

УДК 621.3.088

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ХВИЛЯМИ ТИСКУ**Є. А. БОРИСЕНКО**

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій і систем, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
email: 4borisea@gmail.com

АНОТАЦІЯ В даній статті проведений аналіз виявлення витоків на трубопроводах, в тому числі магістральних методом хвилі тиску. Розглянуті основні вимоги, що пред'являються до такої системи, визначені основні джерела похибок. Проведений аналіз можливостей застосування відомих методів підвищення точності шляхом компенсації систематичних складових похибки. Розроблено методологія втілення тестового методу, змодельовані результати його застосування. Проаналізовані результати моделювання та зроблені висновки щодо чинників, які визначають точність системи виявлення витоків із застосуванням методів тестового контролю.

Ключові слова: система виявлення витоків, трубопровід, тестові методи, підвищення точності, компенсація похибок, метод хвилі тиску.

THE TEST METHODS IMPLEMENTATION FOR THE ACCURACY IMPROVEMENT OF LEAK DETECTION SYSTEMS BY WAVES OF PRESSURE**E. BORISENKO,**

Department of information-measuring technologies and systems, NTU KhPI, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This paper observes pipeline leaks detection systems. Research is connected with leak detection systems based on pressure waves propagation caused by the leak. The main conditions of leak detecting process that should be satisfied are observed. Theoretical research shows that significant contribution to accuracy degradation causing uncertainty type b growth is the inexact value of the speed of sound, or its changing. The purpose of this research is to find out the ways to improve accuracy of leak location, because it will decrease time lapse to leak elimination and the financial and nature damage will be less. In this paper is observed the leak detection system with digital output. Among the all known methods of accuracy improvement, test methods are promising but less used. The test methods apparatus is developed for the time-of-flight (TOF) devices and analysis shows that pressure wave leak detection system is a kind of TOF systems. Test methods are the type of ways that supposing information excessiveness, which in current case consists in precise distance adding. This additive test is made with the extra pressure sensor, installed in a precise distance from main sensor. This precise distance addition causes respective time addition. Using the math apparatus of test methods allows eliminating systematic error, caused by inexact value of speed of wave propagation. Mathematical modelling was made, it results confirms test method efficiency in accuracy improvement. Implementation of observed method eliminate the pointed error, but it may brought its own errors, if use it the wrong way. The important thing is the ratio of the controlled pipeline length and precise adding distance. Second important thing is the period of cycling pulses: it size also influence the resulting accuracy of leak detection system that uses proposed test method. In conclusion recommendations about test method and value of additive test and factors of resulting uncertainty value are given.

Keywords: leak detection, test method, accuracy improvement, pipeline, pressure waves, accuracy improvement,

Вступ

Станом на сьогоднішній день Україна має розгалужену систему трубопроводів та є одним з ключових транзитерів на теренах Європи, з'єднуючи видобувачів нафти і газу із споживачами цих продуктів [1].

На українську сторону накладаються певні обов'язки, пов'язані із забезпеченням транспортування продукту через її територію. Це означає, що при виникненні втрат продукту при його транспортуванні будуть виникати фінансові претензії до української сторони.

Втрати продукту може бути або при виникненні витоків, або при розкраданні речовини що транспортується через незаконні врізки. Виток крім

очевидних фінансових втрат є причиною екологічних лих. Так, розливи нафти призводять до загибелі флори і фауни, сільськогосподарські угіддя приходять в непридатність, забруднюються водойми, річки і ґрунтові води [2].

Крім того на теренах України існує чимало нафтопродуктопроводів. Цей вид трубопроводів з'єднує в єдину систему підприємства видобутку і переробки нафтопродуктів. По таким трубопроводам перекачується бензин, керосин та інші види палива. Витоки таких речовин має більш відчутні фінансові наслідки. Являючи собою легкозаймисті речовини палива при витоках можуть спричинити масштабні пожежі.

Територією України проходять і трубопроводи із специфічними та токсичними речовинами.

Наприклад через харківську область з Росії заходить аміакопровід і прямує далі через територію України до Одеси. Оперативне виявлення витоків таких речовин виглядає не менш важливим [3].

Крім того, трубопровідний транспорт широко застосовується у комунальному господарстві в містах для забезпечення населення водою, опаленням, природним газом.

Все це призводить до того, що виявлення витоків є важливим завданням, причому ключовими факторами є:

- швидкість встановлення факту витoku;
- швидкість встановлення місця витoku;
- точність встановлення місця витoku.

