

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-10>

УДК 533

БЕЛЯКОВСЬКИЙ Володимир

«Сучасні оптичні технології» Приватна компанія

<https://orcid.org/0000-0572-2054-9797>

e-mail: v.belyakovskiy@gmail.com

ЗАЩЕПКИНА Наталія

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

e-mail: nanic1604@gmail.com

ВОЛОШИН Олександр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

e-mail: voloshin2111@gmail.com

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТОКСИЧНИХ, АГРЕСИВНИХ ТА ОТРУЙНИХ ГАЗІВ

У статті представлені відомості щодо інформаційно-вимірювальної системи для вимірювання концентрацій токсичних, агресивних та отруйних газів, а саме, використання, розробка та виготовлення оптичного газоаналізатору для ІВС, який поєднує малі габарити, достатню точність, простоту конструкції та дешевизну приладу. Також розглянуто спосіб виготовлення фільтрів за допомогою ВУ 1А. Для визначення конструкції майбутніх світлофільтрів зокрема використовувалась спеціальна програма розрахунку спектральної характеристики фільтру в залежності від кількості шарів-плівки матеріалу та самого матеріалу, що напильюється.

Основною метою роботи було створення інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), яка б забезпечувала вимірювання складу повітря з використанням сучасних технологій. Застосування запропонованих вузькосмугових світлофільтрів для лазерних випромінювачів на основі плівок із Si та SiO , сьогодні надало можливість досягти створення інформаційно-вимірювальної системи для визначення складу газів на основі нової конструкції газоаналізатору, що є актуальним сьогодні при підвищеному забрудненні навколишнього середовища, а саме, повітря, конче необхідного для життєдіяльності живих організмів. Проведено огляд конструкції газоаналізатора із застосуванням інтерференційних світлофільтрів, конструкцій інтерференційних світлофільтрів на основі напівпровідникових матеріалів для інфрачервоної області спектру, а також детальніше розглянуто спосіб їх виготовлення за допомогою установки ВУ 1А. Для визначення конструкції майбутніх світлофільтрів зокрема використовувалась спеціальна програма розрахунку спектральної характеристики фільтру в залежності від кількості шарів-плівки матеріалу та самого матеріалу, що напильюється.

Отримані дані спрямовані на побудову комплексного обладнання для моніторингу навколишнього водного середовища, що дозволяє формувати обґрунтовані рекомендації, реагування та визначення сценаріїв автоматизованих дій. Використання автоматичних ІВС спостереження надасть можливість попереджати про забруднення повітря та забезпечувати надання своєчасних заходів для його очищення.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, нітрати, фотометрична схема, ультрафіолетові світлодіоди, фотодіоди, моніторинг водного середовища.

Ключові слова: газоаналізатор, спектр, світлофільтр, лазерний випромінювач, спектральні характеристики.

BELYAKOVSKI Volodymyr

Private company "Modern Optical Technology"

ZASHCHEPKINA Nataliia, VOLOSHYN Oleksandr

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE INFORMATION-VIBRATION SYSTEM FOR VIBRATING THE CONCENTRATION OF TOXIC, CORROSIVE AND TOXIC GASES

The article presents information on the information and measurement system for measuring concentrations of toxic, aggressive and poisonous gases, namely, the use, development and manufacture of an optical gas analyzer for IBS, which combines small dimensions, sufficient accuracy, simplicity of design and low cost of the device. The method of manufacturing filters using VU 1A is also considered. To determine the design of future light filters, in particular, a special program was used to calculate the spectral characteristics of the filter depending on the number of material film layers and the sprayed material itself.

The main goal of the work was the creation of an information and measurement system (IMS), which would provide measurement of air composition using modern technologies. The application of the proposed wideband light filters for laser emitters based on films of Si and SiO today made it possible to achieve the creation of an information and measurement system for determining the composition of gases based on a new design of a gas analyzer, which is relevant today with increased environmental pollution, namely, air, especially necessary for the vital activity of living organisms. An overview of the design of the gas analyzer using interference light filters, designs of interference light filters based on semiconductor materials for the infrared region of the spectrum conducted, and the method of their manufacture using the VU 1A installation was examined in more detail. To determine the design of future light filters, in particular, a special program used to calculate the spectral characteristics of the filter depending on the number of material film layers and the sprayed material itself.

