URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

3. Bobalo YU. YA., Bondaryev A. P., Nedostup L. A., Kiselychnyk M. D., Zayarnyuk P. M. Prohnozuvannya parametrychnoyi nadiynosti radioelektronnoyi aparatury z urakhuvannyam dvostoronn′oho obmezhennya determinovanoho dreyfu parametriv. Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva. 2015;(3/2(23)):79–83.

4. Kulikov G., Tambovskii S., Savvateev Y., Starikovskii A. On the Interference Immunity of Minimum-Shift Keying Signal Reception in the Presence of Nonfluctuating Interference. Journal of Communications Technology and Electronics. 2019;64(2):147–152. URL: https://www.researchgate.net/publication/333288140_On_the_Interference__Immunity_of_Minimum-Shift_Keying_Signal_Reception_in_the_Presence_of_Nonfluctuating_Interference

5. Sidorkina Y., Sizykh V., Shakhtarin B., Shevtsev V. Costas Circuit under the Action of Additive Harmonic Interferences and Wideband Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2016;61(7):807–816. URL: https://www.researchgate.net/publication/305486915_Costas_circuit_under_the_action_of_additive_harmonic_interferences_and_wideband_noise

6. Shakhtarin B.I. Statistical Dynamics of the Phase-Locked Loop under the Action of Harmonic Interference and Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2012;57(8):783–790. URL: https://www.researchgate.net/publication/257857619_Statistical_dynamics_of_the_phase-locked_loop_under_the_action_of_harmonic_interference_and_noise

7. Deshmukh M., Zafaruddin S.M., Mihovska A., Prasad R. Stochastic-Geometry Based Characterization of Aggregate Interference in TVWS Cognitive Radio Networks. arXiv preprint arXiv:1806.10450. 2018. URL: https://arxiv.org/pdf/1806.10450

8. Kostenko P.Y., Falkovich S.Y. Foundations of Statistical Theory of Information-Measuring Radio-Engineering Systems. Kharkiv: KhNUPS; 2021. URL: https://radioelektronika.org/article/view/S0735272724050029

9. Slobodyanuk V. Nonparametric Method for Estimating the Doppler Frequency of a Wideband Signal Distorted by Additive Noise with Unknown Probability Distribution Density. Information Processing Systems. 2022;(4(171)):62–75. URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

10. Upreti, A. Verma A Comparative Analysis of LSB & DCT BasedSteganographicTechniques: Confidentiality,ContemporaryState, and Future Challenges, 2023. 111- 121. URL: https://www.researchgate.net/publication/377731669_A_Comparative_Analysis_of_LSB_DCT_Based_Steganographic_Techniques_Confidentiality_Contemporary_State_and_Future_Challenges

11. Torrieri D. Principles of spread-spectrum communication systems. Springer Science, 2016. 457 p. URL https://uodiyala.edu.iq/uploads/PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL37/Principles_%20of%20Spread-Spectrum%20Communication%20Systems.pdf

12. DSTU 9005:2020 Metrolohiya. Systemy vymiryuvannya tryvalosti telefonnykh rozmov tsentriv komutatsiyi mobil′noho zv″yazku. Pochatok diyi 01.07.2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=90156

Надійшла до редакції 12.03.2025

УДК 006.92

В. В. Козловський, д.т.н., **С. Ф. Філоненко,** д.т.н., **О. В. Червотока**

ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

КАЛІБРУВАННЯ ПРИЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ (СТАНДАРТУ ЧАСТОТИ)

Ця стаття розглядає методи, інструменти та стандарти для точного вимірювання частоти, в метрологічних дослідженнях та стандартизації, що є актуальними для національних та міжнародних стандартів. Огляд включає загальні підходи до вимірювань, базові принципи метрологічної перевірки, стандарти точності та специфічні техніки обробки результатів. Кожне вимірювання супроводжується похибкою, що має, як систематичну, так і випадкову складові.