До теперішнього часу розроблено багато методів виявлення витоків, найбільш поширеними серед них є [4]:

- метод гідравлічної локації витoku
- метод моніторингу тиску
- метод зворотних хвиль тиску
- метод лінійного балансу
- метод порівняння витрат
- метод акустичної емісії
- зондовий метод

Серед перерахованих методів широке застосування знаходить метод хвиль тиску [5, 6]. Це обумовлено такими його перевагами

- можливість здійснення безперервного контролю витoku;
- високу швидкість при виявленні витoku на ділянках трубопроводу великої протяжності;
- простота алгоритму виявлення витoku;
- простота налаштування і зміни порогу спрацьовування і вибіркості чутливого елемента.

Як вже зазначалося, важливим є точність та оперативність визначення місця витoku, тобто система в ідеалі повинна відповідати обом вимогам одночасно. Але на сьогодні системи або швидко і не досить точно визначають місце витoku, або можуть точно визначити місце, але це потребує багато часу чи вимагає проведення спеціальної процедури.

В більшості випадків остаточне місцезнаходження витoku визначається за допомогою людського персоналу, що не задовольняє вимогам часу за швидкістю, безпекою та супровідними витратами.

Мета роботи

Для виявлення витoku на ділянці трубопроводу довжиною L на кінцях цієї ділянки встановлюють два перетворювача тиску. При появі витoku по трубопроводу поширюється зворотна хвиля тиску (рис. 1). Фронт цієї хвилі досягає перетворювачів тиску в моменти часу, різниця між якими становить Δt . Відстань від місця витoku до кінця ділянки

довжиною L визначається як.
$$x = \frac{L}{2} + \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

У джерелах [4 - 6] інформації вказується, що метод негативних ударних хвиль забезпечує високу точність визначення місця витoku (до 0,1%). Однак, така точність може бути забезпечена лише за умови знання точного значення швидкості звуку. Значення швидкості звуку залежить від ряду факторів, таких як температура середовища, склад середовища, тиск [7].

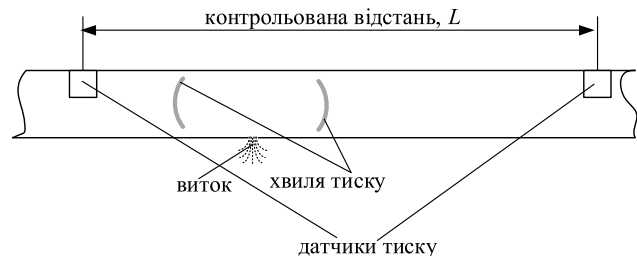


Рис. 1 – Принцип дії системи визначення витoku методом зворотної хвилі тиску

Трубопроводи найчастіше лежать під поверхнею землі, де температура стабільна. Однак при прокладці трубопроводу в специфічних місцевостях, таких як місця сильної заболоченості, місця залягання гірської породи, або при подоланні водних перешкод деякі ділянки монтують на відкритому повітрі. Більш впливовим фактором, що приводить до зміни температури продукту в трубопроводі виникає тоді, коли розглядають трубопровід значної протяжності. У цьому випадку починає позначатися зміна температур в різних кліматичних зонах. При переміщенні продукту з приполярних широт в субтропічні температура транспортованого продукту може змінюватися на десятки градусів.

Точний хімічний склад продукту, що транспортується в деяких випадках також може бути невідомий. Причиною тому може бути зміна частки продукту що надходить з різних родовищ. Частка домішок у продукті що транспортується в цьому випадку буде змінюватися. Причому залежність зміни швидкості звуку від зміни концентрації різних домішок неоднакова.

Крім того, швидкість звуку в трубах залежить від ряду величин, таких як об'ємне вміст газу по диспергованій фазі (для рідин), пружність газової фази, модуль пружності твердої фази та ін. Все це в підсумку може призвести до істотного зростання похибки визначення місця виникнення витoku.

Все це негативно впливає на розрахунок точного значення швидкості звуку, а отже і на точне визначення місця виникнення витoku.

Метою даного дослідження є пошук засобів підвищення точності визначення місця витoku методом зворотних хвиль тиску шляхом компенсації похибки, внесеної неточним значенням швидкості поширення звуку в середовищі що транспортується.