The obtained data aimed at building complex equipment for monitoring the surrounding water environment, which allows

form reasonable recommendations, responses and define scenarios of automated actions. The use of automatic IBS monitoring will provide an opportunity to warn of air pollution and ensure the provision of timely measures for its purification. Key words: information and measurement system, nitrates, photometric scheme, ultraviolet LEDs, photodiodes, water environment monitoring.

Key words: gas analyzer, spectrum, light filter, laser emitter, spectral characteristics.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблема чистоти повітря є надзвичайно актуальною для сучасної України, як для підтримки стану навколишнього середовища для життєдіяльності людини, так і для перспективного розвитку промислового сектору країни. Сьогодні забруднення повітря залежить від великої кількості викидів із стаціонарних та нестаціонарних джерел забруднення, результатів війни, в яку було втягнуто Україну, та низького рівня розвитку системи контролю навколишнього середовища [1].

Для вирішення питань, у зв'язку з погіршенням екологічної ситуації в країні, з частими вибухонебезпечних газів існує практична необхідність у створенні приладів, які працюють з використанням продуктивних, точних і дешевих сенсорів, для виявлення і вимірювання гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин у повітрі, а саме, газоаналізаторів. Розробка інформаційних вимірювальних систем для контролю концентрацій газів в повітрі-це подальший крок в контролі стану навколишнього середовища.

Основним елементом інформаційної вимірювальної системи (ІВС) для контролю якості повітря є газоаналізатор. З огляду на наявність великого попиту на надійні, точні та дешеві газоаналізатори для підприємствах України, потрібно розроблено пристрій, для вимірювання концентрації вуглекислого газу у замкненому приміщенні з застосуванням світлофільтрів в якості монохроматизуючих елементів. Це зумовлено високими експлуатаційними характеристиками світлофільтрів, виготовлених на підставі оксидів металів, та напівпровідників, таких як германій та кремній.

Мета роботи - створення інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), яка б забезпечувала вимірювання складу повітря з використанням сучасних технологій, розробка та виготовлення оптичного газоаналізатору для ІВС, який буде поєднувати малі габарити, достатню точність, простоту конструкції та дешевизну приладу.

Аналіз приладів для газового аналізу, які використовуються в Україні вказує на те, що сьогодні використовуються, переважно досить прості та дешеві закордонні моделі, ознакою яких є низький термін служби, посередня точність, при чому вони не мають метрологічного забезпечення. та мають посередню точність[2].

Для виконання мети поставлена задача спростити конструкцію газоаналізатора, підвищити надійність його роботи за рахунок зменшення конструктивних елементів. В оптичному абсорбційному газоаналізаторі наявні: джерело інфрачервоного випромінювання, оптично зв'язане з вимірювальною кюветою з вхідним і вихідним газовими патрубками, засіб розділення світлового потоку на робочий та опорний канали, світлофільтр робочого каналу зі смугою пропускання частот, яка відповідає смузі частот поглинання газу, що визначається, та оптично з'єднаним з ним першим фотодетектором, світлофільтр опорного каналу. Смуга частот пропускання опорного каналу не збігається зі смугою частот поглинання газу, яку потрібно визначити, та оптично з'єднаним з ним другим фотодетектором. Фотодетектори електрично з'єднані з блоком обробки інформації.

Для розділення інфрачервоного випромінювання на робочий та опорний канали в газоаналізаторі використане селективне інтерференційне дзеркало.

Розділення світлового потоку шляхом введення у конструкцію газоаналізатора селективного інтерференційного дзеркала дозволяє використати одну вимірювальну кювету та, тим самим, досягти зменшення можливих неселективних втрат випромінювання. А це в свою чергу, впливає на точність вимірів концентрації газів, зменшення кількості конструктивних елементів, підвищення надійності приладу.

Відсутність у конструкції газоаналізатора рухомих частин створює умови для зменшення шумів - це спосіб підвищення точності вимірювань [2-6].

