

Е. А. БОРИСЕНКО, ассистент, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ ФЛУКТУАЦИИ ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УРОВНЯ ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ СРЕД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ СПОСОБОМ

В статье рассмотрены причины флуктуации времени пролета ультразвукового сигнала локационного уровнемера. Приведены результаты исследований влияния на величину флуктуации направленности приемника и передатчика. Исследованы сглаживающие способности алгоритмов медианного и экспоненциального сглаживания и сглаживания скользящим средним.

Ключевые слова: ультразвуковой уровнемер, возмущения среды распространения, медианное, экспоненциальное сглаживание, скользящее среднее.

Введение. Наиболее распространенным акустическим методом измерения уровня является локационный [1], при котором информативным параметром является время, которое требуется ультразвуковой волне для преодоления расстояния от излучателя до приемника с отражением от поверхности контролируемой среды. При измерении уровня жидких или сыпучих сред в емкостях средой распространения УЗ сигнала чаще всего является воздух. Это позволяет проводить бесконтактные измерения, что особенно актуально при измерении уровня агрессивных, загрязняющих или разрушающих чувствительные элементы сред.

Анализ литературы показывает, что при хранении некоторых вязких сред (битум, мазут) [2] необходимо поддерживать их высокую температуру (90–150 °С) для осуществления выгрузки/загрузки продукта в емкость. Разность температур вне резервуара и снаружи, особенно в условиях отрицательных температур, приводит к существенной температурной неоднородности в резервуаре. В результате этого образуются воздушные массы различной температуры, которые могут перемещаться. Перемещение воздушных масс может также возникать при использовании пневматического оборудования, для отгрузки сыпучих продуктов [3] или при хранении продуктов, имеющих отличную от окружающей среды температуру [4]. Перемещение воздушных масс приводит к сносу УЗ сигнала, из-за чего он распространяется по разным траекториям, длина которых отличается от расстояния между излучателем и приемником, измеренного по прямой, на некоторую случайную величину, являющуюся случайной мультипликативной погрешностью. Еще одним следствием является появление в воздухе областей, обладающих отличными акустическими сопротивлениями, что приводит к преломлению УЗ луча. В результате на выходе приемника амплитуда сигнала меняется во времени случайным образом, что приводит к

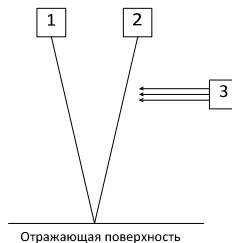
случайному смещению момента срабатывания компаратора и появлению случайной аддитивной погрешности. При высокой интенсивности потоков применение ультразвуковых измерителей уровня становится невозможным [5].

Постановка задачи. В ходе исследований, выполняемых в рамках диссертационной работы, было установлено, что большое влияние на величину этих погрешностей оказывает характеристика направленности приемника/передатчика. Также были исследованы 3 способа сглаживания экспериментальных данных: медианное, экспоненциальное и скользящим средним. Данные алгоритмы были выбраны ввиду их простоты, что делает их применимыми в прошивке микроконтроллера ультразвукового уровнемера. Функции их реализующие включены в состав программного пакета MS Excel, что позволило с легкостью исследовать их свойства на большом объеме данных.

Целью исследований было выбрать метод сглаживания флуктуации информативного параметра и определить условия, при которых он будет наиболее эффективным. Для получения данных, был проведен эксперимент, условия которого показаны на рис. 1. В среде распространения УЗ сигнала создавалось возмущение, источником которого являлся тепловентилятор (ТВ).

На рис. 2 приведены материалы исследований, полученные при работе приемника и передатчика без рупоров, при этом угол их направленности составлял 50° , и с коническим рупором, при использовании которого направленность сужалась до 20° .

