

П.В. Бугайцова<sup>1</sup>, В.О. Яцук<sup>1</sup>, О.О. Костеров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,

<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут “СИСТЕМА”

## ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ НЕПЕВНОСТІ У ВИМІРЮВАННІ ЗВУКОВОГО ТИСКУ В АКУСТИЧНОМУ ЕТАЛОНІ

© Бугайцова П.В., Яцук В.О., Костеров О.О., 2008

**Розглянуто особливості оцінювання невизначеності еталона звукового тиску в повітряному середовищі. За допомогою методу Монте-Карло виконано моделювання розподілу густини ймовірності вихідної величини при зміні невизначеності вхідних величин: температури, тиску та вологості при 100000 “спостереженнях”.**

**The verification peculiarity of uncertainty of standard of pressure in an air are considered. Simulation of probability density distribution of output quantity have been conducted at a change of uncertainty of input quantities: temperature, pressure and humidity at 100000 “trials”.**

**Вступ.** Акустичні вимірювання в Україні, як і в інших розвинутих країнах, застосовуються в усіх галузях народного господарства, а також у медицині, біології, охороні довкілля, в науці. Неможливо уявити без акустичних вимірювань такі галузі, як звукозапис, зв'язок, контроль шумових характеристик літаків, машин, охорону праці, діагностику слуху тощо. У зв'язку з розвитком міжнародної співпраці, вступом до Світової організації торгівлі та поступовим входженням України в європейський та світовий економічний простір, розширюються масштаби застосування акустичних вимірювань, значно підвищуються вимоги до точності результатів вимірювання [1].

**Постановка задачі досліджень.** Для підвищення точності акустичних вимірювань необхідно враховувати все більше чинників, що впливають на результат вимірювання, будувати адекватніші моделі вимірювань, об'єкт вимірювання розглядати як випадкову величину або випадковий процес, оцінювати його на основі багаторазових спостережень. В результаті модельні функції ускладнюються і стають нелінійними.

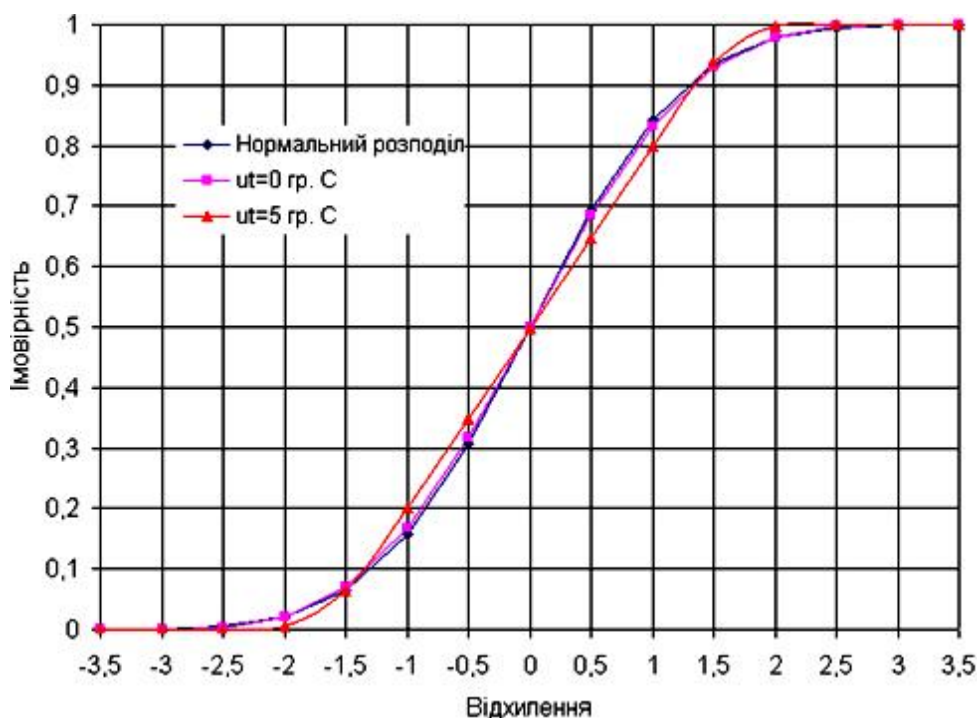
Використання аналітичного методу є надто трудомістким та принципово недоцільним. Тому були впроваджені числові методи оцінки точності вимірювань: метод числового диференціювання і метод імітаційного моделювання (метод Монте-Карло). Метод числового диференціювання є гнучкішим і менш трудомістким порівняно з аналітичним методом. Він дає можливість отримати коректнішу апіорну оцінку характеристик точності у всьому просторі вхідних параметрів, додаткову інформацію про модельну функцію, оцінити ступінь впливу окремих вхідних величин на кінцевий результат і спрогнозувати апіорну оцінку невизначеності за тих чи інших умов. Однак в методі числового диференціювання, як і в аналітичному методі, вважається, що вихідна величина розподілена за нормальним законом. Справді, з граничної теореми випливає, що згортка розподілу густини ймовірності прямує до нормального закону із збільшенням кількості вхідних величин [2]. Але саме ця умова часто не виконується. Знайти границі, в межах яких ще можна використовувати наближення до нормального розподілу, можна експериментально, набравши необхідний обсяг