Викладення основного матеріалу

Рішенням такого завдання може бути встановлення всередині трубопроводу додаткових датчиків, з метою визначення точного значення швидкості звуку. Поширеним методом для визначення швидкості розповсюдження звуку є вимірювання часу, за який звуковий імпульс пройде від випромінювача до приймача, встановлених на відстані, відомій з високою точністю. Недоліком такого підходу є те, що на цій еталонній відстані за певних умов можуть бути присутніми неоднорідності потоку, викликані турбулентністю і неоднорідністю самого продукту, що транспортується. Крім того такий підхід дещо ускладнює структуру приладу, а контрольний звуковий сигнал може бути сприйнятий датчиками вимірювання тиску (при достатній їх чутливості) як хвиля тиску, що призведе до помилкового спрацювання.

Станом на сьогодні розроблено і впроваджуються кілька методів підвищення точності [8]. Частина з них, такі як усереднення результату застосовні для зменшення випадкової складової похибки, тоді як зміна швидкості звуку під дією факторів що впливають є систематичною похибкою. У зв'язку з цим застосування таких методів підвищення точності відкидається. Коротко розглянемо методи зменшення систематичної похибки і проаналізуємо доцільність їх застосування.

Метод обмеження умов застосування засобів вимірювань ефективний, якщо домінують додаткові похибки засобів вимірювань, які викликані істотними відхиленнями дійсних значень зовнішніх впливають величин від їхніх значень, прийнятих відповідними нормативними документами в якості нормальних. Однак у випадку трубопровідного транспорту застосування такого методу підвищення точності не представляється можливим оскільки зовнішні фактори змінюються в досить широких межах.

Метод індивідуального градування засобів вимірювань ефективний при усуненні постійних або повільно мінливих похибок. У разі трубопровідного транспорту теоретично можливо передбачити внесення поправок, отриманих при індивідуальному градуванні при різних значеннях впливаючих величин. Але в такому разі потрібно визначати значення цих величин при роботі трубопроводу вздовж його довжини. І якщо з температурою особливих труднощів виникнути не повинно, то визначення складу досить громіздка задача.

Метод порівняння з мірою заснований на тому, що розмір вимірюваної величини порівнюють за допомогою компаратора з розміром величини, що відтворюється мірою, а шукане експериментальне значення величини розраховують за отриманими значеннями показань компаратора і номінальному значенню міри. Реалізація такого методу видається проблемною з урахуванням того, що вона передбачає створення штучної хвилі зворотного тиску при

величині x , відомою з високою точністю. Варіацією цього методу є розглянутий вище метод, що передбачає визначення швидкості поширення звуку від випромінювача звуку до його приймача, між якими встановлена відоме з високою точністю відстань.

Метод зворотного перетворення застосовують при автоматичній корекції похибки засобів вимірювань. Для реалізації цього методу використовують зворотній перетворювач, реальна статична функція перетворення (СФП) якого збігається з функцією, що зворотна до номінальної характеристики перетворення засобу вимірювань, що підлягає коректуванню. Для розглянутого методу видається дуже складним реалізація такого перетворювача, що має точно відому і стабільну СФП.

Тестові методи підвищення точності вимірювань застосовують в різних вимірювальних системах для вимірювань як електричних, так і неелектричних величин [8, 9]. Сутність тестових методів підвищення точності вимірювань полягає у визначенні параметрів СФП за допомогою додаткових перетворень – тестів, кожен з яких функціонально пов'язаний з вимірюваною величиною. Тестові методи підвищення точності вимірювань дозволяють знизити систематичні і квазісистематичні похибки. Для реалізації тестових методів застосовують два види тестів. Адитивний тест – полягає в еталонному прирощенні вимірюваної величини. Мультиплікативний тест полягає в еталонній зміні коефіцієнта перетворення СФП перетворювача, похибку якого прагнуть зменшити.

Розглянутий перетворювач, що працює на прийом зворотної хвилі тиску, є складовим, тобто він складається із блоків, що фізично не є одним цілим. Ще однією його особливістю є те, що він являє собою перетворювач інтервального типу, тобто в ньому здійснюється проміжне перетворення вимірюваної величини на інтервал часу [11]. Раніше було розроблено методологію впровадження тестових методів для приладів інтервального типу [12]. В даному дослідженні зроблена спроба застосувати цю методологію до приладу виявлення витoku.