Было исследовано 4 режима работы: ТВ0 – в спокойном воздухе; ТВ1 – тепловентилятор дул холодным воздухом; ТВ2 – нагрев воздуха на малой мощности; ТВ3 –нагрев воздуха на максимальной мощности;



1 – излучатель; 2 – приемник; 3 – тепловентилятор

Рис. 1 – Схема проведения эксперимента

В каждом режиме было накоплено 2630 отсчетов, отсчеты совершались с частотой 15 Гц. Расстояние до отражающей поверхности было неизменным и составляло 1,7 м.

Ниже представлены графики изменения числа счетных импульсов N в зависимости от изменения условий измерения при работе приемника и

передатчика без рупора (рис. 2) и с коническим рупором (рис. 3). Все время наблюдения разбито на графике на отрезки, соответствующие режимам работы: АБ – ТВ0, БВ – ТВ1, ВГ – ТВ2, ГД – ТВ3. Далее были исследованы фильтрующие способности трех фильтров.

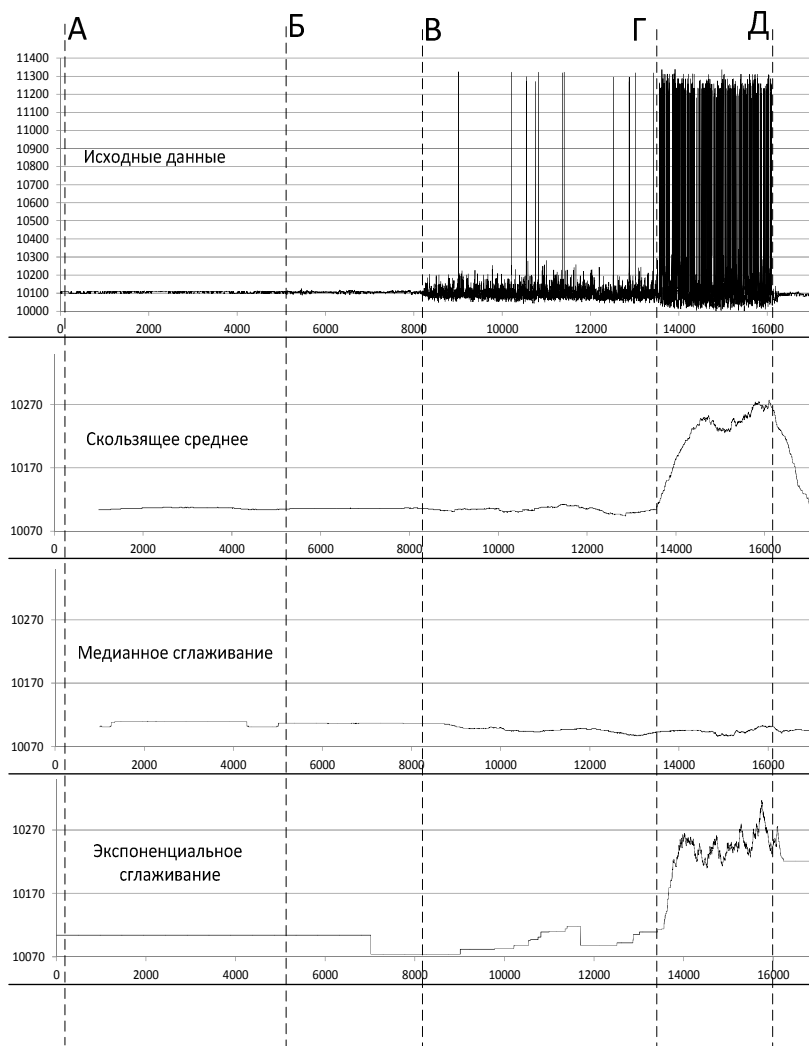


Рис. 2 – Изменение числа счетных импульсов в зависимости от условий измерений при работе приемника/передатчика без рупоров

