

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 629.7.018.74

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСЕ ПИЛОТИРОВАНИЯ ДПЛА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРИРОДОРЕСУРСНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Зосимович Н.В., Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

На основе структурно-параметрического метода разработана методика проектирования средств отображения информации в наземном авиационном комплексе дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов, предназначенных для решения задач оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Введение. Постановка задачи

Определение конкретных характеристик системы управления, технических средств отображения информации в наземном авиационном комплексе для малоразмерных дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА) невысокой стоимости, предназначенных для решения задач оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды является логичным следствием в разработке технических средств экологического мониторинга. Существуют различные подходы к построению алгоритмов проектирования ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга. Предлагается воспользоваться подходом, основанным на идее структурно-параметрического проектирования [1, 2].

На основании метода структурно-параметрического проектирования необходимо сформулировать проектно-конструкторские требования и подходы к проектированию средств отображения информации в наземном авиационном комплексе для малоразмерных ДПЛА невысокой стоимости, предназначенных для решения задач оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

Анализ существующих инженерных решений и формулирование цели работы

В настоящее время наибольшее распространение для представления полетной информации в наземных авиационных комплексах получили электронно-оптические индикаторы на лобовом стекле (ИЛС) из-за простоты конструкции и удобства эксплуатации [3-5].

В состав ИЛС входят следующие блоки [3]:

1. Формирования изображения.
2. Индикации с источником питания.
3. Управления.

Основным элементом при структурно-параметрическом проектировании блока формирования изображения является генератор символов, в котором записывается программа росписи символики в виде букв, цифр, шкал, геометрических фигур, векторов и т.п. [4].

В программе росписи, как правило, реализуется так называемый штриховой (курсивный) метод, когда формирующий луч расписывает символику на экране наподобие карандаша на бумаге.

Для формирования изображений от бортовых обзорных систем (телевизионной, инфракрасной, радиолокатора) может использоваться метод телевизионного раstra [5]. Для получения совмещенного изображения символики и обзорной системы можно использовать смеситель изображений.

Блок индикации включает проекционную электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) с очень высокой яркостью свечения экрана [4]. Основным элементом оптической системы формирования изображения является коллимирующая система, обеспечивающая воспроизведение изображения от проекционной ЭЛТ в мнимой бесконечности, что исключает параллакс между внешней закабинной реальной обстановкой и символикой, генерируемой на экране трубки, и не требует перефокусировки (переаккомодации) зрения, которая необходима при наблюдении объектов, удаленных на различные расстояния от глаза.

Оператор наземного авиационного комплекса ДПЛА управляет летательным аппаратом, находясь на земле, но для правильного получения и отображения оперативной информации видится целесообразным использование компьютерного аналога отображения информации на лобовом стекле, что и является целью данной работы.

Структурно-параметрическое проектирование компьютерного аналога индикатора на лобовом стекле в управлении ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Компьютерный аналог индикатора на лобовом стекле (КАИЛС) может являться основным индикатором ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды. По принципу действия он принадлежит к классу проекционных индикаторов с оптической проекцией пилотажной, обзорной, навигационной и вспомогательной информации на компьютерный аналог лобового стекла ЛА – полупрозрачный экран, через который одновременно наблюдается закабинное пространство. Совмещение изображений на одном экране – интеграция информации позволяет существенно снизить рабочие нагрузки оператора ДПЛА и создать нормальные условия работы зрительного анализатора, так как при этом не требуется:

1. Перенос взгляда на приборы и поиск нужного прибора.
2. Перефокусировка (переаккомодация) зрения на различные объекты.
3. Перестройка (переадаптация) зрения на поля различной освещенности.

Компьютерные аналоги ИЛС делятся на [6]:

1. Электромеханические и электронно-оптические (по способам формирования изображений).

2. Аналоговые и цифровые (по способам управления).
3. Преломляющего и отражающего типа (по конструкции оптической схемы).
4. Обычные и дифракционные (голографические) по типу использования оптических элементов.

В качестве коллимирующей системы используются объективы, а также дифракционные (голографические) оптические элементы (КАИЛС дифракционного типа) [7].

В дифракционных КАИЛС в качестве лобового стекла используется аналог дифракционного оптического элемента. Устройство управления КАИЛС включает автоматический регулятор яркости экрана и переключатель режимов работы.

Окончательные рекомендации по виду и объему отображаемой на КАИЛС символики все еще не выработаны и поэтому каждый разработчик предлагает свою собственную трактовку [6]. Однако на всех режимах полета обязательно представление на индикаторе символа самолета в виде подвижного силуэта, совершающего движения в соответствии с эволюциями углов атаки и скольжения, крена, тангажа.

Для структурно-параметрического представления информации о курсе используется горизонтальная шкала с подвижной меткой, а вертикальные шкалы используются для представления информации о вертикальной скорости и высоте. Кроме того, могут выводиться такие параметры ДПЛА, как приборная скорость и команды директорного полуавтоматического управления (рис. 1).

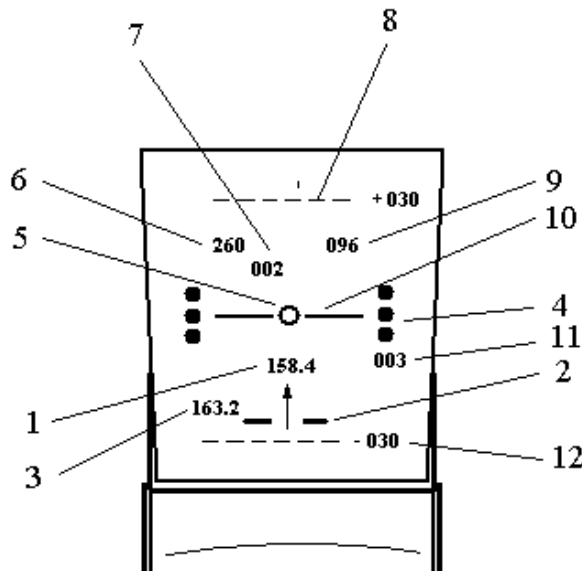


Рис. 1. Вид индикации на лобовом стекле: 1 – заданный курс; 2- скольжение; 3 – курс; 4 – индексы угла атаки; 5 – индекс ДПЛА (ЛА); 6 – индикаторная скорость; 7 – ошибка скорости; 8 – линия тангажа $+30^{\circ}$; 9 – высота; 10 – линия горизонта; 11 – вертикальная скорость; 12 – линия тангажа -30°

Увеличение поля зрения частично может быть достигнуто при использовании эффекта бинокулярности зрения, который всегда существует в горизонтальной плоскости.

Увеличение поля зрения по вертикали может быть достигнуто за счет установки двух и более лобовых экранов, размещенных на КАИЛС один за другим и дающих два и более изображений. При правильном объединении этих изображений получается увеличение суммарного изображения по вертикали.

Использование в КАИЛС дифракционного (голографического) элемента с заданными оптическими свойствами позволяет исключить громоздкий и дорогостоящий коллимирующий объектив [6]. Основные характеристики ИЛС приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики ИЛС [6]

Характеристика	ИЛС преломляющей схемы оптики	ИЛС дифракционного типа
Поля зрения по горизонтали и вертикали, град	17 ⁰ x 11,5	35 ⁰ x 20
Коэффициент пропускания света	70 %	90 %
Коэффициент отражения света	25 %	80 %
Яркость символики, кд/м ²	5400	17000
Яркость растрового изображения, кд/м ²	1300	4000
Точность символики (мрад)	2,0 – 2,5	0,6 – 1,0
Масса, кг	15 – 18	10

Структурно-параметрическое проектирование компьютерного аналога индикатора обстановки вертикальной плоскости в управлении ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Индикатор обстановки в вертикальной плоскости (ИВО) служит для отображения синтезированного изображения реальной картины окружающего пространства с четкой линией горизонта, ориентируясь по которому оператор может пилотировать ДПЛА как при обычном визуальном полете.

Кроме качественной информации, на ИВО выводятся количественные значения основных пилотажных параметров (крен, тангаж, воздушная скорость и т.п.) для всех фаз полета – взлет, набор высоты, полет по маршруту, посадка. На основании этой информации оператор получает представление о пространственном положении ДПЛА и его траектории.

ИВО используется также для структурно-параметрического представления информации бортовых обзорных радиолокационных, инфракрасных систем и системы телевидения, в том числе с наложением пилотажной синтезированной символики.

В качестве пилотажного индикатора ИВО дублирует функции КАИЛС, но позволяет обеспечить более широкие возможности при выводе на экран информации бортовых обзорных систем и иметь телевизионные изображения впередилежащего пространства, с помощью которого можно осуществлять взлет и посадку.

Для цветового структурно-параметрического кодирования может быть рекомендовано следующее распределение цветов: зеленый – неподвижные шкалы; желтый – сигнализация предупреждения; синий – неподвижные надписи, небо; красный – аварийная сигнализация, запреты; ярко-красный – выборочные цифровые значения и символы; белый – текущее значение параметров и символов; черный – фон, негативное изображение.

В структурно-параметрическом представлении информации на ИВО все более прослеживается переход на наглядную картинную форму представления информации, лучше воспринимаемую оператором ДПЛА, чему способствует развитие цифровых технологий. Начало было положено индикацией в псевдоперспективном изображении так называемой «дороги в небо» [6], подвижный дальний конец которой позволяет прогнозировать положение ДПЛА. На «дорогу» наносятся поперечные линии, характеризующие интервалы дальности. Дальнейшим развитием картинной индикации является представление движущихся изображений в реальном масштабе времени при использовании символов высокой сложности форм и цветового кодирования [5].

На индикаторе представляется трехмерная перспектива вида перед кабиной, на которой, например линией черного цвета, проецируется заданное направление полета («дорога в небо»), а информация о пространственном положении отображается изменением положения ДПЛА относительно земной поверхности. Информация о запретных зонах представляется в виде куполообразных зон, окрашенных в красный цвет.

