

ния, создаваемые расходомерами и позволяет отказаться от установки фильтров перед ними. При этом, ультразвуковые расходомеры имеют широкий динамический диапазон и могут измерять неэлектропроводные среды – бензин, масло и т.д. Метод позволяет одинаково измерять как прямые, так и реверсивные потоки. Важным достоинством ультразвукового метода является возможность создания на его основе полностью автономных приборов.

Удилов С.В.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Учитывая то, что скорость распространения звука в воде относительно невысока, измерения в одноканальном расходомере разнесены во времени на значение $t_{изм}$, равное:

$$t_{изм} = T + 2 \cdot t_m + t_3, \text{ где} \quad (1)$$

T - время распространения ультразвуковых колебаний в среде;

t_m – время распространения ультразвуковых колебаний в металлических мембранах;

t_3 – время прохождения сигналов по электронной плате, включающее время, необходимое на измерение и обработку результатов. В зависимости от применяемого метода измерения временного интервала, это время может достигать от нескольких микросекунд

до секунды.

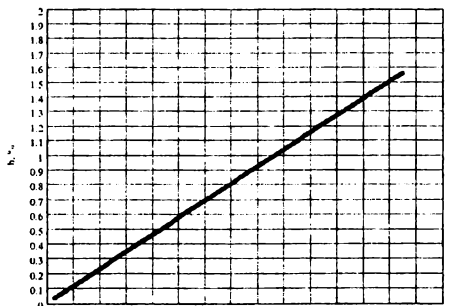


Рис. 1. Влияние скорости потока на погрешность, вносимой разностью температур

На рисунке 1 приведена зависимость между погрешностью измерения, возникающая вследствие разницы температур, а значит различных скоростей ультразвукового луча, при зондировании потока по очереди в двух направлениях и скоростью потока. В данном случае

в качестве среды измерения взята дистиллированная вода при температуре 20 °С. Исходное значение скорости потока – 0,3 м/с, конечное значение скорости потока – 10 м/с. Разница температур при зондировании составляет 0,01 °С. Согласно полученным результатам, погрешность измерения начинает укладываться в один процент только на скорости более 7 м/с (на графике соответствует 300-й точке).

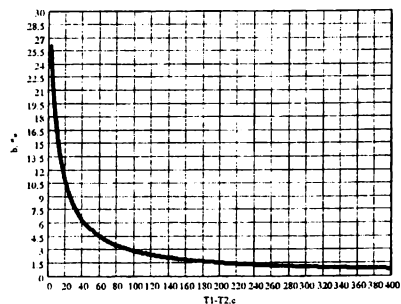
В приведенном выше рисунке предполагалось, что температура жидкости за время прохождения ультразвуковым лучом акустического тракта длиной 0,23 м изменяется на 0,01 °С. При температуре 20 °С время прохождения приблизительно равно 153 мкс. В случае линейного нарастания температуры жидкости, ее рост за одну секунду составит приблизительно 65 °С!

На рисунке 2 приведена зависимость дополнительной погрешности измерения от скорости нарастания температуры жидкости. На приведенном участке зависимость практически линейна и, при скорости нарастания более 0,96 °С в секунду, становится более процента.

На рисунке 2 показано влияние только времени $T(1)$, составляющее несколько сот микросекунд. Однако, в $t_{изм}$ также входят время распространения ультразвуковых колебаний в мембранах - t_m и время прохождения сигналов по электронной плате - t_s .

Значение t_m сравнительно невелико. При средней скорости ультразвукового зонда в металле, равном 4000 м/с и толщине мембраны 2,5 мм время распространения колебаний составит 6,25 нс. Даже после умножения этой величины на 2 (1), полученное значение составит менее одной сотой процента от времени распространения колебаний вдоль акустического тракта. В практических расчетах этой величиной можно пренебречь.