У статті розглянуто методи забезпечення точності при вимірюванні частоти, основи метро-

логічного підходу до визначення точності результатів вимірювання, а також сучасні засоби та методи для зменшення невизначеності вимірювань.Наведено сучасні тенденції та нормативну базу, що регулює вимоги до точності і метрологічного контролю частотно-часових параметрів. Запропоновано моделі для забезпечення стабільності і відповідності вимірювань національним стандартам.

Ключові слова: *метрологія, точність, частота, час, стандарти, вимірювання, невизначеність, квантовий генератор.*

V. V. Kozlovsky, DSc, **S. F. Filonenko**, DSc, **O. V. Chervotoka**

METROLOGY AND METHODS OF FREQUENCY AND TIME MEASUREMENT

Metrology as a science of measurement plays an important role in many areas: scientific research, industry, technology. One of the important tasks of metrology is the accurate determination of time and frequency parameters, which ensures the reliable functioning of systems that require high standards of accuracy. Modern requirements for the quality of measurements are complicated by the need to control measurement uncertainties, especially in cases where the results depend on external conditions and destabilizing factors. National and international metrological institutions are working to create standards to ensure a unified system of measurements in the field of time and space.

This article reviews methods, tools and standards for accurate frequency measurement, reflected in metrological research and standardization, relevant to national and international standards.

The review includes initial approaches to calibration, basic principles of metrological verification, accuracy standards and specific methods for processing results. The loss of the skin layer is accompanied by a loss that can be both systematic and episodic.

The article considers methods for ensuring accuracy during frequency calibration, the basics of the metrological approach to determining the accuracy of calibration results, as well as modern methods for changing the insignificantness of calibration. Modern trends and the regulatory framework regulating the possibilities of precision and metrological control of frequency-clock parameters are established. The model is designed to ensure stability and compliance with national standards.

The data obtained contribute to more accurate analysis, increased efficiency of resource use and the formation of trust in the results of metrological research.

Keywords*: metrology, accuracy, frequency, hour, standards, extinction, insignificance, quantum generator.*

DOI 10.32684/2412-5288-2025-1-26-75-80

Вступ.

Метрологія як наука про вимірювання відіграє важливу роль у багатьох сферах: наукових дослідженнях, промисловості, технологіях. Однією з важливих задач метрології є точне визначення параметрів часу і частоти, що забезпечує надійне функціонування систем, які потребують високих стандартів точності. Сучасні вимоги до якості вимірювань ускладнюються необхідністю контролювати невизначеності вимірювань, особливо у випадках, коли результати залежать від зовнішніх умов і дестабілізуючих факторів. Національні та міжнародні метрологічні інституції працюють над створенням стандартів для забезпечення єдиної системи вимірювань у галузі час тоти та часу.

Метою цієї статті є опис сучасних методів підвищення точності вимірювань частоти та часу, а також впровадження нових підходів до оцінки і зменшення невизначеності вимірювань.

Методологія та основи вимірювання частоти і часу.

Для проведення точних вимірювань частот них і часових параметрів необхідно використовувати високочутливі прилади, створені на основі найсучасніших технологій. Такі прилади забезпечують високу точність, дозволяючи мінімізувати похибки та підвищити рівень достовірно сті отриманих результатів.

Серед ключових параметрів, які потрібно враховувати під час вимірювань, можна виділити точність приладу, стабільність результатів у часі, повторюваність вимірювань, а також рівень довіри до отриманих даних. Точність є основним критерієм, що характеризує здатність приладу відтворювати справжнє значення вимірюваної величини, тоді як стабільність забезпечує збереження характеристик приладу протягом тривалого часу. Важливим аспектом є також вплив зовнішніх факторів, таких як температурні зміни, електро-магнітні перешкоди або коливання напруги, які можуть позначатися на точності й ста-

більності вимірювань. Тому розробка і впровадження новітніх технологій у вимірювальні системи дозволяють значно зменшити вплив цих факторів, забезпечуючи високу якість та довіру до результатів вимірювань.