Формирование подвижной картинной индикации с высокой сложностью форм из большого числа элементов в реальном времени требует разработки системы генерирования изображений, процессов и связанной с ними аппаратуры, позволяющих получать изображения из 40000-400000 элементов с частотой более 40 Гц [5-6], что значительно превышает возможности существующих систем индикации, в которых движущиеся объекты могут быть представлены в основном лишь условными символами.

Структурно-параметрическое проектирование компьютерного аналога индикатора обстановки горизонтальной плоскости в управлении ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Индикатор обстановки в горизонтальной плоскости (ИГО) является основным навигационным прибором и служит для параметрического отображения навигационно-тактической информации. На ИГО могут структурно отображаться:

1. Подвижная карта местности с навигационными данными и данными об окружающей среде (местоположение ДПЛА, ориентиры, пункты перемены маршрута, заданный и текущий курс, время и дальность до пункта наблюдения, прогноз траектории для различных интервалов времени, положение объектов мониторинга, сторон света и др.).

2. Структурно-параметрически синтезированная в бортовом компьютере буквенно-цифровая и графическая информация о состоянии бортовых систем ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды, и информация систем контроля.

3. Изображение телевизионного типа от бортовых обзорных видео, инфракрасных систем и систем телевидения.

4. Объединенное телеизображение (видеоизображение) с наложенной на него синтезированной информацией.

Карта местности в зависимости от структурно-параметрической схемы ИГО может либо синтезироваться в бортовом компьютере, либо воспроизводиться методом оптической проекции на экране ИГО с подвижной цветной пленки. В последнем случае может быть обеспечен значительный объем навигационно-мониторинговой информации.

С позиций структурно-параметрического проектирования ИГО могут разрабатываться в двух вариантах – электронном и электронно-оптическом. В первом случае вся необходимая информация, в том числе и в совмещенном виде, формируется бортовым компьютером на цветном экране оператора ДПЛА с целью улучшения качества информации [6]. Преимуществами электронного индикатора являются простота конструкции и легкость эксплуатации; недостатком – ограничение объема наглядного картографического материала.

Для структурно-параметрического отображения видеоинформации бортовых обзорных систем и синтезированной буквенно-цифровой и графической информации, в том числе в совмещенном с видеоинформацией виде, используется проекционная аппаратура, которая обеспечивает воспроизведение телевизионных и видеоизображений с высоким качеством. Для формирования изображения используется генератор системы индикации с цифровым управлением [8].

Панель управления современных и перспективных ИГО представляет собой размещенные на обрамлении экрана нажимные кнопки управления. Структурно-параметрическая особенность такой панели заключается в перепрограммировании функций кнопок с указанием текущей функции кнопки в зависимости от выбранного режима работы электронным способом на экране рядом с кнопкой. Основные структурно-параметрические режимы работы индикатора следующие:

1. Полет по маршруту.
2. Определение местоположения.
3. Работа с внешними объектами экологического и природоресурсного мониторинга окружающей среды.
4. Прокладывание отрезка маршрута.

5. Прогноз.

В режиме полета ДПЛА по маршруту изображение ориентируется по траектории полета с обозначением курса движения направленной вверх прямой линией.

Индикатор обеспечивает оператора информацией в пределах дальности прямого наблюдения при использовании самого крупного масштаба карты. Оператор ДПЛА с помощью панели управления может определить дальность до любого заложенного в память навигационной системы пункта маршрута и курс на него [8].

В режиме определения местоположения индикатор обеспечивает возможность коррекции накопления ошибок текущего положения непосредственно во время пролета около известного ориентира вручную или автоматически. В режиме работы с внешними радиосистемами навигации обеспечивается определение дальности и направления на выбранную станцию системы и последующее счисление своего маршрута. В режиме прокладывания отрезка маршрута обеспечивается определение дальности до пунктов маршрута, которые заранее не были введены в компьютер, и курс на них.

В режиме прогноза обеспечивается ознакомление оператора с картой местности, находящейся за пределами текущей фазы полета, и генерирование возможной траектории движения в заданные отрезки времени, если ДПЛА будет двигаться с выбранными параметрами движения (скорость, высота, перегрузка и др.) [9].

Вывод

Разработана и предложена перспективная методика структурно-параметрического проектирования информационно-управляющих полей, в вертикальной и горизонтальной плоскостях, наземного комплекса управления ДПЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

Литература

1. Голубев И.С., Андреев В.В., Парафесь С.Г. Методы структурно-параметрической оптимизации силовых авиационных конструкции. – М.: МАИ, 1991. – 68 с.
2. Зосимович Н.В. Математические основы проектирования ДПЛА экологического назначения // Стратегія розвитку України, 2006. – № 5. – С. 218-222.
3. Летчик как динамическая система в контуре управления летательным аппаратом: Обзор ЦАГИ. – М.: ЦАГИ, 1984. – № 635.
4. Построение системы изображения информации современных самолетов (обзор). // ЭИ Авиастроение, 1979. – № 7.
5. Проблемы разработки кабины экипажа самолетов. –ЦАГИ: Техническая информация, 1982, № 3.
6. Зайцев А.Г., Титков О.С. Проектирование информационно-управляющих полей кабины авиационных комплексов. – М.: МАИ, 1983. – 55 с.
7. Валуев М.И., Харченко В.П., Яппаров А.Н. Системотехніка та основи проектування аеронавігаційних систем: Навч. посіб. – К.: НАУ, 2003. – 120 с.

8. Fenton N.E., Pfleeger S.L. Software Metrics: A Rigorous & Practical Approach. 2-nd Edition. International Thomson Computer Press, 1997. – 647 pp.
9. Федоров С.М., Драбкин В.В., Кейн В.М., Михайлов О.И. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами.– М.: Транспорт, 1977. – 245 с.

<p>Зосімович М.В. Проектування засобів відображення інформації в комплексі пілотування ДПЛА для оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу навколишнього середовища</p> <p>На основі структурно-параметричного методу розроблена методика проектування засобів відображення інформації в наземному авіаційному комплексі дистанційно-пілотованих літальних апаратів, призначених для вирішення завдань оперативного природоресурсного та екологічного моніторингу навколишнього середовища.</p>	<p>Zosimovich N.V. Designing of displaying means of the information in a piloting complex of pilotless flying vehicles for operative natural and ecological environmental monitoring</p> <p>On the basis of a structural and parametrical method the technique of designing the means of displaying information in a ground aviation complex of the pilotless flying vehicles intended for the decision of tasks operative natural and ecological and monitoring of environment is developed.</p>
--	--

Надійшла до редакції
28 лютого 2008 року

УДК 681.3

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПЕРВИННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

*Погребенник В.Д., Романюк А.В., Національний університет “Львівська політехніка”,
м. Львів, Україна*

Розглянуто методи та засоби підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів інтегральних, селективних та гідрофізичних параметрів систем екологічного моніторингу водного середовища

Вступ

У праці [1] описано методологію побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) для екологічного моніторингу водного середовища, в основу якої покладено одночасне вимірювання його інтегральних, селективних, гідрофізичних параметрів та географічних координат.

До інтегральних параметрів належать загальна концентрація домішок у воді C_{Σ} , питома електропровідність σ , температура T , водневий показник pH , окисно-відновний потенціал Eh , нелінійний акустичний параметр γ .

Селективні параметри – це концентрації інгредієнтів C_i у приводному шарі атмосфери, водному середовищі та донних відкладах.

Гідрофізичні параметри – це компоненти v_x, v_y, v_z швидкості течії, швидкість звуку c , вихровий компонент швидкості течії (ВКШТ) $rotv$ та рівень води H .

Географічні координати – це широта β та довгота φ .

Метою роботи є аналіз методів та засобів підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів систем оперативного екологічного моніторингу водного середовища.

Первинні вимірювальні перетворювачі інтегральних параметрів водного середовища

Як показано в [2], для вимірювання загальної концентрації домішок у воді C_{Σ} доцільно використати ультразвуковий метод і, відповідно ультразвукові перетворювачі. Параметр C_{Σ} визначають із залежності

$$C_{\Sigma} = Lt_x / c(t_e t_d), \quad (1)$$

де L – віддаль між поверхнями відбивань; t_e і t_d – часи поширення звуку в еталонному та досліджуваному каналах; $t_x = t_e - t_d$.

Схему акустичного каналу ІВС наведено на рис. 1.

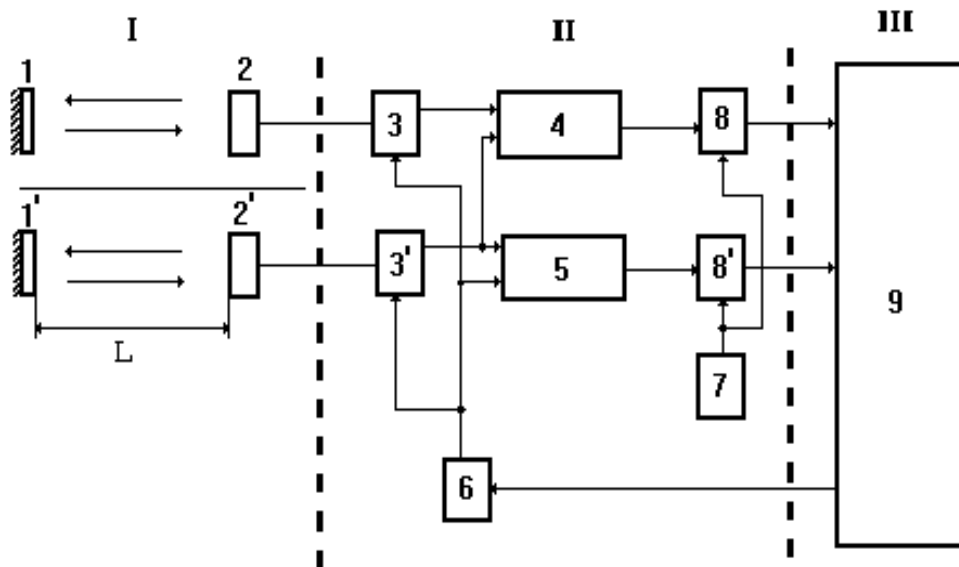


Рис. 1. Структура акустичного каналу: 1, 1' – відбивачі; 2, 2' – акустичні сенсори; 3, 3' – комутатори; 4 – блок вимірювання часових інтервалів; 5 – блок вимірювання часу поширення звуку в еталонному середовищі; 6 – генератор зондування; 7 – кварцовий генератор; 8, 8' – лічильники; 9 – мікроконтролер.