Оптичний абсорбційний газоаналізатор містить джерело інфрачервоного випромінювання, оптично пов'язане з вимірювальною кюветою, з вхідним і вихідним газовими патрубками, засіб розділення світлового потоку на робочий та опорний канали, світлофільтр робочого каналу зі смугою пропускання частот, яка відповідає смузі частот поглинання газу, що визначається, та оптично з'єднаним з ним першим фотодетектором, світлофільтр опорного каналу зі смугою частот пропускання, яка не збігається зі смугою частот поглинання газу, що визначається, та оптично з'єднаним з ним другим фотодетектором. В якості фотодетекторів можуть бути використані як піроелектричні модулі, так і охолоджувані фоторезистори а основі PbSe.

В якості джерела випромінювання має бути використане широкосмугове джерело, що при достатній потужності забезпечить можливість модуляції випромінювання з частотою до 5 Гц, при коефіцієнті модуляції на рівні 0,7-08. При необхідності може бути розглянута можливість застосування твердотільних модуляторів

Фотодетектори електрично з'єднані з блоком обробки інформації. Як засіб розділення інфрачервоного випромінювання на робочий та опорний канали використане селективне інтерференційне дзеркало. На риунку 1 надана блок схема аналізатора [3].

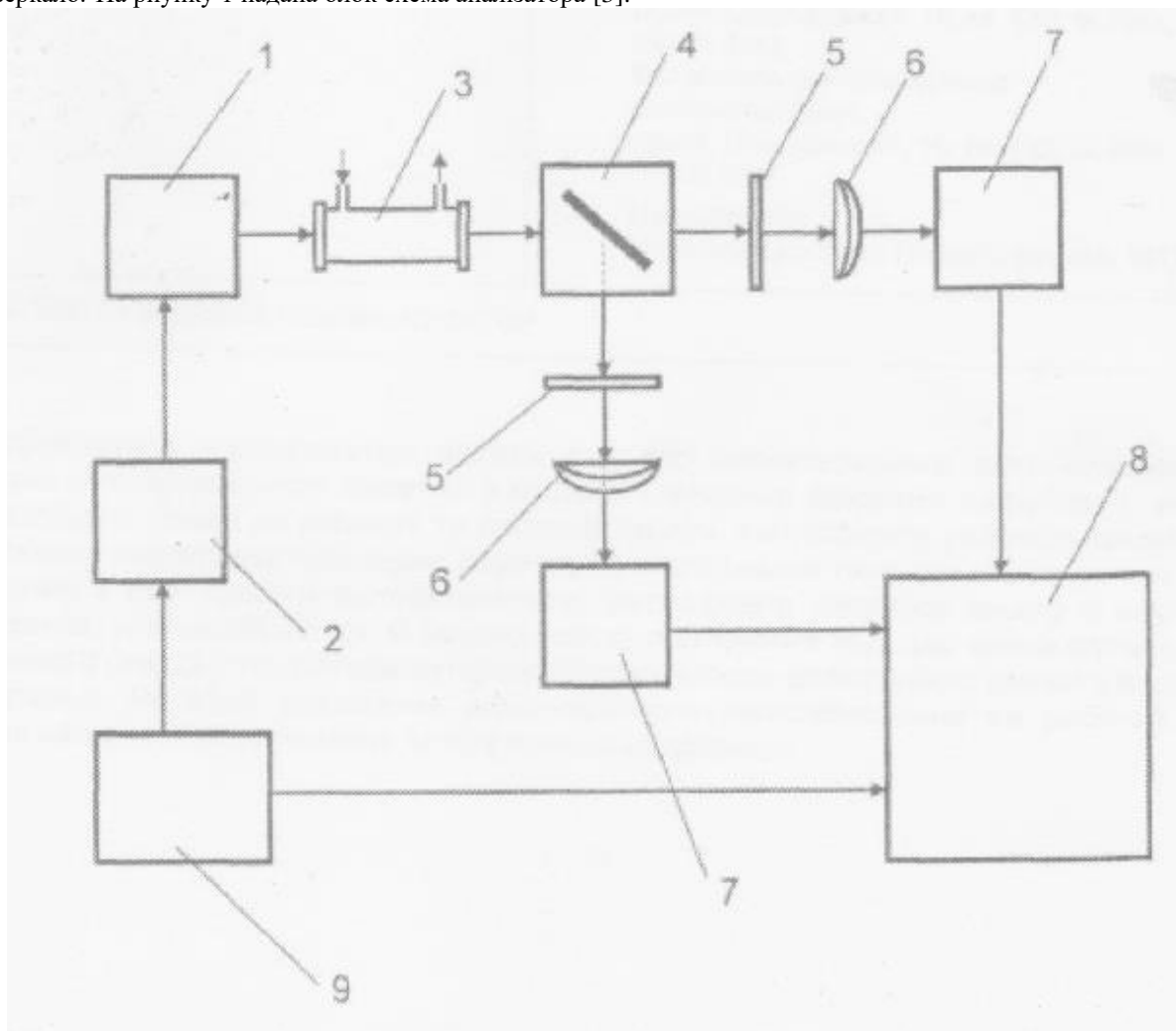


Рис. 1. Блок схема газоаналізатора:

- Джерело випромінювання; 2 - генератор імпульсів струму; 3 - газова к вимірювальна кювета;
4 - вузол селективного дзеркала; 5 - світлофільтри; 6 - фокусуючі елементи; 7 - фотоприймачі; 8 - мікроконтролер та індикація.

Напилення світлофільтрів виконувалось на установці вакуумного напилення ВУ 1А, із системою фотометричного контролю СФКТ 751І за допомогою електронно променевої гармати та резистивним способом. Заготовка германію (Ge) розміщувались у мідному водоохолоджуваному тиглі, монооксид кремнію для резистивного випаровувача був розташований в човнику з танталу чи вольфраму, підкладки із полірованого лейкосапфіру розміщувались у касетах, після чого проводилась відкачка робочої камери до тиску $1 \cdot 10^{-5}$ Па та нагрів арматури до 180°C . Напилення проводилось при прискорюючій напрузі 12 кВ. Параметри світлофільтрів після напилення вимірювались на спектрофотометрі SPECORD IR 75.