Таким чином, застосування сучасних високочутливих приладів є ключовим фактором для забезпечення точності й надійності вимірювань частотних і часових параметрів у різних галузях науки, техніки та промисловості.

Точність та стабільність вимірювань

Точність приладу вимірювання визначається за стандартними метрологічними процедурами, які базуються на повторних вимірюваннях та статистичному аналізі отриманих даних. Важливу роль відіграє стандарт відхилення і оцінка похибок.

В вимірюваннях часу та частоти відхилення Аллана або двовибіркова дисперсія, є мірою стабільності частоти. Так само, як стандартне відхилення та дисперсія, відхилення Аллана визначається як квадратний корінь з дисперсії Аллана:

$$\sigma_{\mathrm{Y}}(\tau)=\sqrt{\sigma^2_{\gamma_A}}(\tau) \qquad (1)$$

Оцінка невизначеності вимірювань.

Оскільки результати вимірювань можуть змінюватися в залежності від зовнішніх умов, таких як температура чи вібрації, необхідно враховувати ці фактори як дестабілізуючі. Для цього застосовується концепція невизначеності вимірювань, що включає як систематичні, так і випадкові похибки.

Найчастіше використовуються міжнародні стандарти ISO/IEC для визначення допустимих меж невизначеності. У цій статті розглянуто випадки, коли точність вимірювання має мультиплікативний характер, що впливає на методи розрахунку.

1. Невизначеність типу А.

$$u_A(x_i)=\sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i}\left(x_{iq}-\overline{x_i}\right)^2}{n_i(n_i-1)}}. \qquad (2)$$

2. Невизначеність типу В.

$$u_B(x_i)=\frac{b_i}{\sqrt{3}}=\frac{|\Delta_{HГ}|}{\sqrt{3}}. \qquad (3)$$

3. Сумарна стандартна невизначеність u,

$$u=\sqrt{u_A^2+u_{B.}^2} \qquad (4)$$

Також можна оцінити ефективну кількість ступенів свободи

$$\nu_{eff}=(n-1)\cdot\left[1+\frac{u_b^2}{u_a^2}\right]^2 \qquad (5)$$

Результати та стандарти.

Для підвищення точності вимірювань частоти і часу в наукових і промислових проце-сах застосовуються високоточні стандарти, які базуються на новітніх фізичних принципах. Зокрема, розвиток атомних стандартів частоти дозволив знизити похибки і підвищити стабільність національних еталонів часу. Одним із прикладів таких досягнень є використання рубідієвих і цезієвих атомних годинників, які мають надзвичайну точність і стабільність.

Вимоги до стандартів.

У галузі метрології стандарти мають ключове значення для забезпечення відповідності приладів вимірювання міжнародним нормам. Наприклад, стандарт ISO 17025 забезпечує єдині вимоги до випробувальних і калібрувальних лабораторій, що дозволяє впроваджувати однакові підходи до вимірювань у різних країнах. Міжнародна метрологічна система також регулює питання передачі точного часу через глобальні навігаційні супутникові системи, що забезпечує глобальну синхронізацію вимірювань. Значною мірою це стосується також вимірювання обертальних моментів електричних дви-гунів, де зазначені проблеми спостерігаються в залежності від швидкості обертання валу, механічного опору, електричних параметрів, температурних режимів, вібрації та інших дестабілізуючих факторів, які впливають на точність вимірювання.

Розширення традиційних метрологічних ме тодів вимірювання стане необхідністю в такому випадку, в рамках теорії нечітких змінних.

Проведення вимірювань.

Для визначення метрологічних характеристик частотоміру виконують такі операції:

Провести зовнішній огляд приладу.

При зовнішньому огляді потрібно перевірити належний стан приладу, що калібрується, відсутність видимих механічних пошкоджень, що впливають на працездатність калібруваного приладу, правильність відображення інформації цифровими індикаторами і правильність установки стрілок показують приладів проти відповідних позначок шкали.