ІВС можна умовно розділити на три частини: *I* – первинні перетворювачі (сенсори); *II* – вимірювачі часових інтервалів; *III* – мікроконтролер. Система працює так. Імпульси з частотою відліків f_0 запускають генератор зондування 6. Електричний імпульс зондування через комутатори 3 і 3' надходить на обернені акустичні перетворювачі 2 і 2', які перетворюють його в акустичні імпульси. Ці імпульси поширюються в досліджуваному та еталонному середовищах на базі L , багаторазово відбиваються від відбивачів 1 і 1' та обернених акустичних перетворювачів 2 та 2' і поступово загасають за амплітудою (рис. 2).

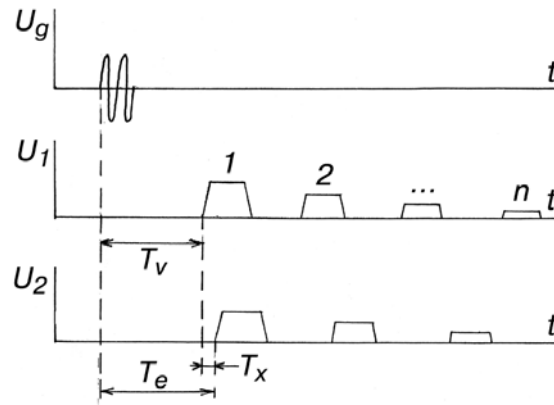


Рис. 2. Часові діаграми багаторазово відбитих сигналів.

Кожного разу при відбиванні від перетворювачів 2 і 2 частина енергії звукового імпульсу перетворюється в електричні сигнали, які через комутатори 3 і 3 надходять на входи схеми вимірювання часових інтервалів 4 та часу поширення звуку в еталонному середовищі 5. На виході блоків 4 та 5 формуються часові інтервали t_x і t_e , які визначають лічильниками імпульсів 8 і 8', куди надходять імпульси еталонної частоти f_0 з генератора 7. Ці дані заносять у мікроконтролер 9.

Останнім часом для сенсорів частіше застосовують п'єзокераміку, оскільки конструкції акустичних блоків досить прості, легкі і дешеві. П'єзокерамічні сенсори у резонансному механічному режимі коливань мають високу добротність 20...100 і частотний діапазон від 20 до 200 кГц і більше, високу надійність, низьку вартість [3].

Для вимірювання коротких часових інтервалів доцільно використати методи та засоби, описані у [4].

Основою первинного вимірювального перетворювача температури є термометр опору [3].

Для визначення низьких провідностей води використовують кондуктометричний перетворювач, який має найменшу нижню границю діапазону вимірювання питомої електричної провідності (0,01 См/м) і дозволяє оцінювати низькі концентрації солей у воді з похибкою 2...5% при статичній чутливості (10^{-3} ... 10^{-4} См/м). Йому також властиві достатньо високі характеристики просторового усереднення (міра просторового усереднення 0,005...0,01 м).

Отже, гнучка структура та сучасна елементна база мікроконтролера системи [3] забезпечують автоматизацію та високу надійність процесів вимірювання, калібрування та збереження даних при мінімальному споживанні енергії, що є важливою умовою створення сучасних вимірювальних приладів та систем.

Для вимірювання водневого показника рН, окисно-відновного потенціалу Eh доцільно використовувати сенсори на основі іоноселективних електродів.

При визначенні нелінійного показника γ використано розклад тиску p в ряд за густиною ρ і ентропією S біля рівноважного значення p_0

$$P=P_0+A(\rho-\rho_0)/\rho_0+(B/2)((\rho-\rho_0)/\rho_0)^2+\dots+(\partial P/\partial S)_{p/S=S_0}(S-S_0), \quad (2)$$

де $A=\rho_0(\partial p/\partial \rho)_s|_{\rho=\rho_0}=\rho_0 C_0^2$;

$$B=\rho_0^2(\partial^2 p/\partial \rho^2)_s|_{\rho=\rho_0}=2\rho_0^2 C_0^3 (\partial C/\partial \rho)_s|_{\rho=\rho_0};$$

C – швидкість поширення звуку в середовищі, а індекс "0" відноситься до рівноважних значень.

Оскільки поширення звуку є адиабатичним процесом, то у розкладі (2) залишаються тільки похідні по густині. Звідси маємо

$$B/A=2\rho_0 C_0(\partial C/\partial \rho)_s. \quad (3)$$

Зв'язок параметра акустичної нелінійності водного середовища γ з рівноважною швидкістю звуку C_0 можна записати наступним виразом [5]

$$\gamma=2\rho C_0 G+1=B/A+1, \quad (4)$$

де $G=\partial C/\partial \rho$ – ізотермічний коефіцієнт тиску; похідну $\partial C/\partial \rho$ обчислюють при незмінній ентропії і солоності води.

Значення параметра γ для "звичайних" однорідних середовищ – газу, води, скла, плавленого кварцу і т.д. лежать в діапазоні від 3 до 10 [5]. Набагато більші його значення (до 10^3-10^4) спостерігаються для середовищ із "складною" структурою – води з пухирцями газу, пористих пластизолів, деяких земних порід, зернистих середовищ.

Крім того, швидкість звуку C_0 описується співвідношенням

$$C_0=(\gamma p/\rho)^{0.5}. \quad (5)$$

Підставимо його у (5) і отримаємо уточнену формулу для γ [5]

$$\gamma=1+2\rho_0^2 G^2 p/\rho+2\rho_0 G[(p/\rho)(1+\rho_0^2 G^2 p/\rho)]^{0.5}. \quad (6)$$

Отже, для вимірювання параметра γ необхідні сенсори тиску, густини та швидкості звуку.

Первинні вимірювальні перетворювачі селективних параметрів водного середовища

Для вимірювання селективних параметрів C_i доцільно використати іоноселективні електроди [6-8]. Вони є новим потужним інструментом дослідження природних вод. Перспективи їх використання пов'язані з розробкою простих, дешевих і експресних методів аналізу, створення автоматичних станцій вимірювання параметрів вод, вивченням фізико-хімічних особливостей природної води. Треба ще раз підкреслити, що тільки зараз з появою іоноселективних електродів виникла можливість безпосереднього експериментального вивчення активності розчинених солей в природних водах. Ця сторона використання іоноселективних електродів має, на нашу думку, найбільше значення, відкриваючи широкий шлях для проникнення в гідрохімію ідей і методів фізичної хімії.

Цікавий приклад застосування іоноселективних електродів для вивчення динаміки природних процесів наведено в [9], які прослідкували зміну концентрації іонів кальцію в ґрунтовому розчині.

Без сумніву, аналогічні дослідження можуть дати виключно важливу інформацію щодо оцінки динаміки підземного хімічного стоку розчинених речовин, періодичних змінах складу мінеральних джерел.

Описаний в [9] експеримент – перший приклад автоматичних станцій вимірювань за забезпеченістю сільськогосподарських культур поживними речовинами. Дійсно, в даний час випускаються іоноселективні електроди на такі життєво важливі компоненти, як калій, амоній, натрій, кальцій. Задача найближчого майбутнього – створення автоматичних станцій на основі іоноселективних електродів, які будуть передавати оперативну інформацію про забезпечення рослин поживними компонентами, і внесення добрив буде вестися точно у відповідності з потребою сільськогосподарських культур.

У зв'язку з розширенням масштабів промислового виробництва все гострішою стає проблема ліквідації відходів. Особливо важливим є визначення складу рідких відходів промислових підприємств. В більшості випадків іоноселективні електроди можуть забезпечити безперервний аналіз цих відходів.

Не дивлячись на великі переваги перед звичайними методами аналізу, використання іоноселективних електродів в системах дослідження і вивчення водного середовища стримується необхідністю складних перерахунків і введення калібрувальних таблиць для одержання даних не в мілівольтах, а безпосередньо в одиницях активності конкретного іона.

Первинні вимірювальні перетворювачі гідрофізичних параметрів водного середовища.

На сьогоднішній день для визначення ВКШТ, швидкості звуку та течії розроблено або окремі прилади або окремі канали у складі інформаційно-вимірювальних систем [10].

Надзвичайно актуальним є розроблення нового підходу та автоматизованої системи одночасного визначення цих параметрів, поклавши в основу вимірювання ВКШТ.

Розглянемо вимірювальний акустичний контур у вигляді квадрата $ABCD$, у вершинах котрого розміщено ультразвукові обернені перетворювачі (рис. 3). У геометричному центрі контуру розміщено пристрій для вимірювання напрямку на магнітний меридіан. Визначимо часи поширення сигналів від перетворювача, розміщеного в точці A , до перетворювача, розміщеного в точці B , і у зворотному напрямку:

$$T_{AB} = \int_A^B dL/C_{AB} = \int_A^B dL/[f(C_{0,t,S,p}) + vl_s] = L_{AB}/f(C_{0,t,S,p}) + v \sin a; \quad (7)$$

$$T_{BA} = \int_B^A dL/C_{BA} = \int_B^A dL/[f(C_{0,t,S,p}) - vl_s] = L_{BA}/f(C_{0,t,S,p}) - v \sin a;$$

(8)

де L - відстань між ультразвуковими перетворювачами;

C_0 - швидкість звуку в нерухомому середовищі;

v - швидкість течії;

α - кут між швидкістю течії і напрямком поширення ультразвукових сигналів;
 l_s - одиничний вектор.