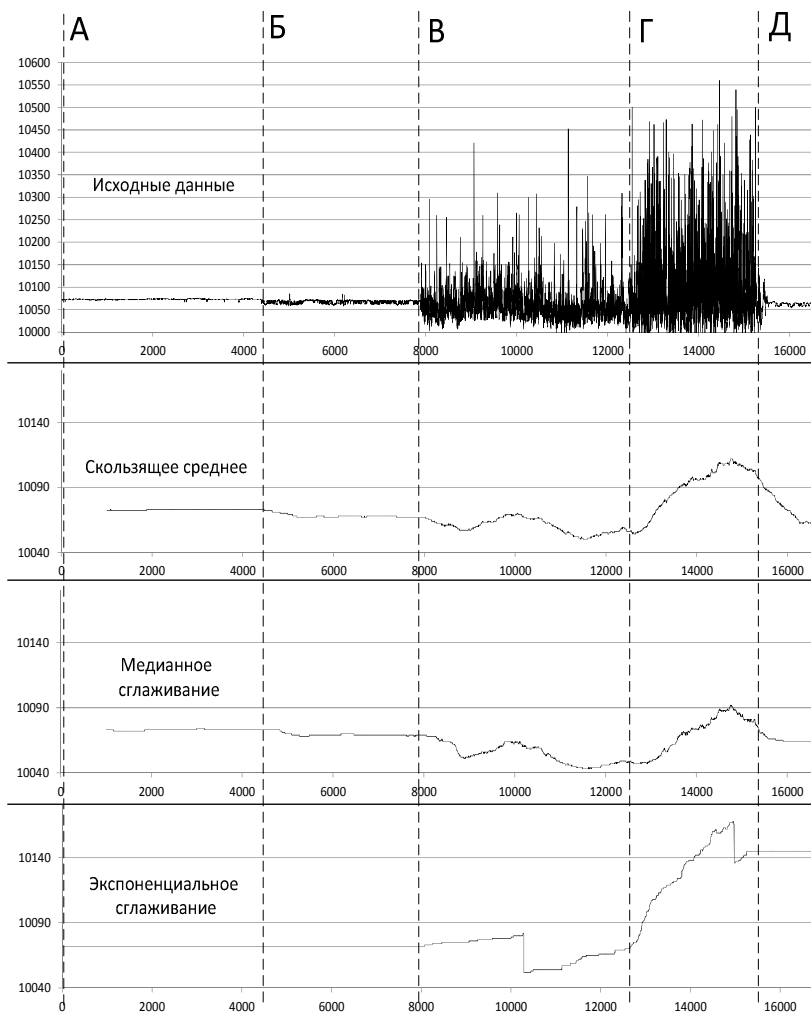


Рис. 3 – Изменение числа счетных импульсов в зависимости от условий измерений при работе приемника/передатчика с рупорами

Первый фильтр, реализует сглаживание скользящим средним по алгоритму $b_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$, где a_i – исходный ряд данных, b_i – сглаженный ряд, n – количество усредняемых отсчетов.

Второй исследуемый фильтр реализует медианное сглаживание. Согласно алгоритму, сглаживаемый ряд из n членов выстраивается по

возрастанию, а затем члену сглаженного ряда b_i присваивается значение среднего по номеру из упорядоченного массива $b_i = a_{n/2}$. Экспоненциальное сглаживание производится по алгоритму $b_i = kb_{i-1} + la_i$, где a_i – исходная, b_i – сглаженная последовательность. k и l – постоянные весовые коэффициенты, причем $k + l = 1$.

На первом этапе стояла задача сравнения сглаживающих способностей фильтров при схожем быстродействии. С этой целью для скользящего среднего и медианного сглаживания было взято $n = 1000$, а для экспоненциального сглаживания $k = 0,999$.

Из полученных рисунков 2 и 3 можно сделать такие выводы:

- наилучшую фильтрацию обеспечивает медианное сглаживание;
- помимо случайной, присутствуют медленно меняющиеся, дрейфовые составляющие погрешности;
- при работе приемника и передатчика без рупоров имеют место случайные погрешности, резко отличающиеся от остальных – промахи; именно наличие промахов резко снижает эффективность сглаживания скользящим средним и экспоненциальное сглаживание.

