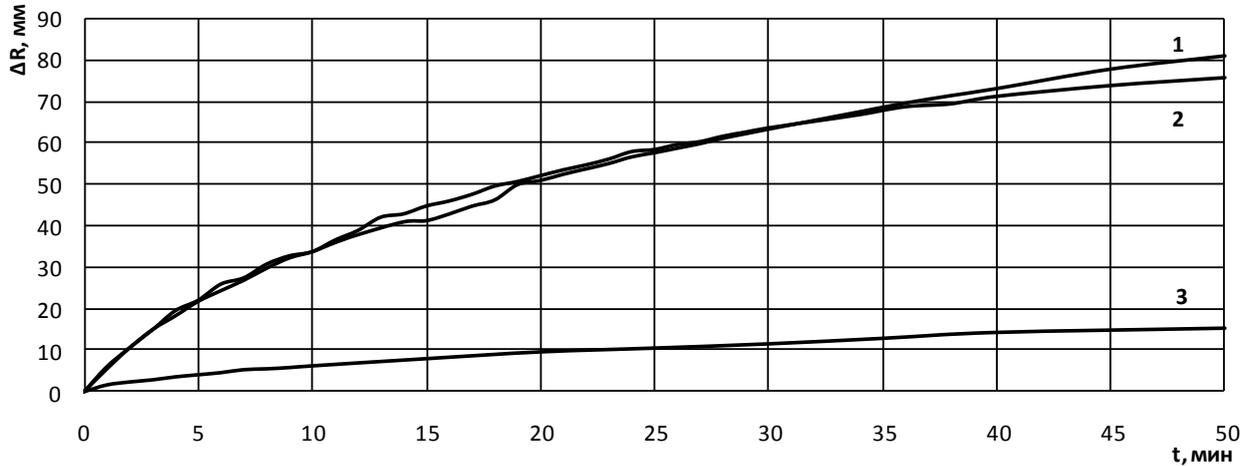


Рис.4

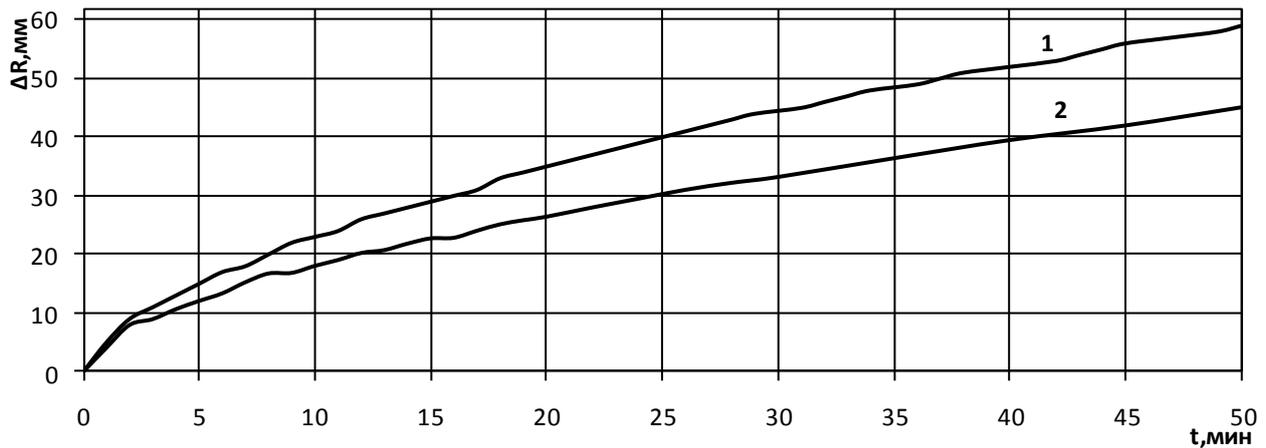


Рис.5

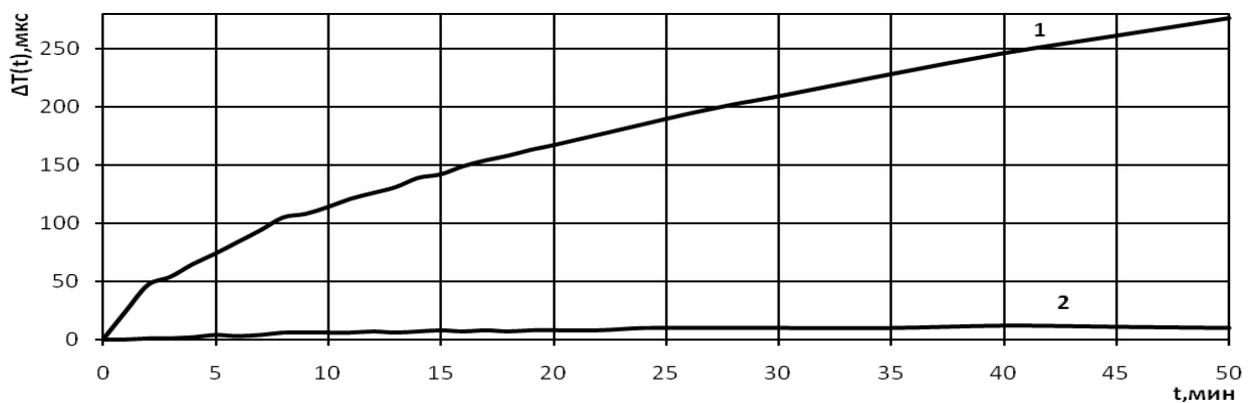


Рис.6

Выводы

Результаты исследований свидетельствуют:

- метод акустической локации целесообразно применять для контроля уровня слабо испаряющихся жидкостей (вода, дизельное топливо и др.);
- пары легкоиспаряющихся жидкостей (бензин, спирт, растворитель), в которых скорость распространения акустической волны может быть существенно ниже по сравнению с воздушной средой, локализуются непосредственно над поверхностью, что исключает перспективность использования относительного метода для контроля их уровня;
- максимальная концентрация паров автомобильных бензинов формируется в слое высотой до 50 см, при этом погрешность определения их уровня может превышать 80 мм и зависит от химического состава бензина, определяемого типом исходного сырья и технологией его производства.

Список литературы: 1. Жуков, Б.В., Солярский, Н.Ф. и др. Низкочастотные модификации акустических преобразователей акустического уровнемера “ЗОНД-3М” // Датчики и системы. – 2007. – №3. – С.42 – 46. 2. Пат. Украины на пол. модель. №2552 G01F23/28. Устройство для измерения уровня жидкости // Бюл. – 2004. – №6. 3. Пат. РФ 2146358 G01F 23/296. Устройство для измерения уровня жидких сред // Бюл. – 2000. – №7. 4. Ржевкин, С.Н. Курс лекций по теории звука. – М. : МГУ, 1960. – 336с.

*Институт радиофизики и электроники
НАН Украины*

Поступила в редколлегию 22.09.2012