Відповідно, часи поширення сигналів від перетворювача, розміщеного в точці A , до перетворювача, розміщеного в точці D , і у зворотному напрямку, будуть описуватися такими виразами

$$T_{AD} = L_{AD} / f(C_0, t, S, p) + vl_s = L_{AD} / f(C_0, t, S, p) + v \cos \alpha \quad (9)$$

$$T_{DA} = L_{DA} / C_{DA} = L_{DA} / f(C_0, t, S, p) - v \cos \alpha \quad (10)$$

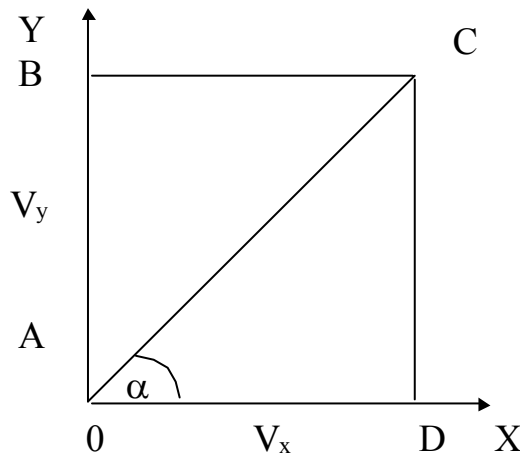


Рис. 3. Акустичний вимірювальний контур

Використовуючи вирази (9) - (10) можна визначити компоненти швидкості течії v_x та v_y :

$$v_x = C_{AD} - C_{DA} = L/2 [(1/T_{AD} - 1/T_{DA})] = L/2 [(T_{DA} - T_{AD})/(T_{AD}T_{DA})], \quad (11)$$

$$v_y = C_{AB} - C_{BA} = L/2 [(1/T_{AB} - 1/T_{BA})] = L/2 [(T_{BA} - T_{AB})/(T_{AB}T_{BA})]. \quad (12)$$

Швидкість звуку в нерухомій рідині C_0 визначиться з наступного виразу:

$$C_0 = (C_{AB} + C_{BA})/2 = L/2 [(1/T_{AB} + 1/T_{BA})] = L/2 [(T_{AB} + T_{BA})/(T_{AB}T_{BA})]. \quad (13)$$

Використовуючи вираз (13), отримаємо формулу для визначення ВКШТ $rot_n v$ для даного контуру - квадрата, яка матиме такий вигляд:

$$rot_n v = L_k^2 / 2S [(T_{ABCD} - T_{ADCBA}) / (T_{ABCD} T_{ADCBA})]. \quad (14)$$

Якщо сторони квадрата $AB=BC=CD=DA=L$, то вираз (2.125) набуде вигляду

$$rot_n v = 8 [(T_{ABCD} - T_{ADCBA}) / (T_{ABCD} T_{ADCBA})]. \quad (15)$$

Отже, швидкість течії та ВКШТ є інваріантними до швидкості звуку. Швидкість звуку в нерухомій рідині C_0 залежить від температури, солоності та тиску води, що видно з формули (13).

Для визначення напрямку на магнітний меридіан варто використати пристрій, описаний в [10].

Для автоматизованого вимірювання швидкості звуку, компонентів швидкості течії, ВКШТ та напрямку на магнітний меридіан ϕ доцільно використати мікроконтролер. Структурну схему ультразвукової системи для визначення параметрів C , v_x , v_y , $rot_n v$, кута ϕ показано на рис. 4.

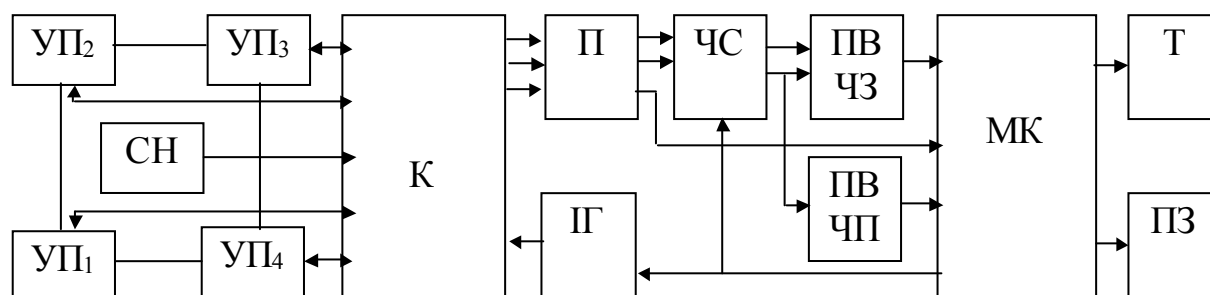


Рис. 4. Структурна схема ультразвукової системи експрес-контролю параметрів водного середовища

Ультразвукова мікропроцесорна система експрес-контролю параметрів водного середовища містить ультразвукові перетворювачі УП1...УП4, сенсор напрямку СН, комутатор К, триканальний приймач П, імпульсний генератор ІГ, часовий селектор ЧС, пристрій вимірювання часових зсувів ПВЧЗ, пристрій вимірювання часу поширення ультразвуку між перетворювачами ПВЧП, мікроконтролер МК, табло індикації Т і пристрій зв'язку ПЗ з ЕОМ.

Ультразвукові перетворювачі УП1...УП4 виконано на основі п'єзоелементів, які і утворюють вимірювальний контур у вигляді квадрата.

Для визначення глибини (рівня води) використовують ультразвукові сенсори.

Висновки

Виконано аналіз методів підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів систем оперативного екологічного моніторингу водного середовища.

Показано, що для вимірювання інтегральних параметрів доцільно використовувати такі сенсори: ультразвуковий – визначення загальної концентрації домішок, кондуктометричний – питомої електропровідності, термометр опору – температури, іоноселективні електроди – водневого показника та окисно-відновного потенціалу, ультразвуковий, тиску – нелінійного акустичного параметра γ . Для вимірювання селективних параметрів рекомендовано використовувати іоноселективні електроди. Визначення гідрофізичних параметрів доцільно здійснювати за допомогою ультразвукових сенсорів.

Використання мікропроцесорної та комп'ютерної техніки забезпечить високу точність та надійність процесів вимірювання, розширені функціональні можливості, автоматизацію вимірювань, калібрування, збереження та первинне опрацювання даних при мінімальному споживанні енергії.

Література

1. Погребенник В.Д., Романюк А.В. Методологія побудови інформаційно-вимірювальних систем для екологічного моніторингу водного середовища // Матеріали міжнародної нау-

- ково-практичної конференції “Обробка сигналів і негауссівських процесів”. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – С. 227–229.
2. Погребенник В.Д. Методи і вимірювальні системи оперативного визначення інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів: Дис. д-ра техн. наук: 05.11.16. - Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка НАН України. - Львів, 2002. – 382 с.
 3. Погребенник В.Д., Михалина І.А. Автоматичний експрес-контроль концентрації водних розчинів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 1997. – № 5. – С. 123–129.
 4. Погребенник В. Д., Романюк А. В. Методи та засоби покращення метрологічних характеристик вторинних часових вимірювальних перетворювачів // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів і виробів. – Львів, 2007. – Вип. 11. – С. 200–207.
 5. Погребенник В.Д., Юзевич В.М., Сопрунюк П.М, Червінка О.О., Червінка Л.Є. Діагностика водних розчинів з допомогою нелінійних акустичних ефектів // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів. – 2001. – Вип. 6. – С. 60–64.
 6. Корыта И., Штулик К. Ионоселективные электроды. – М.: Мир, 1989. – 267 с.
 7. Морф В. Принципы работы ионоселективных электродов – мембранный транспорт. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
 8. Ионоселективные электроды / Под ред. Р. Дарста. – М.: Мир, 1972. – 430 с.
 9. Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 77 с.
 10. Погребенник В.Д. Ультразвукова система експрес-контролю параметрів водного середовища // Вісник Тернопільського Державного технічного університету. – 2000. – Т. 5. – №2. – С. 92–96.

<p>Погребенник В.Д., Романюк А.В. Методы и средства повышения точности первичных измерительных преобразователей систем экологического мониторинга водной среды</p> <p>Рассмотрены методы и средства повышения точности первичных измерительных преобразователей интегральных, селективных и гидрофизических параметров систем экологического мониторинга водной среды.</p>	<p>Pohrebennyk V.D., Romaniuk A.V. Methods and means of increase of accuracy of primary measuring converters of systems of ecological monitoring of the water environment</p> <p>Methods and means of increase of accuracy of primary measuring converters of integrated, selective and hydrophysical parameters of systems of ecological monitoring of the water environment are considered.</p>
---	--

*Надійшло до редакції
28 січня 2008 року*

УДК 681.3

УЛЬТРАЗВУКОВІ СЕНСОРИ СИСТЕМИ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

*Погребенник В.Д., Політило Р.В., Національний університет “Львівська політехніка”,
м. Львів, Україна*

Розглянуто ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації, в основу роботи яких покладено принципи інтерференції звукових коливань та ефект Доплера; виділено їх переваги та недоліки; запропоновано удосконалити ультразвуковий сенсор підвищенням його завадостійкості та швидкодії

Вступ

Одним з основних засобів забезпечення безпеки об'єктів є системи сигналізації, які повинні зафіксувати наближення або початок дій найрізноманітніших видів загроз – від пожежі і аварій до спроб проникнення на об'єкт або в комп'ютерну мережу.

Найважливішими елементами охоронної сигналізації є чутливі елементи (сенсори). Вони виявляють зміни стану середовища і формують повідомлення про це [1]. У системах охоронної сигналізації використовують різноманітні сенсори: пасивні та активні інфрачервоні сенсори руху і присутності; розбиття скла; фотоелектричні; радіохвильові; ультразвукові; вібраційні; магнітоконтатні; електроконтактні та ін. [2].

Критерієм ефективності і досконалості засобів охоронної сигналізації є зведення до мінімуму числа помилок і помилкових спрацьовувань. Надійність системи охоронної сигналізації залежить в основному від методів опрацювання сигналів. Характеристики сенсорів визначають основні параметри всієї системи сигналізації загалом. Тому при проектуванні та створенні сенсорів для систем охорони потрібно враховувати багато чинників.

Метою роботи є визначення основних принципів функціонування та особливостей роботи ультразвукових сенсорів охоронної сигналізації, а також аналіз їх переваг та недоліків.