Інтерференційні світлофільтри, як засіб монохроматизації випромінювання, застосовується в багатьох галузях приладобудування, спектроскопії, аналітичній техніці, у точному машинобудуванні. При виборі параметрів світлофільтрів для вирішення конкретного завдання фотометрії потрібно враховувати ряд факторів, які суттєво впливають на процес вимірювання. Світлофільтри характеризуються рядом параметрів, таких як: довжина хвилі центра полоси пропускання λ_0 , коефіцієнт пропускання $T_{\text{макс}}$, ширина полоси пропускання на рівні $0,5 T_{\text{макс}}$ $\lambda_{0,5}$, ширина полоси пропускання на рівні $0, T_{\text{макс}}$ $\lambda_{0,1}$, та остаточне пропускання в неробочій ділянці спектру $T_{\text{ф}}$. Застосування інтерференційних світлофільтрів в аналітичній техніці потребує детального аналізу спектрів поглинання речовини що аналізується та супутніх домішок в багатокомпонентних сумішах.

Вибір параметрів, таких як довжина хвилі λ_0 , півширина, та технологічний допуск на відхилення довжини хвилі від заданої проводиться на основі розрахунку коефіцієнтів поглинання випромінювання речовиною при заданій довжині пробігу в результаті та самого матеріалу, що напилюється. Ретельним

аналізом полос поглинання супутніх газів вибрано довжину хвилі опорного каналу в діапазоні 3750 - 3900 нм, півширина цього світлофільтра може складати 80-90 нм, а область блокування, в залежності від спектрального діапазону чутливості фотоприймача, від 2000 нм – до 7000 нм.

Світлофільтр вимірювального каналу у спектральному відношенні, бажано розмістити на пологій довгохвильовій гілці полоси поглинання, щоб забезпечити достатню лінійність зворотнього перетворення Бугера-Ламберта-Бера. Нами вибрана довжина хвилі центру пропускання світлофільтра 4300 нм при півширині близько 120 нм.