СФП досліджуваного приладу при розгляді з боку виходу має вигляд $\Delta t = \frac{2x - L}{c}$. Якщо врахувати,

що при розгляді мова йде про цифровий прилад, тоді СФП стане $N_x = \frac{\Delta t}{T_0} = \frac{2x - L}{cT_0}$. Фактична функція

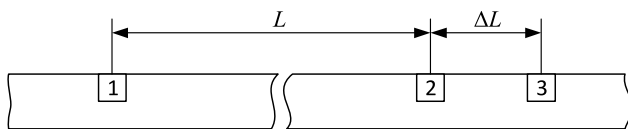
перетворення з урахуванням похибки буде виглядати наступним чином: $N_x = \frac{2x - L}{c_0(1 + \delta_m)T_0}$, де

c_0 - швидкість звуку при деяких нормальних умовах і відомому складі продукту, що транспортується, δ_m - мультиплікативна похибка зміни швидкості звуку. Згідно з методологією тестових методів, для

компенсації адитивної і мультиплікативної похибки необхідно створити адитивний і мультиплікативний тест. Оскільки в даному дослідженні розглянутий прилад виявлення витoku має переважно мультиплікативну похибку, то для її компенсації необхідно створити адитивний тест. Для цього на відомій з високою точністю відстані від основного датчика тиску ставиться додатковий (рис. 2).

При виникненні негативної хвилі тиску інтервал часу між реєстрацією цієї хвилі основними датчиками 1 і 2 складе Δt_1 , а інтервал часу між приходом хвилі на датчики 1 і 3 – Δt_2 . Кількість імпульсів, що відповідають цим інтервалам при їх квантуванні буде виглядати $N_{x1} = \frac{2x-L}{c_0(1+\delta_m)T_0}$ для Δt_1 , і $N_{x2} = \frac{2x-L+\Delta L}{c_0(1+\delta_m)T_0}$ для Δt_2 . Відношення цих послідовностей імпульсів буде виражено як

$$\frac{N_{x2}}{N_{x1}} = \frac{2x-L+\Delta L}{c_0(1+\delta_m)T_0} \cdot \frac{c_0(1+\delta_m)T_0}{2x-L}$$



1,2 – основні датчики тиску
3 – додатковий датчик тиску

Рис. 2 – Структура, що реалізує еталонне приручення відстані (адитивний тест)

Після нескладних математичних перетворень отримаємо вираз для x :

$$\hat{x} = \frac{L(N_{x2} - N_{x1}) + N_{x1}\Delta L}{2(N_{x2} - N_{x1})}$$

Застосоване позначення x замість \hat{x} застосоване для відокремлення результату вимірювання від результату, що отриманий внаслідок застосування тестових методів і являє собою відкоректований результат вимірювання.

Обговорення результатів

З останнього виразу видно, що на результат вимірювання не впливає похибка значення швидкості поширення ударної хвилі (швидкість звуку).

З метою перевірки правильності запропонованого методу підвищення точності виявлення місця витoku було проведено математичне моделювання застосування адитивного тесту. Результати моделювання представлені в таблиці 1.

З отриманих значень випливають висновки:

- результати математичного моделювання підтверджують припущення, що застосування тестових методів, а саме адитивного тестування, здатне компенсувати мультиплікативну похибку неточного значення швидкості розповсюдження хвилі тиску;

- застосування досліджуваного методу підвищення точності в цифровому приладі призводить до появи ще однієї складової похибки, викликаної квантуванням вихідного сигналу (інтервалу часу) імпульсами стабільної частоти;

Таблиця 1 – Математичне моделювання виявлення місця витoku хвилею тиску із застосуванням тестового методу

Значення швидкості поширення хвилі тиску; містить мультиплікативну похибку $c_0(1+\delta_m)$, м/с	1200	1150	1300	1300	1300	1300	1300
Довжина відтинка, L , м	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Відстань до місця витoku від початку відтинку x , м	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Період слідування квантуючих імпульсів T_0 , мкс	1	1	1	100	100	1	0,0001
Тестова відстань ΔL , м	10	10	10	10	2	2	100
Кількість імпульсів N_{x1}	3333333	3478261	3076923	30769	30769	3076923	30769
Кількість імпульсів N_{x2}	3325000	3469565	3069231	30692	30754	3075385	30000
Оцінка значення \hat{x} , отримане із застосуванням тестового методу	2999,92	3000,08	2999,92	3002,01	2948,73	2999,4	2999,41
Похибка значення \hat{x} із застосуванням тестового методу $\xi = \hat{x} - x$	-0,08	0,08	-0,08	2,01	-51,27	-0,6	-0,59

- розмір похибки ξ зворотно пропорційний періоду T_0 і розміру адитивного тесту ΔL .