При предварительном исключении промахов и медианном сглаживании по 2000 отсчетам получается график, показанный на рис. 4. Видно, что дрейфовые и случайные составляющие устранены, а не исключенной осталась случайная погрешность квантования. Также по рисунку можно судить об изменении скорости распространения ультразвука по уменьшающемуся числу счетных импульсов. Полученная зависимость ожидаема, поскольку скорость звука повышается с ростом температуры, следовательно, время пролета измеряемого расстояния уменьшится, что очевидно и наблюдается на рисунке.

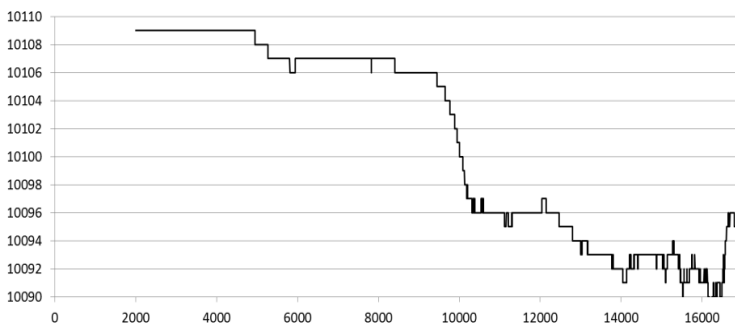


Рис. 4 – Результат сглаживания медианным фильтром по 2000 отсчетам – не исключены погрешность квантования и систематическая погрешность

Далее было исследована сглаживающая способность медианного фильтра в зависимости от количества отсчетов. В качестве количественной

характеристики фильтра было принято СКО на участках АБ – ГД, числовые значения сведены в таблицу. Задача заключалась в достижении компромисса, между быстродействием и сглаживанием. Из табличных данных можно сделать выводы:

- в спокойной среде распространения УЗ сигнала (участок АБ) применение рупора снижает флуктуацию амплитуды эффективнее сглаживающих алгоритмов, что приводит к уменьшению СКО и повышению точности измерений;

- при возмущениях средней интенсивности (БВ и ВГ) эффективность рупора снижается;

- при сильных возмущениях (участок ГД) установка рупоров приводит к увеличению СКО;

- установка рупоров уменьшает количество промахов, однако более эффективное их устранение осуществляется при помощи медианной фильтрации;

- количество отсчетов n , по которым осуществляется сглаживание, следует подбирать опытным путем и представляет собой компромисс между быстродействием и величиной случайных погрешностей.

Графики, построенные по данным табл. 1 приведены на рис. 5.