Селективне дзеркало може бути виконане на підкладці з полірованого лейкосапфіру, або монокристалічного кремнію, напленням багат шарового покриття матеріалів з високим та низьким показниками заломлення, наприклад Ge-SiO₂, або Si-SiO₂. Дзеркало має мати високий коефіцієнт відбиття для довжини хвилі опорного каналу та високий коефіцієнт пропускання для довжини хвилі вимірювального каналу при куті падіння 45°. Довгохвильовий фронт кривої пропускання мусить мати достатню крутизну, щоб забезпечити пропускання для $\lambda = 4300$ нм $T \geq 85$ %. Таким критеріям відповідають конструкція з 15 шарів Si-SiO₂ оптичною товщиною $\lambda/4$, при тому перший та останній шари мають оптичну товщину $\lambda/8$ для згладжування спектральної кривої. На рисунках 2,3 наведені спектральні характеристики відрізаючого світлофільтра та вузькосмугового світлофільтра вимірювального каналу.

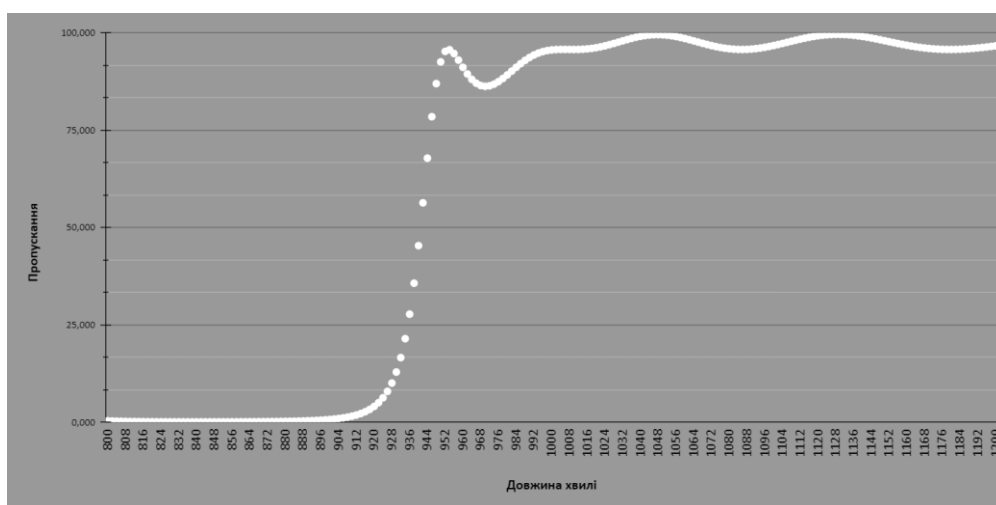


Рис.2 Спектральна характеристика відрізаючого світлофільтра

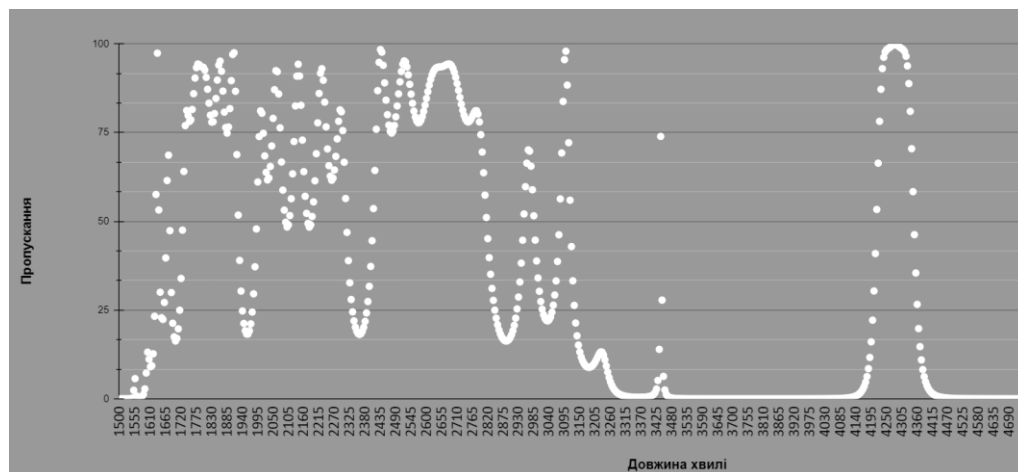


Рис.3. Спектральна характеристика вузькосмугового світлофільтра вимірювального каналу