Визначити відносну похибку, за частотою кварцового генератора каліброваного приладу методом, заснованим на порівнянні частоти калібрувальної міри, з частотою еталонної міри,

Сигналі еталонної міри 5 МГц або 10 МГц та сигнал міри, що калібрують, подають на входи електронно-лічильного частотоміра.

Відносну різницю між частотами еталонної міри та частотоміра, що калібрують, при і-му спостереженні визначають за формулою:

$$\frac{\Delta f_i}{f_н} = \frac{f_i - f_н}{f_н}, \qquad (6)$$

де $f_н$ – номінальне значення частоти сигналу 5 МГц; f_i значення частоти, злічене з табло електронно-лічильного частотоміра.

Для підвищення точності виміру рекомендується проводити повторні виміри та брати середнє значення.

Після визначення відносної різниці за частотою опорного кварцового генератора, при необхідності встановити його частоту для отримання цього значення в межах $\pm 1 \cdot 10^{-8}$.

Підстроювання частоти кварцового генератора здійснюється відповідно до Посібника з експлуатації на прилад, що калібрується.

Встановлене значення відносної різниці за частотою генератора кварцового занести в протокол.

Для прямого вимірювання частоти за допо могою електронно-лічильного частотоміра його встановлюють в режим вимірювання частоти і на його вхід подають сигнал частоти з виходу засобу, якій калібрують.

На електронно-лічильному частотомірі на приклад CNT-91 встановлюють максимальний час вимірів, але не більше ніж 100 с. Управління частотоміром проводиться за допомогою про грамного забезпечення TimeView.

З метою підвищення точності вимірювання частоти електронно-лічильним частотоміром опорну частоту вбудованого кварцового генератора замінити сигналом з еталонної міри.

Для підвищення точності вимірювання рекомендується проводити повторні вимірювання та брати середнє значення.

Час рахунку встановлюється рівним 100 с. Знімається щонайменше 10 показань f_i частотоміра (i = 1, 2, …, I; I = 10).

У процесі вимірювань не допускається проводити будь-які підстроювання на приладі, що калібрується.

Встановити органами управління приладу, що калібрується, іншу частоту і повторити вимірю-вання.

Число перебудов на нову частоту повинно відповідати Програмі калібрування.

Зафіксувати одержані результати як первинні записи.

Обробка результатів вимірювань.

Провести обчислення середньої різниці між значеннями частоти f_i, вимірюваними частотоміром, і значеннями частоти, які відтворюються приладом що калібрується:

$$\Delta = \frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I}\left(f_{измі} - f_x\right), \qquad (7)$$

де f_x -значення частоти калібрується заходи, встановленого при проведенні калібрування.

Отриманий результат поправки на значення частоти, що відтворюється калібруваним приладом, занести в протокол.

Оцінка невизначенності вимірювань.

Розширену невизначеність калібрування U при коефіцієнті охоплення k = 2 за довірчої ймовірності p = 0,95 відповідно до ДСТУ–Н РМГ 43 розрахувати за формулою:

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \qquad (8)$$

де uA – стандартна невизначеність за типом A;

uB – стандартна невизначеність за типом B.

Стандартну невизначеність за типом А роз рахувати за такою формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)}\sum_{i=1}^{I}\left(f_{измі} - f_{ср}\right)^2}, \qquad (9)$$

де $f_{ср} = \frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I} f_i$ – середнє арифметичне результатів спостережень.

Стандартна невизначеність за типом вимірювання частоти за допомогою електронно-лічильного частотоміра залежить від його типу.

Відносна стандартна невизначеність за типом вимірювання частоти за допомогою електронно-рахункового частотоміра прямого рахунку обчислюють за формулою:

$$u_B = f_{ном} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\left|\delta_{of}\right| + \frac{1}{f_x \tau_u}\right), \qquad (10)$$

де δ_{of} – відносна невизначеність за частотою визначається на момент проведення вимірів;

f_x – частота, що вимірюється;

τ_u – інтервал часу вимірювання.