даних. Однак для отримання статистично достовірних даних, особливо на краях розподілу, необхідно набрати декілька тисяч спостережень, що нереально ні з організаційного, ні з технічного, ні з економічного погляду. Розв'язати цю задачу можна лише імітаційним моделюванням вимірювання.

**Мета досліджень.** Метою цієї статті є дослідження можливих змін у вимірюванні непевності відтворення одиниці звукового тиску на еталоні, залежно від непевності: атмосферного тиску, вологості, температури.

**Метод імітаційного моделювання.** Ідея імітаційного моделювання полягає в такому: в модельну функцію кожного разу під час розрахунку вихідної вимірюваної величини підставляються випадкові значення вхідних величин, кожна з яких варіює довкола свого номінального значення в межах інтервалу невизначеності відповідно до свого закону розподілу густини ймовірності із урахуванням кореляційних зв'язків. Коефіцієнт кореляції також розглядається як випадкова величина, котра варіює довкола свого середнього значення. Отриманий в процесі багаторазових спостережень масив значень вихідної величини обробляють статично [3].

Встановлюється фактичний розподіл вихідної (вимірюваної) величини, який містить повну інформацію про результат вимірювання. З нього можна одержати середнє  $M$ , дисперсію  $D$ , середнє квадратичне відхилення (СКВ)  $S_x$  і, за необхідності, коефіцієнт асиметрії  $S_k$ , ексцес та інше, не вдаючись до будь-яких додаткових припущень. Зокрема, безпосередньо з інтегрального розподілу за вибраного рівня довірчої ймовірності можна отримати надійну оцінку розширеної невизначеності за довільного закону диференціального розподілу вихідної величини (рис. 1).



*Рис. 1. Залежність інтегрального розподілу вихідної величини при рівномірному розподілі вхідних величин від невизначеності вимірювання температури при 100000 "спостережень"*

Зникає потреба в попередньому розрахунку коефіцієнта охоплення. Навпаки, якщо виникає необхідність мати інформацію про коефіцієнт охоплення, то його можна одержати через визначену наведеним вище способом розширену невизначеність.

Відповідно, розширена невизначеність при рівні довірчої імовірності  $P=0,95$  (див. рис. 1) в першому випадку дорівнює  $1,93 \sigma$  ( $\sigma$  – значення СКВ), а в другому –  $1,7 \sigma$ . Отримане в першому випадку значення коефіцієнта охоплення  $k=1,93$  близьке до рекомендованого  $k=2$ , а при збільшенні температури до  $5^\circ\text{C}$  істотно зменшується до  $1,7$ .

**Результати імітаційного моделювання.** Загальна методика оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні на державному первинному еталоні одиниці звукового тиску в повітряному середовищі – методом взаємності у квазістатичному полі (“за тиском”) у камері малого об’єму – регламентована міжнародним стандартом ІЕС 61094-2 [4,5].