У теоретичних дослідженнях застосування тестових методів зазначено, що адитивна прирощення вимірюваної величини слід вибирати не менше, ніж 10% її значення. У розглянутому випадку важливим є співвідношення розмірів адитивного тіста і періоду проходження квантуючих імпульсів. При зменшенні ΔL слід збільшити T_0 . Занадто велике значення адитивного тесту може привести до істотної похибки, викликаній нелінійністю СФП перетворювача, що підлягає коректуванню.

Особливістю розглянутого тестового методу є те, що він підвищує точність результату вимірювання, при цьому метрологічні характеристики перетворювача, що підлягає коректуванню не важливі. Головне, щоб ці характеристики не змінювалися в процесі тестування. При виконанні даного дослідження зроблено припущення про достатньо мале значення адитивної похибки перетворювача, що підлягає коректуванню. Критично важливим є проводити основне вимірювання і вимірювання з адитивним тестом у близькі моменти часу, щоб не допустити впливу змін параметрів середовища всередині трубопроводу. В даному випадку такі зміни будуть породжувати динамічну похибку.

Висновки

В даній статті запропоновано застосування тестових методів для підвищення точності визначення місця витoku на трубопроводі методом зворотної хвилі тиску. Показано, що фактором, що може істотно знизити точність визначення місця витoku на трубопроводі є зміна швидкості розповсюдження хвилі тиску або неточне значення цієї швидкості. Розроблено методологію впровадження методу тестового контролю за рахунок еталонного прирощення контрольованої ділянки трубопроводу. Проведене математичне моделювання підтверджує попередні висновки про доцільність запровадження описаного методу.

Зазвичай тестові методи передбачають застосування адитивного та мультиплікативного тесту. Для приладів інтервального типу, до яких належить розглянутий прилад виявлення витoku, також застосовувався такий підхід. В даній публікації показано, що при мізерно малій адитивній похибці застосування окремого адитивного тесту компенсує мультиплікативну похибку, чим значно підвищує точність визначення місця витoku, що в певних умовах є критично важливим.

Список літератури

1 Транспортування природного газу // [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3375A8575C8884D0C22571010035B9D2>

- 2 **Побережний, Л. Я.** Вплив аварій нафтогазопроводів на довкілля / **Л. Я. Побережний** // *Екологія і промисловість*. – 2007. – № 3. – С. 20 - 24.
- 3 **Березин, В.** Аварія на амміакопроводі: свищ под землею і свищ в головах / **Владимир Березин** // [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.konstantinovka.com.ua/node/16841>
- 4 **Кутуков, С. Е.** Проблема підвищення чутливості, надійності і швидкодії систем виявлення утечек в трубопроводах / **С. Е. Кутуков** // [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2004/29-45.pdf
- 5 **Латыпов, А. Ф.** О применении цифровых датчиков давления в системах обнаружения утечек / **А. Ф. Латыпов, А. А. Князев, В. Д. Ковшов** // [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ogbus.ru/authors/Latypov/Latypov_1.pdf
- 6 **Chuanhu Ge.** Analysis of the smallest detectable leakage flow rate of negative pressure wave-based leak detection systems for liquid pipelines / **Chuanhu Ge, Guizeng Wang, Hao Ye** // *Computers & Chemical Engineering*. – 2008. – Volume 32, Issue 8. – P. 1669 - 1680
- 7 **Torbjörn Löfqvist** Speed of sound measurements in gas-mixtures at varying composition using an ultrasonic gas flow meter with silicon based transducers / **Torbjörn Löfqvist, Kęstutis Sokas, Jerker Delsing** // *Luleå University of Technology* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pure.ltu.se/portal/files/60931/artikel.pdf>
- 8 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений: РМГ 64-2003. – [Введен 2005-01-01]. – М.: Издательство стандартов. – 2004. – 17 с. (Рекомендации по межгосударственной стандартизации)
- 9 **Бондаренко, Л. Н.** Формирование алгоритмов повышения точности измерений электрических величин / **Л. Н. Бондаренко, Д. И. Нефедьев** // *Измерительная техника* – М.: ФГУП "Стандартинформ". – 2007. – №6. – С. 59-62.
- 10 **Кондрашов, С. И.** Методология тестового контроля метрологических характеристик средств измерений / **С. И. Кондрашов** // *Системы обработки информации* – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2006. – вип. 7. – С. 97–98..
- 11 **Шабатура Ю. В.** Технологія вимірювання на основі представлення значень вимірюваних величин часовими інтервалами / **Шабатура Ю. В.** – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 324с.
- 12 **Гусельников, В. К.** Тестовые методы повышения точности цифровых преобразователей интервального типа / **В. К. Гусельников, Е. А. Борисенко** // *Современные тенденции развития приборостроения: сборник тезисов докладов научно-технической конференции*, (Луганск, 19–20 ноября 2012 г.). – Луганск: СНУ ім. В. Даля. – 2012. – С.56 - 58