Ультразвукові сенсори наразі використовують у різних галузях: радіоелектроніці, дефектоскопії, медицині, харчовій промисловості, гідролокації та ін. Значного поширення вони також набули в охоронній сигналізації [9]. Призначені вони для охорони закритих приміщень і видають сигнал тривоги як при появі порушника, так і при виникненні пожежі. Принцип їх дії заснований на реєстрації зміни ультразвукового поля, викликаного появою в приміщенні людини або виникненні пожежі. Вони характеризуються високою чутливістю, але і високим рівнем хибних спрацьовувань, наприклад, великогабаритні предмети обмежують дію таких сенсорів, створюючи області екранування ("мертві зони"), в яких сенсори не реагують на рух порушника [9]. Надійність роботи таких сенсорів залежить від зміни навколишнього середовища, наприклад, повітряні потоки, що створюються кондиціонерами і опалювальними приладами також можуть призвести до помилкового спрацьовування системи сигналізації. Тому дані сенсори в більшості випадків використовують для охорони об'єктів малих за об'ємом [3].

У найпростішому випадку до складу сенсора входять акустичний випромінювач та приймач і блок опрацювання сигналу. Як випромінювальний та приймальний елемент використовується п'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач. З виходу приймача сигнал надходить в схему блоку опрацювання сигналів, який залежно від закладеного в нього алгоритму, формує те або інше повідомлення [5].

Для пристроїв такого типу характерні наступні принципи дії [4]:

– перший заснований на інтерференції ультразвукових коливань. При закритому приміщенні простір, контрольований пристроєм, обмежений і в точці розташування приймача формується стійка інтерференційна картина. При проникненні якого-небудь об'єкту в приміщення стійкість інтерференційної картини порушується і формується сигнал тривоги.

– в основі другого лежить ефект Доплера – зміна частоти при взаємному переміщенні об'єктів.

Крім вище перелічених сенсорів також можна виділити також детектори близькості, які призначено для охорони певного визначеного місця чи можливого місця проникнення порушника.

Ультразвукові сенсори на основі інтерференції звукових коливань

На початковому етапі розробки ультразвукових сенсорів системи виявлення рухомого об'єкту будували так (рис. 1, а) [6]. Випромінювач В1 і приймач П1 розташовували на протилежних стінах приміщення, під стелею (для зниження впливу внутрішньої обстановки). Випромінювач В1 збуджував в просторі приміщення стабільні за частотою і амплітудою ультразвукові коливання. Мікрофон (приймач) П1 перетворював прийнятий з простору ультразвуковий сигнал в електричний. Далі, в електронному пристрої цей сигнал підсилювали, детектували і аналізували за амплітудою. У разі зміни амплітуди прийнятого ультразвукового сигналу формувалася сигнал тривоги. Структурну схему ультразвукового сповіщувача наведено на рис. 2.

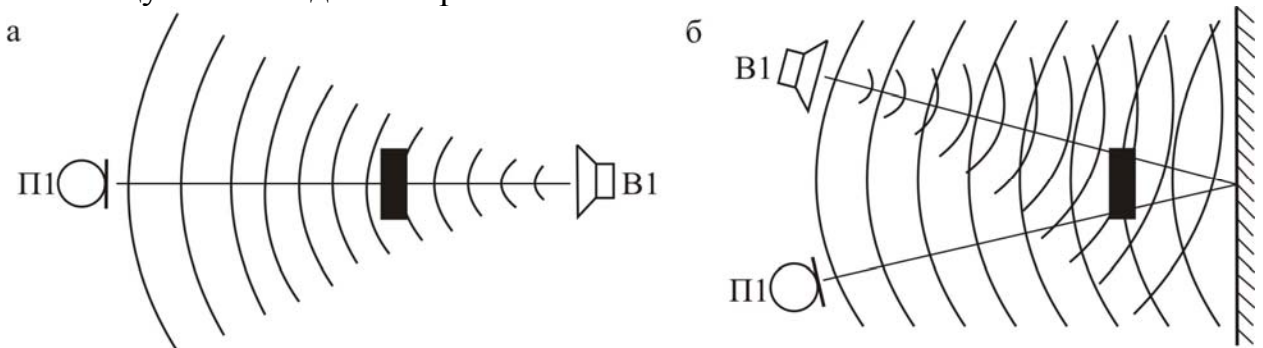


Рис. 1. Схеми розташування ультразвукових сенсорів

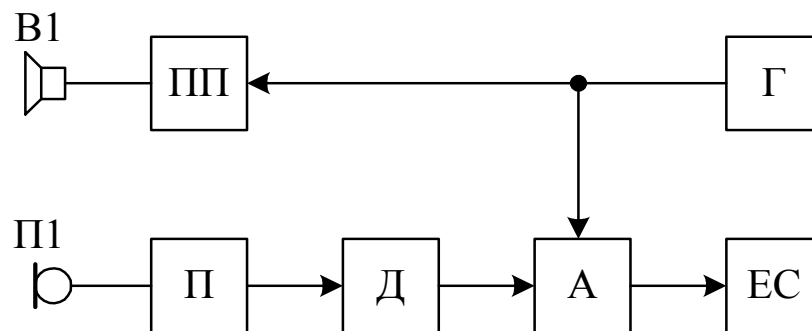


Рис. 2. Структурна схема ультразвукового сповіщувача на основі інтерференції звукових коливань: П – підсилювач, Г – генератор ультразвуку

кових коливань, Д – детектор, ПП – підсилювач потужності, А – аналізатор амплітуди, ЕС – елемент сповіщення.

Будь-який рух у приміщенні призведе до зміни шляху проходження ультразвукових хвиль, а отже, до змін інтерференційної картини. Це викличе зміну амплітуди вихідного сигналу мікрофону ПП. Реєструючи їх можна виявити переміщення в замкнутому просторі.

Даний спосіб виявлення рухомих об'єктів забезпечує дуже високу чутливість при високій економічності, оскільки хвиля від випромінювача В1 до приймача ПП проходить через приміщення найкоротшим шляхом, а отже має найменше загасання. Проте в реальних умовах ця система практично непрацездатна із-за надзвичайно високої вірогідності помилкових спрацьовувань. Система реагує навіть на потік повітря, оскільки сумування швидкості звуку із швидкістю повітря змінить характер проходження хвилі, що буде сприйняте мікрофоном ПП як переміщення об'єкту.

Для підвищення стійкості системи випромінювач В1 і приймач ПП розташовують на одній стіні (рис.1, б). Довжина шляху хвилі збільшується в два рази, що вимагає значного збільшення випромінюваної потужності. Але при цьому через те, що хвиля проходить через потік повітря двічі – туди і назад, приріст швидкості взаємно компенсується, що і підвищує стійкість пристрою до помилкових спрацьовувань в умовах відносних рівномірних потоків повітря.

У реальних умовах потоки повітря можуть бути нерівномірними. Крім того, істотний внесок в нестабільність інтерференційної картини в реальному приміщенні вносять деформації шибок і дверей в результаті поривів вітру зовні, різного роду вібрації та інші чинники. Все це призвело до того, що охоронна система, побудована за описаним вище принципом, виявилася непрацездатною.

Ультразвукові сенсори на основі ефекту Доплера

Істотно підвищити завадостійкість дає змогу інший метод детектування сигналу не за амплітудою, а за частотою [6]. Якщо об'єкт переміщається уздовж напрямку розповсюдження хвилі (рис.1, б), відбита від нього хвиля матиме деякий зсув за частотою щодо випромінюваної згідно ефекту Доплера. Внаслідок різнонаправленого відбивання хвиль в реальному приміщенні ефект Доплера виявляється і при строго перпендикулярному переміщенні об'єкту, але дещо слабкіше. Тому об'єкт, що рухається в будь-якому напрямі, буде виявлений.

Не дивлячись на переваги, детектування з використанням ефекту Доплера не знімає повністю проблему помилкових спрацьовувань. Існує певна межа інтенсивності повітряних потоків і інших чинників, вище за яку сенсор реєструватиме помилкові переміщення.

Структурну схему ультразвукового доплерівського сенсора подано на рис. 3 [7]. Як випромінювач В1 і приймач ПП здебільшого використовують високо-ефективні резонатори з п'єзокераміки. Одну частину пристрою складає тракт випромінювання, що включає в себе еталонний генератор, підсилювач потуж-

ності і випромінювач ультразвуку. Робочу частоту вибирають як компроміс між завадостійкістю і загасанням ультразвукових коливань в повітрі. Чим вища частота, тим вплив природних і штучних шумів, що сприймаються сенсором, є меншим, проте із збільшенням частоти підвищується загасання хвилі, і для нормальної роботи сенсора необхідно збільшувати потужність випромінювання (пропорційно квадрату частоти).