Згідно з ІЕС 61094-2 потрібно подавати чутливість мікрофона при таких опорних умовах ( $t_r = 23^\circ\text{C}$ ,  $p_r = 101325\text{ Па}$ ,  $H_r = 50\%$ ). Проте насправді умови довкілля швидко змінюються, вносячи корективи у результат оцінки вихідної величини невизначеності еталона звукового тиску. Було виконане імітаційне моделювання методом Монте-Карло при зміні невизначеності температури, тиску та вологості при 100000 “спостережень”. Для одержання достовірного значення розширеної невизначеності, яка має виражатися не більше як двома значущими цифрами, необхідно мати вибірку не менше ніж 10000 “спостережень”. Крива розподілу є гладкою та статистично стійкою (рис. 2), при об’ємах вибірки не менше ніж 10 тис. і 100 тис. “спостережень”

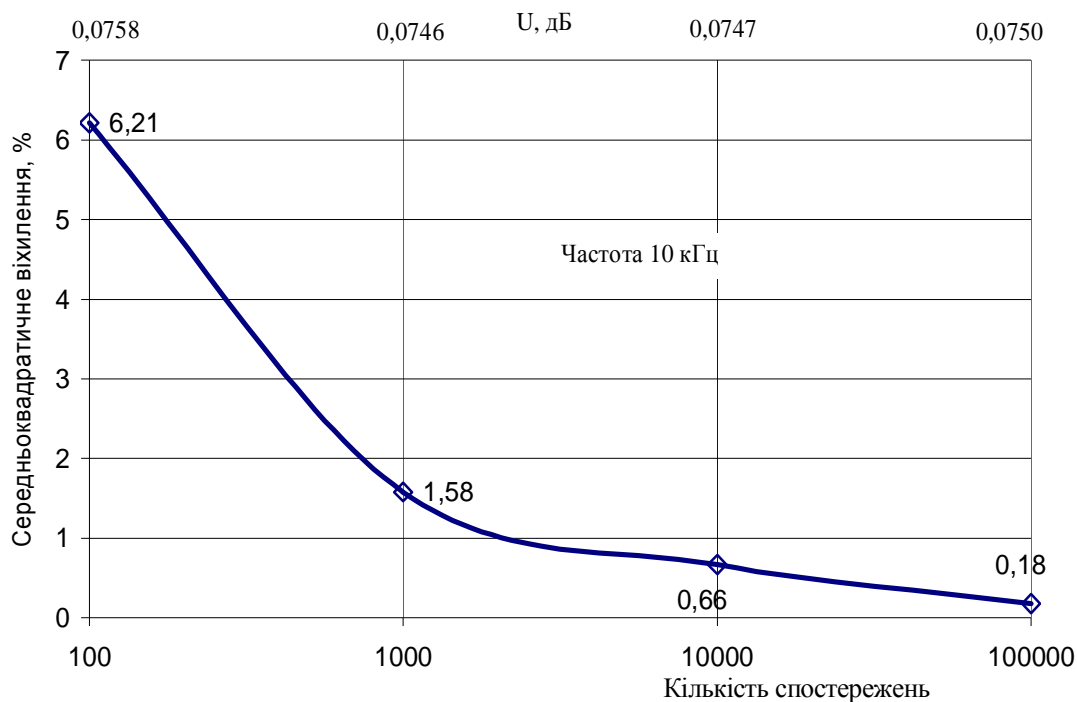


Рис. 2. Залежність СКВ розширеної невизначеності від кількості “спостережень”

З результатів виконаного імітаційного моделювання при зміні невизначеності вимірювання тиску і вологості (відповідно рис. 3 та рис. 4) для частот 250 Гц, 8 кГц, 10 кГц, закон розподілу вхідних величин істотно не відхиляється від нормального і не змінює свого вигляду.