Bibliography (transliterated)

- 1 Natural gas transportation // [Web] <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3375A8575C8884D0C22571010035B9D2>
- 2 **Poberezhny, L. Y.** The effects of an accident of oil and gas pipelines on the environment. *Ecology and industry*, 2007, 3, 20-24..
- 3 **Berezin, V.** The accident at the ammonia: the underground fistula and fistula in the heads [Web] <http://www.konstantinovka.com.ua/node/16841>

- 4 **Kutukov, S. E.** Problema povysheniya chuvstvitel'nosti, nadezhnosti i bystrodeystviya sistem obnaruzheniya utechek v truboprovodakh [Web] http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2004/29-45.pdf
- 5 **Latypov A. F., Knyazev, A. A., Kovshov, V. D.** Digital sensors implementation in leak detection systems [Web]: http://ogbus.ru/authors/Latypov/Latypov_1.pdf
- 6 **Chuanhu Ge., Guizeng Wang, Hao Ye** Analysis of the smallest detectable leakage flow rate of negative pressure wave-based leak detection systems for liquid pipelines. *Computers & Chemical Engineering.*, 2008, **32**(8), 1669 - 1680
- 7 **Torbjörn Löfqvist, Kęstutis Sokas, Jerker Delsing** Speed of sound measurements in gas-mixtures at varying composition using an ultrasonic gas flow meter with silicon based transducers. *Luleå University of Technology* [Web]: <http://pure.ltu.se/portal/files/60931/artikel.pdf>
- 8 Ensuring the effect of measurements by the control of technological processes. Methods and ways of the measuring accuracy rise: RMG 64-2003. – [Implemented 2005-01-01]. – Moscow: Izdatelstvo standartov, 2004, 17 p.
- 9 **Bondarenko, L.N., Nefedev, D. S.** Formation of algorithms of accuracy rising of electrical quantities, *Measuring technics*, Moscow: "STANDARTINFORM", 2007, **6**, 59 - 62.
- 10 **Kondrashov, S. I.** The methodology of the test control of metrological characteristics of measuring instruments. *Information processing systems*. Kharkiv: KhAFU named after I. Kozhedub, 2006, **7**, 97 - 98..
- 11 **Shabatura Y.Y.** Measurement technology based on the representation of the values of the measured quantity with time intervals/**Shabatura Y.V.**-Vinnitsa: VNTU, 2010. – 324 p.
- 12 **Guselnikov, V. K., Borisenko, E. A.** Test methods of interval type digital converters accuracy improvement. *Modern trends in the development of instrumentation: abstracts of reports of scientific-technical conference*, (Lugansk, 19–20 nov. of 2012). Lugansk: EUNU named after V. Dal', 2012, 56 - 58.

Відомості про авторів (About authors)

Борисенко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем м. Харків, Україна; e-mail: 4borisea@gmail.com.

Eugene Borisenko – (Ph. D.), docent of information-measuring technologies and systems dept., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: 4borisea@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Борисенко, Є. А. Застосування тестових методів для підвищення точності системи виявлення витоків хвилями тиску / **Є. А. Борисенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 6-11. – ISSN 2079-5459.

Please cite this article as:

Borisenko, E. The test methods implementation for the accuracy improvement of leak detection systems by waves of pressure. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 6 - 11, ISSN - 2079-5459.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Борисенко, Е. А. Применение тестовых методов для повышения точности системы обнаружения утечек волнами давления / **Е. А. Борисенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 6 - 11. – ISSN 2079-5459.

АННОТАЦІЯ В даній статті проведено аналіз методів виявлення утечек на трубопроводах, в том числі магістральних методом волни тиску. Розглянуті основні вимоги, пред'являемі до такої системи, визначені основні джерела похибок. Проведено аналіз застосування відомих методів підвищення точності шляхом компенсації систематичних складових похибок. Розроблено методологію реалізації тестового методу, смодельовано результати його застосування. Проаналізовані результати моделювання і зроблені висновки щодо джерел визначаючих точність системи виявлення утечек з застосуванням методів тестового контролю.

Ключові слова: система виявлення утечек, трубопровід, тестові методи підвищення точності, компенсація похибок, метод волни тиску.

Надійшла (received) 15.12.2015