Відносна стандартна невизначеність за типом вимірювання частоти за допомогою обчислювального електронно-рахункового частотоміра обчислюють за формулою:

$$u_B = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\left|\delta_{uf}\right| + \left|\delta_{сист}\right| + \left|\delta_{зап}\right| + \frac{\delta_{разр}}{\tau_u}\right), \quad (11)$$

де $\delta_{сист}$ - систематична невизначеність, обумовлена не ідентичністю трактів інтерполяційного перетворення її відзначають у ТУ на частотомір). Для інтерполяційних обчислювальних частотомірів, як правило $\delta_{сист} \le 10^{-3}(\tau_u)$;

$\delta_{зап}$ - похибка запуску;

$\delta_{разр}$ - апаратурна роздільна здатність (для обчислювальних частотомірів з ТУ на них).

Невизначеність запуску для синусоїдальних сигналів обчислюють за формулою:

$$\delta_{зап} = \frac{\sigma_ш + 0{,}3U_n}{U_m n}, \quad (12)$$

де $\sigma_ш$ - середнє квадратичне значення шуму вимірювального тракту робочої у смузі час тот, наведене до входу, (вказується в ТУ на частотоміри);

U_n - пікове значення перешкоди вхідного сигналу в межах встановленого у ТУ допустимого рівня (якщо перешкода має випадковий характер з ефективним значенням σ_n, В, то $U_n = 3\sigma_n$);

U_m - амплітуда вхідного сигналу, n - кількість періодів, які усереднюються.

Отримані результати, розраховані за формулами (3) - (6), занести до протоколу вимірювання.

Висновки.

Метрологія частоти та часу є однією з найважливіших наукових дисциплін, що має ключове значення для забезпечення високої точності вимірювань у різних галузях науки, техніки та промисловості. Вона сприяє створенню умов для розвитку сучасних технологій, підвищення продуктивності та забезпечення якісного контролю над технологічними процесами.

Використання новітніх технологій, сучасних стандартів та підходів дозволяє не лише значно знизити похибки у вимірюваннях, а й забезпечити більшу стабільність та відтворюваність метрологічних систем. Це, своєю чергою, підвищує рівень довіри до отриманих результатів та відкриває нові можливості для вдосконалення існуючих методик.

Розвиток метрології частоти та часу надає унікальні можливості для зменшення невизначеності, підвищення стабільності еталонів та вдоско-налення процесу вимірювань.Особлива увага приділяється розробці нових методів оцінювання невизначеності, адаптації міжнародних стандартів до потреб вітчизняної промисловості, а також впровадженню інноваційних технологій у метрологічні системи. Ці зусилля спрямовані на досягнення високої точності та стабільності вимірювань, що, у свою чергу, зміцнює позиції України як сучасної держави на шляху до сталого розвитку.

Запропонований у статті приклад вимірювання частоти демонструє практичний підхід до визначення достовірності результатів, що є основою для подальшого вдосконалення процесів вимірювань. Отримані дані сприяють більш точному аналізу, підвищенню ефективності використання ресурсів та формуванню довіри до результатів метрологічних досліджень.

Список використаних джерел

1. VIM-3 Міжнародний словник з метрології Основні та загальні поняття та відповідні терміни.

2. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Зсування «Інструкції з вираження невизначеності вимірювань» (IDT РМГ 43:2001)

3. МКУ 07-737:2021 Генератор сигналів. Справжнє значення частоти. Безпосередній вимір частоти електронно-лічильним частотоміром.

4. Наказ Мінсоцполітики України від 28.12.2017 № 2072. Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками

5. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

6. Guide до Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

7. В.Солдатов Служба всесвітнього часу та еталонних частот України. Синхронізація часу з використанням мережі Інтернет NTP і PTP: стан і перспективи розвитку УКРАЇНСЬКИЙ МЕТРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ Випуск 3 Стор.23-29

8. NIST Special Publication 960-12: Time and Frequency Metrology (NIST:https://tf.nist.gov/)

9. P.Tavella. Metrology of Time and Frequency (https://www.bipm.org/en/ publications)

10. "Atomic Clocks: Researches and Applica-tions" под редакцией N. Rahman:

11. NIST Time and Frequency Division: https://tf.nist.gov/

12. PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) https://www.ptb.de/cms/

13. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та ка-

лібрувальних лабораторій.
14. GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, JCGM 100:2008.
15. Tseng C.-H. et al., "GNSS-Based Time Transfer Techniques", Metrologia, 2021.
16. Allan D. W. "Statistics of atomic frequency standards", Proc. IEEE, 1966.