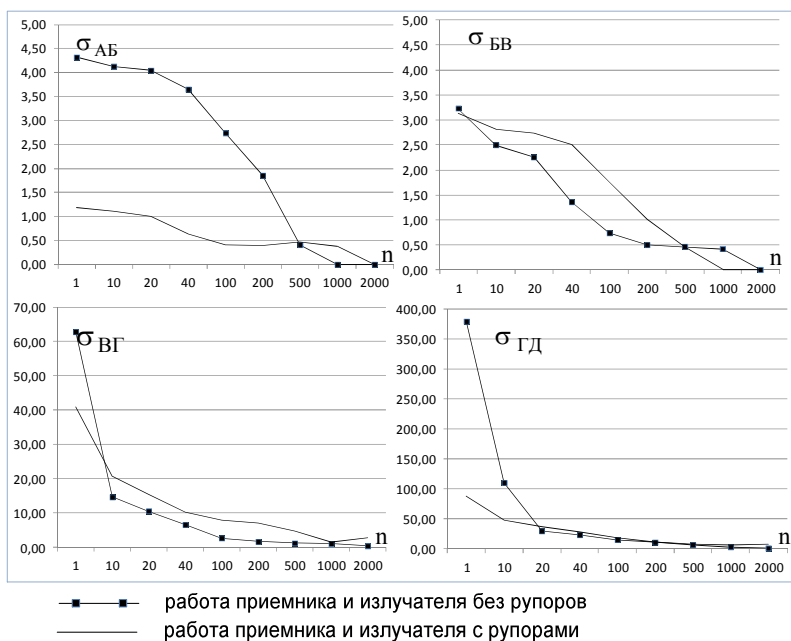


Рис. 5 – Зависимость СКО от числа сглаживаемых отсчетов

Таблица – Изменение СКО в зависимости от параметров фильтра

		количество отсчетов, n								
СКО		1	10	20	40	100	200	500	1000	2000
с рупорами	σ_{AB}	1,18	1,11	1,00	0,64	0,41	0,40	0,47	0,38	0,00
	σ_{BB}	3,14	2,81	2,73	2,50	1,77	1,01	0,45	0,00	0,00
	σ_{BF}	38,1	21,4	16,3	11,3	8,91	7,63	6,73	6,98	4,07
	σ_{GD}	87,6	47,7	36,4	27,7	18,0	11,2	6,60	5,72	6,76
без рупоров	σ_{AB}	4,32	4,13	4,05	3,65	2,74	1,86	0,41	0,00	0,00
	σ_{BB}	3,23	2,50	2,25	1,35	0,73	0,50	0,47	0,42	0,00
	σ_{BF}	82,0	15,7	11,1	6,91	3,72	2,85	2,25	1,64	1,06
	σ_{GD}	379	109,8	29,4	22,7	14,8	10,6	6,37	2,82	0,66

Вывод. Ультразвуковые излучатели с острой направленностью менее подвержены флуктуации информативного сигнала, чем ненаправленные. Для них имеют место промахи, которые могут быть устранены применением сглаживающих алгоритмов. Наилучшее качество фильтрации для ультразвукового уровнемера в исследованиях показал медианный алгоритм.

Список литературы. 1. Опрос: «Какие уровнемеры (преобразователи уровня) преимущественно используются на Вашем предприятии?» (<http://www.rospribor.com/voting/view/6.html>) **2.** Измерение уровня в условиях испарений и высоких температур. (<http://www.limaco.ru/ru/production/139/141/>) **3.** В. Гусев. Система автоматизированного управления пневмотранспортом сыпучих продуктов / В. Гусев, И. Якимов, Б. Горбатенко // Современные технологии автоматизации. – №2, 2013 СТА–ПРЕСС (<http://www.cta.ru/cms/f/443749.pdf>). **4.** В. Гусев. Автоматизированная система контроля уровня и массы цемента в силосах готовой продукции цементных заводов / В. Гусев, М. Бронин, А. Кулешов // Современные технологии автоматизации. – №3, 2006 СТА–ПРЕСС. **5.** Уровнемеры Альбатрос для мазута. (<http://forum.kipiasoft.ru/thread.php?postid=6146>).

УДК 621.317

Исследование методов уменьшения флуктуации информативного сигнала при измерении уровня жидких и сыпучих сред ультразвуковым способом / Е. А. Борисенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 8 (982). – С. 14–20. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті розглянуто причини флуктуації часу, що потрібен ультразвуку для подолання вимірюваної відстані. Наведені результати досліджень впливу направленості випромінювача та приймача на величину флуктуації. Проведено дослідження якостей згладжування ковзним середнім, медіанного та експоненціального згладжувань.

Ключові слова: ультразвуковий вимірювач рівня, збурення середи розповсюдження, медіанне згладжування, експоненціальне згладжування, ковзне середнє.

Reasons of ultrasonic time-of-flight fluctuation in this paper are observed. Results of directivity influence on fluctuation size are given. Antialiasing qualities of moving average, median antialiasing and exponential antialiasing are explored.

Key words: ultrasonic level meter, propagation medium disturbance, median antialiasing, exponential antialiasing, moving average.