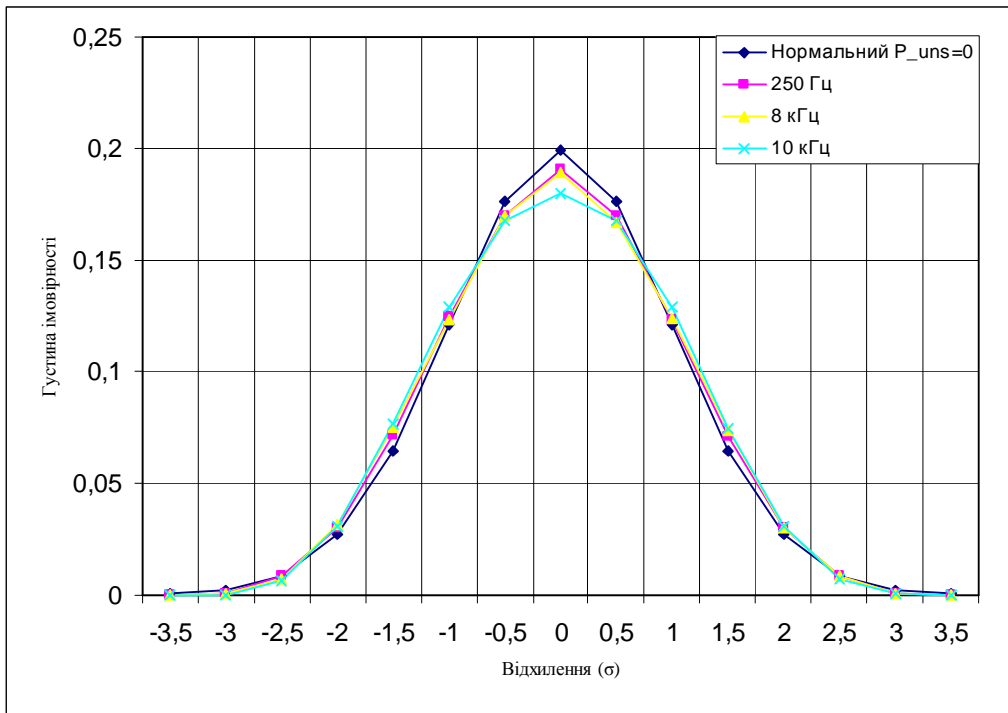


Рис. 3. Залежність диференційного розподілу вихідної величини при рівномірному розподілі вхідних величин від невизначеності вимірювання тиску при 100000 "спостереженнях"