References

1. VIM-3 International Dictionary of Metrology Basic and General Concepts and Related Terms.
2. DSTU-N RMG 43:2006 Metrology. Application of the "Instructions for the Expression of Measurement Uncertainty" (IDT RMG 43:2001)
3. MKU 07-737:2021 Signal Generator (True Frequency Value. Direct Frequency Measurement with an Electronic Frequency Counter)
4. Order of the Ministry of Social Policy of Ukraine dated 28.12.2017 No. 2072. On Approval of the Requirements for Safety and Health Protection during the Use of Production Equipment by Employees
5. DNAOP 0.00-1.21-98. Rules for the safe operation of consumer electrical installations
6. Guide to Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)
7. V. Soldatov World Time and Reference Frequency Service of Ukraine. Time synchronization using the Internet NTP and PTP: status and development prospects UKRAINIAN METROLOGICAL JOURNAL Issue 3 Pages 23-29
8. NIST Special Publication 960-12: Time and Frequency Metrology (NIST: https://tf.nist.gov/)
9. . P.Tavella. Metrology of Time and Frequency (https://www.bipm.org/en/ publications)
10. "Atomic Clocks: Researches and Applications" edited by N. Rahman:
11. NIST Time and Frequency Division: https:// f.nist.gov/
12. PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) https://www.ptb.de/cms/
13. DSTU ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
14. GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, JCGM 100:2008.
15. Tseng C.-H. et al., "GNSS-Based Time Transfer Techniques", Metrologia, 2021.
16. Allan D. W. "Statistics of atomic frequency standards", Proc. IEEE, 1966.

Надійшла до редакції 02.05.2025

УДК 504.5 + 543.3

І. А. Дудатьєв, к.т.н., **С. В. Мальцев**

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO_2, CO, CH_4, SO_2, NO_2 У ВЕЛИКИХ МІСТАХ НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО МЕТОДУ

У роботі представлено засіб вимірювання концентрації атмосферних газів (CO_2, CO, CH_4, SO_2, NO_2) у великих містах на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу. Досліджено походження, середні концентрації та вплив зазначених газів на довкілля й здоров'я людини. На основі спектроскопічного аналізу, використовуючи базу HITRAN, визначено оптимальні діапазони довжин хвиль для селективного виявлення кожного газу без накладання з водяною парою чи іншими компонентами повітря. Вимірювання базуються на законі Бугера-Ламберта-Бера з використанням світловипромінюючих діодів як джерела ІЧ-випромінювання. Розроблено структурну схему сенсора та математичну модель перетворення опромінення у електричну напругу. Проведено експериментальні дослідження в умовах міського середовища (м. Вінниця), що підтвердили ефективність та точність розробленого засобу. Отримані результати демонструють високу достовірність вимірювань та придатність пристрою для моніторингу міського повітря.

Ключові слова: *оптичний сенсор, інфрачервоне випромінювання, абсорбційна спектроскопія, моніторинг повітря, HITRAN, Бугер-Ламберт-Бер.*

I. A. Dudatiev, PhD**, S. V. Maltsev**

A DEVICE FOR MEASURING THE CONCENTRATION OF CO_2, CO, CH_4, SO_2, AND NO_2 IN LARGE CITIES BASED ON THE OPTICAL ABSORPTION INFRARED METHOD

This paper presents the development and experimental validation of an optical gas sensor system designed for real-time measurement of atmospheric concentrations of CO_2, CO, CH_4, SO_2, and NO_2 in urban