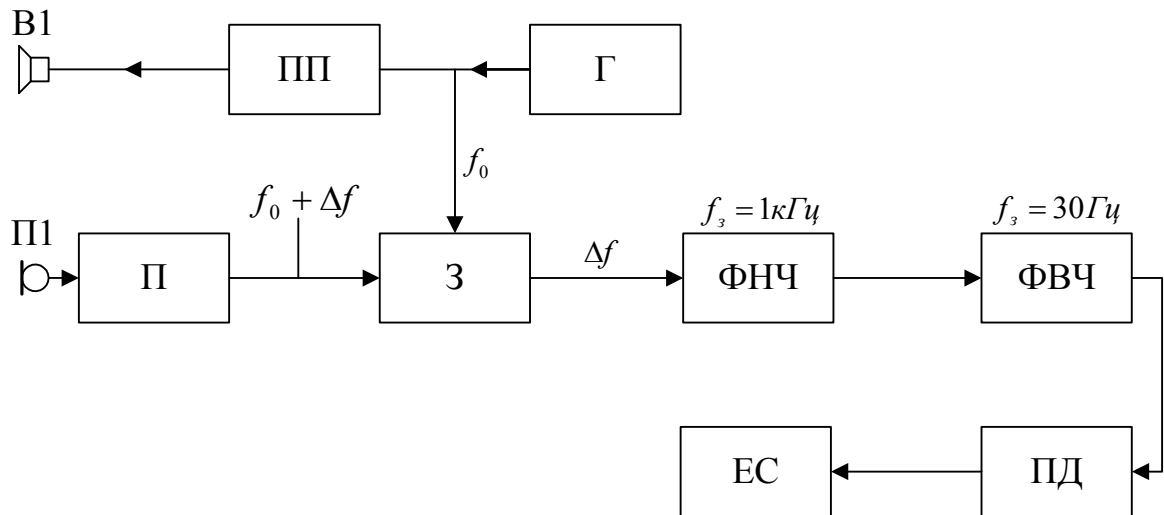


Рис. 3. Структурна схема ультразвукового сенсора на основі ефекту Доплера:

V_1 – випромінювачі; $П_1$ – приймачі; ПП – підсилювач потужності; Г – генератор; П – підсилювач; З – змішувач; ФНЧ – фільтр нижніх частот; ФВЧ – фільтр верхніх частот; ПД – пороговий детектор; ЕС – елемент сповіщення

Експериментальні дослідження показали, що оптимальною є частота близько 40 кГц. Потужність випромінювання вибирається з міркувань прийнятної економічності, необхідного рівня сигналу, що приймається, і об'єму контролюваного простору.

Вхідний підсилювач П повинен забезпечувати приймання відбитого сигналу в умовах значного коливання його амплітуди. Для зниження впливу завад необхідна висока вибірковість підсилювача в інтервалі $f_0 \pm \Delta f$, де f_0 – робоча частота генератора, Δf – доплерівський зсув, що реально не перевищує 1 кГц.

Відзначимо, що поняття про частотний доплерівський зсув не цілком коректно, оскільки реальний вхідний сигнал матиме частотний спектр. Якщо, наприклад, рухомий об'єкт є цілісною відбиваючою поверхнею, разом з сигналом основної частоти буде присутній сигнал доплерівського зсуву, амплітуда якого буде пропорційна відношенню енергії хвилі, що надходить від об'єкту, до енергії всіх хвиль, що надходять. Інакше кажучи, амплітуда сигналу доплерівського зсуву залежатиме від площі об'єкту.

Якщо хвиля, відбита від рухомого об'єкту, за амплітудою не перевищує суму хвиль, відбитих від стін приміщення, то сигнал після перетворювача матиме фазову, а не тільки частотну модуляцію.

Разом з відбитими від стін, приймач зафіксує і хвилі, відбиті від всіх поверхонь об'єкту, причому амплітуда і частота цих хвиль залежатиме відповідно від площі відбитих поверхонь і від швидкості переміщення їх в просторі. Фазова модуляція відображатиме всі рухи, створені об'єктом.

Якщо має місце зсув частоти Δf , то на виході змішувача (фазового детектора) з'являється змінна напруга цієї ж частоти. Фільтр нижніх частот служить для придушення сигналу несучої частоти f_0 . Фільтр верхніх частот необхідний для встановлення порогу спрацьовування пристрою. Оскільки із-за слабких переміщень середовища в приміщенні не може бути абсолютно стаціонарного поля, на виході фільтру нижніх частот завжди буде присутній сигнал низької частоти (1—10 Гц), що може викликати помилкове спрацьовування пристрою. Для виключення цього ефекту служить фільтр верхніх частот з частотою зрізу близько 30 Гц. Це значення відповідає виявленню тіл із швидкістю руху більше 30 см/с. Пороговий детектор забезпечує випрямлення отриманого сигналу і його формування для приведення в дію елементів сповіщення.

Принцип роботи за ефектом Доплера можна описати так [8]:

$$\Delta f = f - f_0, \quad (1)$$

де

$$f = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c} \cos \alpha \right). \quad (2)$$

Знак \pm визначає рух об'єкту в приміщенні (“+” – наближення об'єкту, “-” – віддалення об'єкту), α – кут, який вектор швидкості \vec{v} утворює з напрямом від приймача до джерела звуку.

Якщо приймач і передавач конструктивно розміщені в одному корпусі і об'єкт рухається строго на сенсор ($\cos \alpha = 1$), то можемо записати, що

$$f = 2f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c} \right). \quad (3)$$

З формули (3) видно, що методична похибка визначається перш за все залежністю вихідної інформації від швидкості звуку в контрольованому середовищі. Крім того, при використанні даного методу існує велика ймовірність виникнення цілого спектру частот, походження якого зумовлене випадковим характером.

Ультразвукові детектори близькості

Такі детектори призначено для охорони не всього приміщення, а лише певного, конкретно визначеного місця, через яке може проникнути порушник [6].

На рис. 4 зображено блок-схему ультразвукового детектора близькості, який складається з блоків випромінювача, приймача, опрацювання та управління і сповіщення [11].

Принцип роботи ультразвукових детекторів близькості такий. Спочатку створюються пачки ультразвукових імпульсів на певній частоті. Потім ці пачки подаються на випромінювач з частотою 40 кГц. Звукова хвиля від передавача

розповсюджується в повітрі радіально із швидкістю звуку, яка складає приблизно 346 м/с при кімнатній температурі. На цю швидкість дещо впливає температура і вологість, а від тиску вона не залежить. Тому швидкість звуку практично не залежить від висоти над рівнем моря. Оскільки звукова хвиля розповсюджується по радіусу, то інтенсивність сигналу зменшується обернено квадрату відстані.

Коли звукова хвиля досягає предмету, то вона відбивається в різних напрямках залежно від форми цього предмету, його орієнтації і властивостей поверхні. Після того, як виявлено відбитий сигнал (визначено достатнє число циклів відбитого сигналу), сенсор відключає блок приймача.

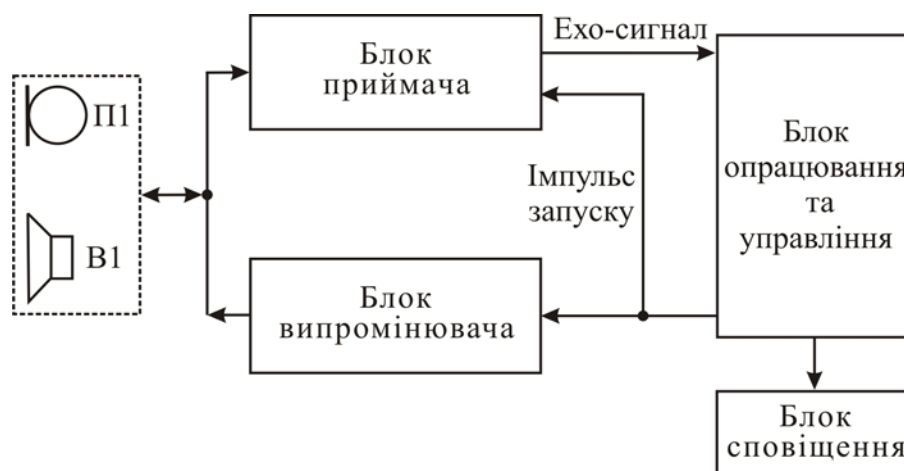


Рис. 4. Блок-схема ультразвукового детектора близькості

Після цього, залежно від методу роботи сенсора, аналізується прийнятий сигнал, і у разі наявності порушника видається сигнал тривоги. Наприклад, можна виміряти час поширення звукової хвилі та визначити відстань до об'єкта. Якщо відстань є меншою або більшою якогось заданого рівня, то спрацює сигнал тривоги [10].

Для пристроїв такого типу характерні два види конфігурації конструктивного розміщення випромінювача та приймача ультразвукового сигналу (рис. 1) [6]: детектор з роздільними випромінювачем та приймачем; детектор з об'єднаними випромінювачем та приймачем.

У першому випадку, ультразвуковий сигнал від випромінювача надходить до приймача, і якщо в полі огляду сенсора ніяких змін не спостерігається, то вся система буде знаходитися в стані очікування. Будь-яке зниження рівня сигналу, який надходить до приймача, або його відсутність, викличуть ввімкнення сигналу тривоги (це може виникнути і при виведенні пристрою з ладу). При такому розташуванні, забезпечується досить високий рівень надійності системи.

При об'єднаному випромінювачі і приймачі ультразвуковий сигнал від випромінювача надходить до контрольованої площі об'єкту захисту, відбивається і потрапляє до приймача. Будь-який об'єкт, котрий з'явиться на шляху поширення ультразвукового сигналу, викличе спрацювання сигналу тривоги. При та-

кому режимі роботи, сигнал з випромінювача повинен бути значно потужнішим, ніж у першому випадку.

Детектори близькості зручно застосовувати у наступних місцях [6]: через приміщення; на виході; навпроти настінного сейфу чи дорогої картини; на проході на горище чи у підвал; у будь-якому іншому місці, де може пройти порушник.

У таблиці наведено технічні характеристики деяких ультразвукових сповіщувачів.

Таблиця – Технічні характеристики ультразвукових сповіщувачів

№ п/п	Характеристика	Тип сповіщувача			
		LH-US/ LH-US-RR	OMNI- US/ OMNI- US-RP	ЭХО-5	УЗС на PSoC- мікро- контролері
1	Діапазон робочих відстаней, м	до 10	5..14	до 10	0,1..4÷10
2	Діапазон робочих частот, кГц	40	40	30..50	30..50
3	Споживаний струм, мА	40..50	33	30	25..55
4	Напруга живлення, В	~120..277	24	10,6..15	6..20
5	Час реакції сенсора, с	–	–	0,5	0,25
6	Температурна компенсація	так	так	так	так
7	Діапазон робочих температур, °С	0..+40	0..+40	0..+50	-25..+75

Для створення системи охоронної сигналізації з підвищеною надійністю роботи, високою завадостійкістю та швидкодією, необхідно розробити нові методи, які ґрунтуються на вимірюванні часових параметрів сигналів.