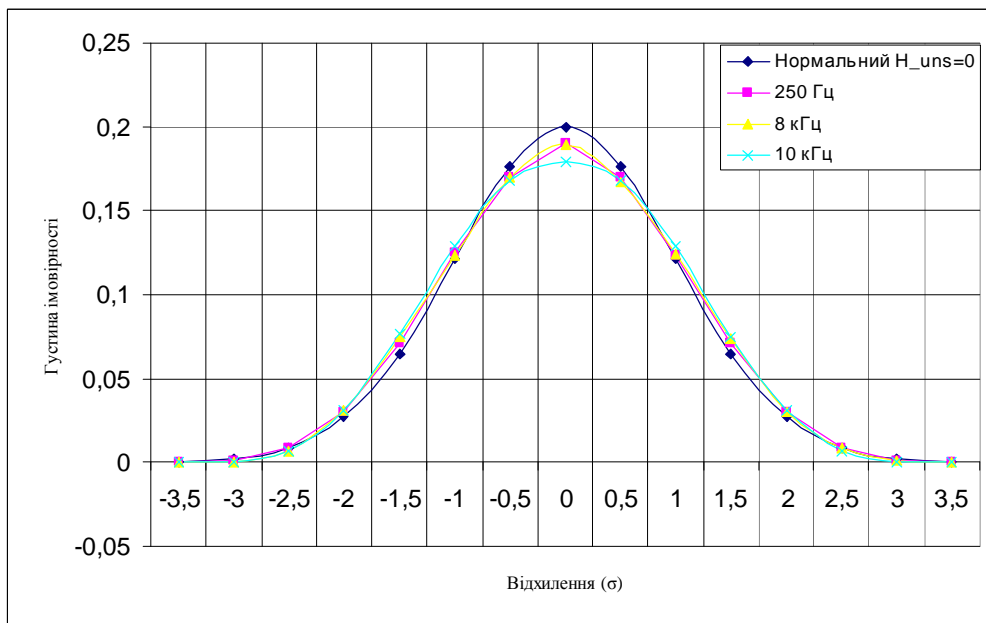
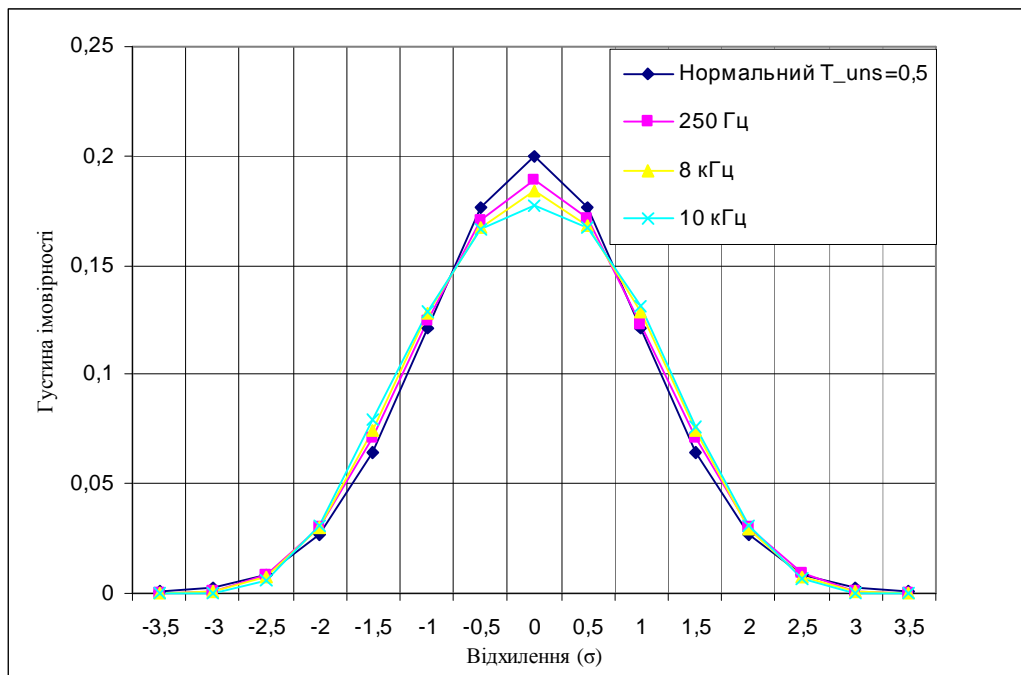
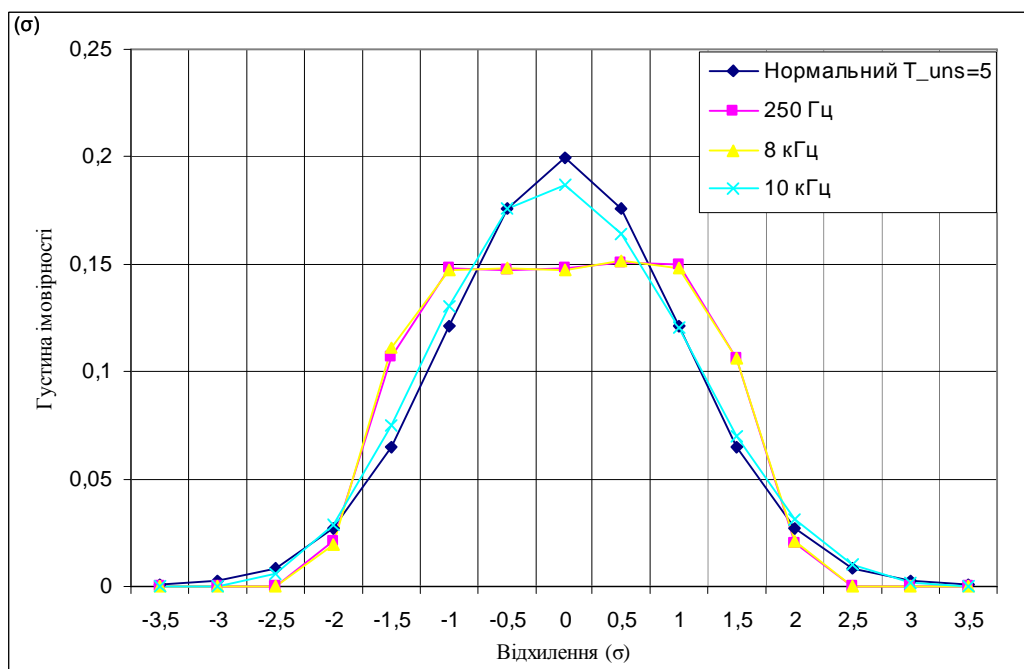


Рис. 4. Залежність диференційного розподілу вихідної величини при рівномірному розподілі вхідних величин від невизначеності вимірювання вологості при 100000 "спостережень"