Рис. 2. Зависимость возрастания погрешности измерения от скорости нарастания температуры



Время прохождения сигналов по электронной плате – t_p , в зависимости от множества факторов, может изменяться в очень широких пределах. В ряде вариантов электронной схемы время распространения сигналов составляет несколько десятков микросекунд и достигается за счет исключения из схемы аналоговой части, обычно применяемой для измерения малых временных интервалов.

На рисунке 3 приведены зависимости возрастания погрешности измерения скорости потока, от увеличения интервала зондирования жидкости при различных скоростях нарастания температуры. Красная сплошная линия соответствует скорости нарастания температуры $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ в секунду, синяя пунктирная линия соответствует скорости нарастания температуры $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ в секунду. Зелеными точками показан график для скорости нарастания $1 \text{ }^\circ\text{C}$ в секунду или $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в минуту.

По графику видно, что даже при скорости нарастания в $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в минуту возможен интервал зондирования, при котором общая погрешность измерения

Рис. 3. Зависимость возрастания погрешности измерения от

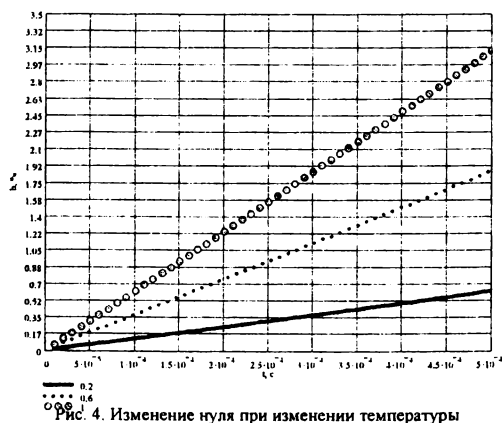
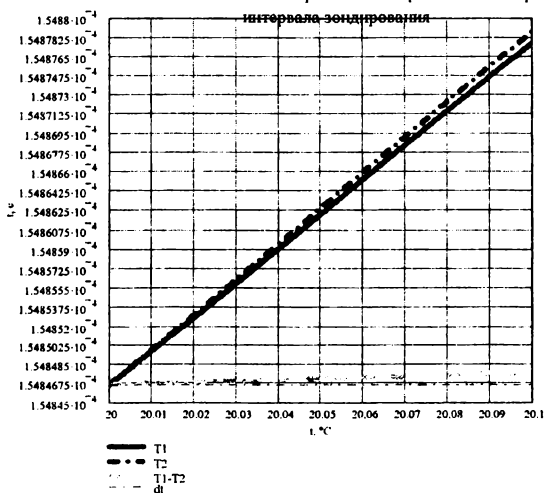


Рис. 4. Изменение нуля при изменении температуры

останется меньше процента. В данном случае этот интервал составляет около 300 мкс. при длине акустического тракта $0,23 \text{ м}$. Для других длин акустического тракта подобную зависимость необходимо рассчитывать дополнительно. Очевидно, что с ростом длины тракта погрешность измерения будет увеличиваться.

Существенное влияние на погрешность измерения оказывает нестабильность нуля, вызванная некоторой несимметричностью акустического тракта, характеристиками пьезоэлектрических преобразователей, а значит, и различной амплитудой снимаемого с них сигнала. На рисунке 4 приведены данные о зондировании неподвижной жидкости в трубе круглого сечения, полученные экспериментальным путем. Изменение температуры жидкости обусловлено общим изменением температуры окружающего воздуха в течение дня.

Из всего выше сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Для повышения точности измерения одноканальных ультразвуковых расходомеров необходимо минимизировать в их принципиальных схемах аналоговые составляющие, которые существенно увеличивают циклы измерения;
2. Необходимо максимально снижать нестабильность нуля, приводящую к значительным погрешностям, особенно заметную на малых скоростях течения жидкости;
3. Желательно направлять ультразвуковой зонд в проточной части под таким углом, при котором длина акустического тракта будет минимальна при сохранении влияния потока на скорость ультразвука.