Висновки

Розглянуто принципи функціонування та особливості роботи ультразвукових сенсорів охоронної сигналізації, які працюють на основі інтерференції звукових коливань та ефекті Доплера; виділено їх переваги та недоліки; розглянуто ультразвуковий детектор близькості; для підвищення надійності охоронних сповіщувачів необхідно розробити нові ультразвукові методи на основі вимірювання часових параметрів сигналів.

Література

1. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. – К.: ТИД Диа Софт, 2002. – 688 с.
2. Лаврус В.С. Охранные системы. Серия "Информационное Издание", 1996. – 125 с.
3. Мокренко П.В. Элементы і пристрої фізичної та електронної охорони об'єктів. – Л: Фенікс, 2000. – 185 с.

4. www.ref.net.ua. Анализ современных оптических ТСО.
5. www.bez.net.ru. Охранные извещатели.
6. www.guarda.ru. Средства охраны и сигнализации.
7. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
8. Біленко І.І. Фізичний словник. – Київ: Вища школа, 1979. – 336 с.
9. Гончар В.К., Золотар А.В. Использование ультразвуковой техники в деятельности правоохранительных органов // Бизнес и безопасность – 2006, № 2. – С. 42–43.
10. Най-Вен Ву. Ультразвуковой детектор “близости” на микроконтроллере фирмы Holtek: перевод и подготовка Раковича Н. // Компоненты и технологии. – 2004, № 8. – С. 172–174.
11. Жданкин В. Ультразвуковые датчики для систем управления // Современные технологии автоматизации. – 2003, №1. – С. 68–79.

<p>Погребенник В.Д., Політило Р.В. Ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації</p> <p>Рассмотрены ультразвуковые сенсоры системы охранной сигнализации, в основу работы которых положены принципы интерференции звуковых колебаний и эффект Доплера; выделены их преимущества и недостатки; предложено усовершенствовать ультразвуковой сенсор путем повышения его помехоустойчивости и быстродействия.</p>	<p>Pohrebennyk V.D., Politylo R.V. Ultrasonic sensors of protective signaling system</p> <p>Ultrasonic sensors of protective signaling system based on acoustic vibrations interference and Doppler's effect, are examined; advantages and disadvantages of these sensors are found out; improvement of ultrasonic sensor parameters by increasing its noise immunity and detection rate is offered.</p>
---	---

Надійшло до редакції
28 січня 2008 року

УДК 681.786:532.61

МЕТОДИКА ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ РІДИН

Біліщук В. Б., Кісіль І. С., Боднар Р. Т., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Запропоновано методику цифрового оброблення зображення обертової краплі для отримання координат точок контуру обертової краплі, що використовуються для подальшого визначення міжфазного натягу рідин. Проаналізовано вплив різних факторів на результат оброблення зображення

Вступ. Постановка задачі

Для вимірювання низьких значень міжфазного натягу (0,01–1 мН/м) на границі розділу фаз двох рідин використовується метод обертової краплі. Однією з методик, що дозволяє вимірювати міжфазний натяг (МН), є методика Воннегута [1], яка передбачає вимірювання діаметру краплі. Ця методика вимагає забезпечення умови, щоб довжина краплі була в 4 рази більша за її діаметр. Інша методика [2] вимагає вимірювання радіусу та половини довжини краплі.

При довготривалих спостереженнях за зміною міжфазного натягу в часі крапля в трубці може переміщуватись через дію різних чинників – градієнт температур в трубці, виникнення осцилюючих течій в рідинах, відхилення осі

обертання трубки від горизонтального положення. Для запобігання переміщення краплі в трубці її закріплюють на металевій дротині, що закріплена в трубці вздовж осі обертання. При цьому міжфазний натяг вимірюють за відомими методиками [3]. Так як дротина впливає на форму краплі, вимірювання особливо низьких значень міжфазного натягу проводиться з значною похибкою. Для запобігання переміщення краплі в трубці в процесі її обертання, краплю рекомендується фіксувати одним кінцем до стінки пробки всередині трубки. Перелічені вище методики не дозволяють визначати МН в такому випадку. Тому необхідно здійснювати аналіз форми краплі в процесі вимірювання МН. Для цього використовується телевізійна система з комп'ютером, яка дозволяє отримати зображення обертової краплі і по отриманому зображенні виміряти всі необхідні параметри краплі. При цьому постає задача оброблення зображення з метою виділення контуру краплі.

В [4] пропонується визначати контур обертової краплі як перепад яскравості в групі послідовних точок методом радіальної розгортки за допомогою спеціального маркера. При застосуванні цього методу для знаходження контуру зафіксованої краплі виникає затруднення – в частині контуру напрям градієнта є перпендикулярним до напрямку сканування, що призводить до втрати частини контуру. Таким чином виникає необхідність розробити принципово нову методику, що дозволить отримати координати точок контуру краплі на основі її зображення.

Реальне зображення обертової краплі може містити ряд об'єктів всередині трубки, що утруднюють пошук контуру краплі простими методами: прилиплих крапель на стінках трубки, пухирці повітря, тощо. Нерівномірне освітлення та наявність шумів на зображенні також впливають на кінцевий результат.

Відома методика оброблення зображення з метою виділення контурів об'єктів на ньому [5], яка включає наступні дії:

- 1) фільтрація зображення оператором Гауса;
- 2) визначення градієнтів яскравості оператором Собела;
- 3) "усунення" немаксимумів.

При обробленні зображення обертової краплі за допомогою цієї методики на зображенні залишаються крім контуру краплі контури інших об'єктів: стінок трубки, пухирців повітря, крапель на стінках трубки. Тому вказану методику необхідно доопрацювати, що забезпечить краще виділення контурів зображення краплі. Модифікована методика включає наступні дії:

- 1) фільтрація зображення оператором Гауса;
- 2) визначення градієнтів яскравості оператором Собела;
- 3) бітонування зображення градієнтів;
- 4) "усунення" немаксимумів;
- 5) подавлення ізольованих точок, що не належать жодному контуру;
- 6) знаходження максимального значення градієнту в рядку зображення;
- 7) зменшення розривів контуру краплі.

Фізико-математична модель

Зображення фіксованої обертової краплі (рис. 1) можна представити як матрицю P розміром $H \times W$ елементів, кожний з яких містить інформацію про яскравість точки зображення (яскравість точки задається числом від 0 до 255). Шуми, що присутні на зображенні, мають значний вплив на результат визначення градієнта яскравості оператором Собела. Причиною появи шумів є теплові шуми в CCD-матриці телекамери. З цією метою здійснюється фільтрація зображення оператором Гауса, що за характером дії є фільтром низьких частот. Найпростішим є оператор, в якому яскравість точки у відфільтрованому зображенні рівна середньомуарифметичному значенню яскравостей сусідніх точок. Такому операторові властивий недолік — спотворення контурів об'єктів на зображенні. Цей недолік суттєво зменшений в операторові Гауса. Фільтрування зображення оператором Гауса здійснюється у вікні розміром $M \times M$ точок, де $M = 3, 5, 7, \dots$. При обробці матриці P отримуємо матрицю F , в якій значення елемента буде обчислюватись за виразом:

$$F_{i,j} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{k=i-N}^{i+N} \sum_{l=j-N}^{j+N} \left(P_{k,l} \cdot e^{-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{\sigma^2}} \right), \quad (1)$$

де i, j – індекси елементів матриць; k, l – індекси елементів матриць всередині вікна; N – половина розміру вікна: $N=(M-1)/2$; σ – середньоквадратичне відхилення розсіювання функції Гауса. Як правило σ вибирається рівним M .

Для отримання необхідного результату фільтрації треба оптимально вибрати розмір вікна M . При збільшенні розміру вікна покращується шумоподавлення, але при занадто великому значенні M суттєво зменшується чіткість контурів об'єктів на зображенні, що має вплив на результат визначення градієнтів яскравості.

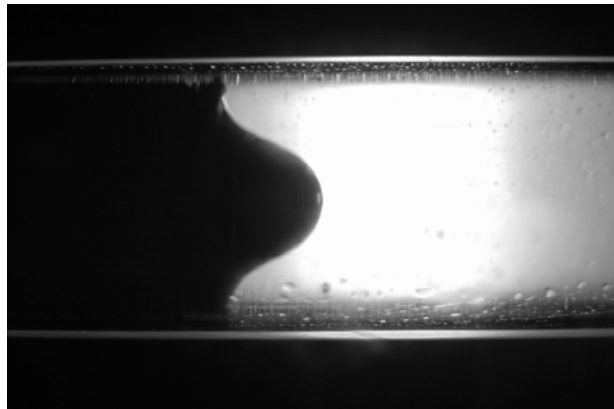


Рис. 1. Фотографія фіксованої обертової краплі в трубці

Для визначення градієнтів яскравості в точці зображення використовується оператор Собела. Градієнт розраховується по рядках (горизонтальний градієнт) та стовпцях (вертикальний градієнт) матриці F . Результатом розрахунку є матриці U та V , значення елементів яких розраховується за виразами:

$$U_{i,j} = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (F_{k,l} \cdot u_{k-i+1,l-j+1});$$

$$V_{i,j} = \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (F_{k,l} \cdot v_{k-i+1,l-j+1}),$$
(2)

де u, v – матриці операторів Собела:

$$u = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}; v = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}.$$

Модуль градієнта $G_{i,j}$ в визначається наступним чином:

$$G_{i,j} = \sqrt{U_{i,j}^2 + V_{i,j}^2}.$$
(3)

Обговорення результатів

В наслідок обчислення за формулою (3) отримуємо зображення контурів. Але отримані контури є нечіткими, товщиною в декілька точок. Щоб отримати зображення контурів товщиною в одну точку необхідно здійснити пошук максимального значення градієнта на певному відрізку (ця дія називається "усуненням" немаксимумів). Довжина відрізка може мати фіксовану величину. Але кращі результати можна отримати, якщо довжина відрізка буде залежати від елемента зображення. Щоб визначити довжину відрізка, на якому буде здійснюватись пошук максимуму градієнта, виконується бітонування матриці G нелінійним оператором. В результаті отримуємо матрицю B , значення елементів якої розраховується наступним чином:

$$B_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{ якщо } G_{i,j} > L; \\ 0, \text{ інакше,} \end{cases}$$
(4)

де L – деякий пороговий рівень, при якому вважається, що елемент матриці G може належати контуру.