Виконавши імітаційне моделювання на частотах 250 Гц, 8 кГц, 10кГц при зміні невизначеності температури в межах від 0 до 5°C рис. 5, можна зробити висновок, що із зростанням невизначеності вимірювання температури змінюється вид закону розподілу вихідної величини і вже для значень цієї невизначеності 5°C закон розподілу вихідної величини істотно відхиляється від нормального та прямує до трапецієподібного. Проте при значенні невизначеності температури 0,5°C закон розподілу вихідних величин істотно не відхиляється від нормального.



a



б

Рис. 5. Залежність диференційного розподілу вихідної величини при рівномірному розподілі вхідних величин при 100000 "спостережень" від невизначеності вимірювання температури камери зв'язку:  
 а –  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; б –  $\pm 5^{\circ}\text{C}$

**Висновки.** З аналізу залежності диференційного розподілу вихідної величини можна зробити висновки:

– зі збільшенням невизначеності вимірювання температури еталона звукового тиску змінюється закон розподілу вихідної величини і вже для значень цієї невизначеності температури до  $5^{\circ}\text{C}$  закон розподілу вихідних величин істотно відхиляється від нормального і прямує до трапецієподібного;

- необхідно враховувати відхилення температури при оцінюванні невизначеності звукового еталона аналітично за результатами вимірювання поточних значень температури, що є економічно вигіднішим від термостатування приміщення;
- вимірювання температури виконувати на кожній частоті характеристики;
- закон розподілу вихідних величин максимально наближений до нормального за умови, що похибка вимірювання температури не перевищує 0,5°C;
- рекомендувати вимірювати температуру мікрофонів та камери зв'язку за допомогою малогабаритних напівпровідникових сенсорів температури.

1. Колтак Б.Д., Пасько Е.В., Чалий В.П. *Стан та проблеми метрологічного забезпечення акустичних вимірювань в Україні // Наукові праці конференції “Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2002)”*. – Харків: ХДНДІМ. – Том 2. – С.105-107. 2. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. – М: Наука. – 1968. – С. 720. 3. Соболев И.М. *Численные методы Монте-Карло*. – М: Наука. – 1973. 4. IEC 61094-2: 1992. *International Standard. “Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique”*. – 1992. (Міжнародний стандарт. Первинний метод калібрування “за тиском” лабораторних стандартних мікрофонів методом взаємності). 5. *Методика оцінювання невизначеності вимірювань при відтворенні/калібруванні на державному первинному еталоні одиниці звукового тиску в повітряному середовищі ДЕТУ 10-01-00*. – ДП НДІ “Система”, Львів. – 2004.

УДК 621.317

І.Я. Обух, В.О. Яцук

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ СИСТЕМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

© Обух І.Я., Яцук В.О., 2008

**Розглянуто і проаналізовано нормативну основу метрологічного забезпечення вимірювання природного газу. Проаналізовано причини нераціонального споживання газу, його заощадження у житлово-комунальному і побутовому господарстві. Запропоновано методи удосконалення нормативно-технічної бази.**

**In the article the normative base of metrological assurance of natural gas measurements are considered and analyzed. The reasons of no effective gas using are analyzed. The methods of the improvement of the normative and technical bases are proposed.**

**1. Вступ.** Суспільство, як всякий організм, для свого існування потребує енергії. Одним з основних видів енергії нашого суспільства став природний газ. Природний газ – це газова суміш, компонентами якої загалом є азот, вуглеводи ( $C_nH_{2n+2}$ ), діоксид вуглецю і сірководень. Природний газ активно використовується в промисловості і комунальному господарстві. Природний газ, як і будь-яка інша продукція, має певні властивості – об'єктивні особливості, які можуть проявлятися при розробленні, виготовленні, експлуатації або споживанні продукції.

В Україні постійно вдосконалюють контроль та облік спожитого природного газу. У промисловості на зміну застарілим активно впроваджуються сучасні засоби електронно-вимірювальної та обчислювальної техніки, у житловому фонді встановлюють щораз більше газових лічильників.

Формування якісно нового газового ринку є запорукою розвитку потужної газової галузі, що відіграє і надалі буде відігравати одну з пріоритетних ролей в зміцненні економіки нашої держави.

**2. Актуальність проблеми та аналіз публікацій.** В умовах неперервного зростання об'ємів споживання природного газу (ПГ) та, що особливо важливо, підвищення світових цін на нього,