Значенням порогового рівня можна задаватись. Для автоматизації роботи програми, для комп'ютера пропонується рівень L визначати як середнє арифметичне значення елементів матриці G , тобто:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H G_{i,j}}{H \cdot W},$$
(5)

де H, W – розміри матриці G .

"Усунення" немаксимумів здійснюється на основі інформації, яка є в матрицях G та B . Суть операції полягає в тому, що здійснюється пошук елемента по рядках та стовпцях матриці G з індексами i, j , який має максимальне значення на відрізку, на якому значення елементів матриці B рівні 255. Створюється матриця GM , в якій елемент з відповідними індексами i, j рівний 255. Значення інших елементів прирівнюється до нуля. Отже матриця GM буде містити зображення контурів об'єктів. Матриця GM містить деяку кількість елементів, що рівні 255, але не на-

лежать жодному контуру — сусідні до них елементи дорівнюють нулю. "Усунення" ізольованих елементів полягає у фільтруванні матриці GM нелінійним оператором у вікні із стороною $M = 3, 5, 7, \dots$. Значення елементів матриці R відфільтрованого зображення розраховуються за виразом:

$$R_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{ якщо } \sum_{k=i-N}^{i+N} \sum_{l=j-N}^{j+N} GM_{k,l} > 255 \cdot N; \\ 0, \text{ інакше,} \end{cases} \quad (6)$$

де $N=(M-1)/2$.

В результаті отримаємо в матриці R зображення контурів об'єктів (рис. 2). Як видно з цього рисунка отримати координати контуру краплі шляхом сканування площини зображення по рядках та стовпцях неможливо, так як на ньому присутня велика кількість контурів інших об'єктів.

Розглянемо значення елементів матриці G у певному рядку та стовпці. Для зручності побудуємо графічну залежність значень елементів матриці G у вибраному рядку (рис.3,а) та стовпці (рис.3,б). Як видно з рис.3,б є 6 максимумів. Два максимуми зліва та справа відповідають градієнту яскравості на зображенні біля стінок трубки. Два крайні максимуми в середній частині графіка відповідають градієнту яскравості на контурі краплі.

Розглянемо зміну градієнту яскравості у рядку зображення. Як видно із рис.3,а на графіку простежується тільки один максимум, що відповідає градієнту яскравості на контурі краплі. Здійснивши пошук у рядках матриці G елемента з максимальним значенням можна однозначно виділити точки, що належать контуру обертової краплі, в яких напрямок градієнта близький до горизонтального.

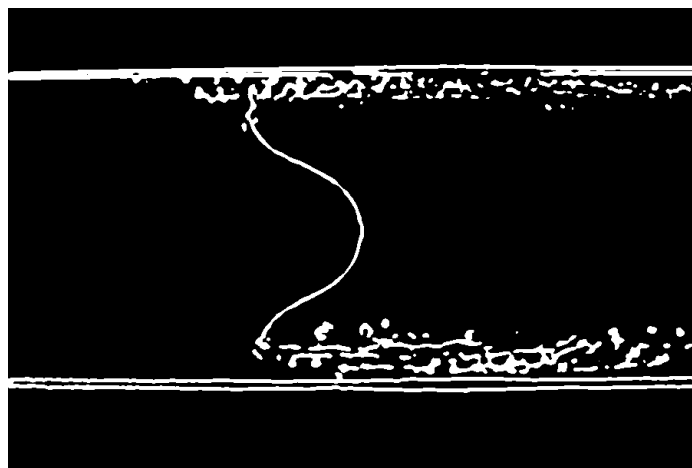


Рис. 2. Зображення обертової краплі після "усунення" не максимумів

Цю дію можна описати виразом:

$$S_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{ якщо } G_{i,j} \in \text{Max}(G_i); \\ 0, \text{ інакше,} \end{cases} \quad (7)$$

де G_i – i -й рядок матриці G ; S – матриця, що містить зображення контуру краплі.

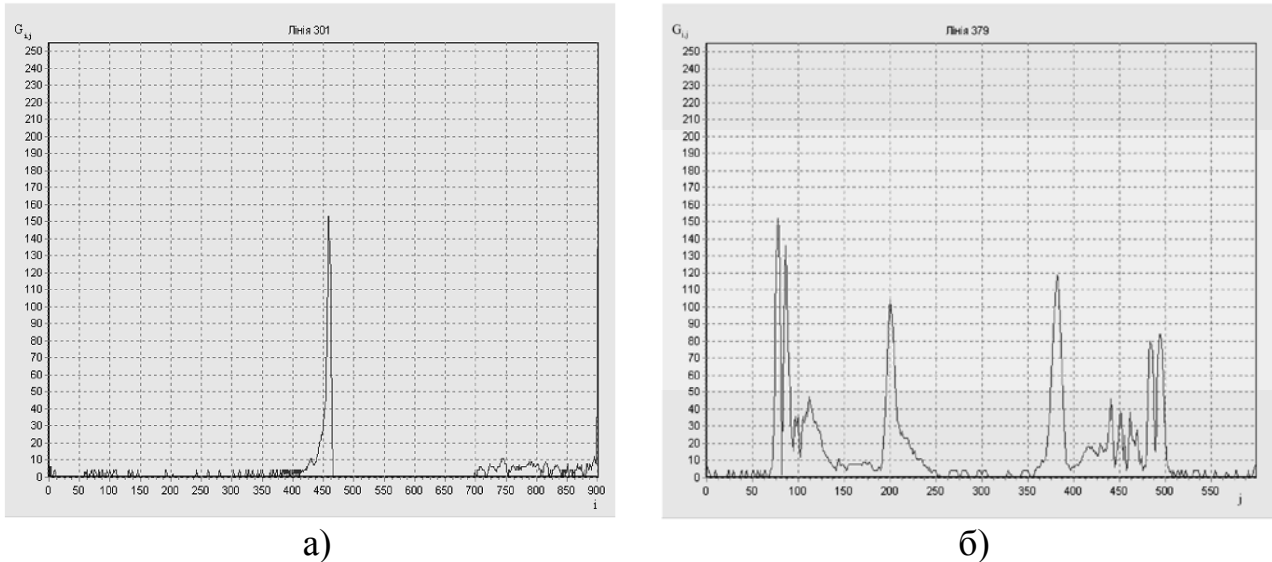


Рис. 3. Зміна градієнта яскравості у вибраних рядку та стовпці зображення згідно рис.1: а – у рядку 301; б – у стовпці 379.

Щоб зменшити величину розривів в контурі краплі можна скористатись розширюючим оператором. Значення елементів матриці S тоді будуть розраховуватись за виразом:

$$S_{i,j} = \begin{cases} 255, \text{ якщо } \left(\sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} S_{k,l} = 255 \right) \wedge (R_{i,j} = 255); \\ 0, \text{ інакше.} \end{cases} \quad (8)$$

Таким чином в матриці S елементи, значення яких дорівнює 255 будуть відповідати контурові краплі. Зображення, побудоване на основі матриці S , приведено на рис. 4. Координати точок контуру краплі із такого зображення можна легко отримати шляхом сканування площини зображення.

Слід зазначити, що для більш точного визначення координат точок можна скористатись алгоритмом визначення максимуму між пікселями [6].

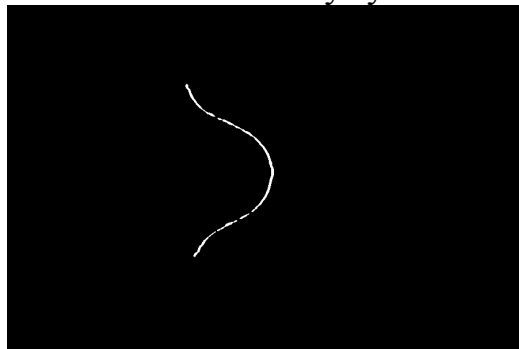


Рис. 4. Контур краплі на обробленому зображенні

Висновки

Отримані координати точок контуру можуть в подальшому бути використані для визначення МН на границі розділу двох фаз шляхом порівняння з координатами теоретично розрахованого контуру. Координати теоретичного контуру отримують числовим розв'язуванням диференційного рівняння, що описує контур обертової краплі для відповідних параметрів рідин і процесу обертання. Запропонована методика може бути використана також для знаходження контуру вільної краплі, що є перспективним напрямком досліджень.

Література

1. Vonnegut B // Rev. Sci. Instr. – 1942, №1. – P. 6–9.
2. Slattery J. C., Chen J. D. // J. Colloid Interface Sci. – 1978. – V. 64. – №2. – P. 371–373.
3. D. D. Joseph, Spinning Rod Interfacial Tensiometer, United States Patent, Patent №4644782, 1987.
4. Порєв В. А., Порєв Г. В., Кісіль Р. І. Виділення контуру обертової краплі методом радіальної розгортки при вимірюванні міжфазного натягу. // Методи та прилади контролю якості. – 2000. – № 6. – С. 32–36.
5. Canny J. A Computation Approach to Edge Detection. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 1986. – Vol. 8, № 6. – P. 679–698.
6. Fisher R. B., Naidu D. K., A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection // Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision. – Springer-Verlag. – 1996. – P. 205–229.

<p>Билишук В.Б., Кисиль И.С., Боднар Р.Т. Методика обработки изображения вращающейся капли при измерении межфазного натяжения жидкостей</p> <p>Предложено методику цифровой обработки изображения вращающейся капли для получения координат точек контура вращающейся капли, что используются для дальнейшего определения межфазного натяжения жидкостей. Сделан анализ влияния разных факторов на результат обработки изображения.</p>	<p>Bilishchuk V.B., Kisil I.S., Bodnar R.T. The method spinning drop image processing for interface tension measuring</p> <p>The method digital image processing of spinning drop is offered for determination coordinates spinning drop shape points. Different factors has been analyzed that impacts to result image processing.</p>
--	--

Надійшло до редакції
24 травня 2008 року