Прилад розроблено для вимірювання концентрації вуглекислого газу у приміщенні від 0 до 1 відсотків, при кімнатній температурі (20-25 градусів за Цельсієм), та нормальному атмосферному тиску (760 мм рт. ст.). Газоаналізатор може бути виконаний у вигляді моноблока, порожнини якого заповнені інертним газом. Живлення усього пристрою здійснюється за допомогою блоку живлення з акумуляторною батареєю з ємністю близько 5 А/год, що дозволяє пристрою безперервно працювати протягом 5 годин.

Приблизна маса пристрою (усього газоаналізатору із необхідним приладдям та у корпусі) сягає 0.5 кг.

Довжина кювети обрана такою, що у даному діапазоні концентрацій (0,05-1,0 %) дозволяє

працювати на пологій ділянці кривих поглинання. Для підвищення точності зворотного перетворення логарифму нами був обраний рівень поглинання до приблизно 30%.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У даній статті було проведено огляд конструкції газоаналізатора із застосуванням інтерференційних світлофільтрів, конструкцій інтерференційних світлофільтрів на основі напівпровідникових матеріалів для інфрачервоної області спектру, а також детальніше розглянуто способи їх виготовлення за допомогою установки ВУ 1А. Для визначення конструкції майбутніх світлофільтрів зокрема використовувалась спеціальна програма розрахунку спектральної характеристики фільтру в залежності від кількості шарів-плівок матеріалу та самого матеріалу, що напильється.

Література

1. Лабунський В. Удосконалення методу перевірки лічильників води/В. Лабунський, Н. Зашчепкіна, А.Лабунська// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.- № 2.2023. С. 67-71.
2. Kaya M.C., Nikoo M.S., Schwartz M.L. Internet of measurement things architecture: Proof of concept with scope of accreditation. Oguztuzun, H. Sensors Switzerland. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 1-3.
3. Патент на корисну модель UA 150316 U МПК G01N 21/61 «Оптичний абсорбційний газоаналізатор/ Волошин О.В., Беляковський В.О.// 26.01.2022, Бюл.№ 4.
4. Коперльос Б.М., Студеняк І.П., Сусліков Л.М. Напівпровідникова і фізична електроніка: лабораторний практикум. Навчальний посібник. Ужгород. Видавництво УжНУ «Говерла», 2019. 128 с. ISBN 978-617-7333-99-8
5. Назаренко Л. А. Основи радіометрії та фотометрії : монографія / Л. А. Назаренко, В. М. Сорокін; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 352 с.
6. Стребежев В. В. Розробка інтерференційно-абсорбційних світлофільтрів на базових кристалах In₄(Se₃)_{1-x}Te_{3x} та CdSb / В. В. Стребежев, С. В. Нічий, І. М. Юрійчук, В. М. Стребежев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 6(9). - С. 55-59. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_6%289%29_11

References

1. Labunsky V. Improvement of the method of verification of water meters/V. Labunskiy, N. Zashchepkina, A. Labunskaya// Measuring and computing equipment in technological processes. - No. 2.2023. P. 67-71.
2. Kaya M.C., Nikoo M.S., Schwartz M.L. Internet of measurement things architecture: Proof of concept with scope of accreditation. Oguztuzun, H. Sensors Switzerland. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 1-3.2. Patent for a utility model UA 150316 U IPC G01N 21/61 "Optical absorption gas analyzer/ O. V. Voloshyn, V. A. Belyakovskii// 01.26.2022, Byul. No. 4.
3. Patent for a utility model UA 150316 U IPC G01N 21/61 "Optical absorption gas analyzer/ O.V. Voloshyn, V.O. Belyakovskii// 01/26/2022, Bull. No. 4.
4. 3 Koperlios B.M., Studenyak I.P., Suslikov L.M. Semiconductor and physical electronics: laboratory practice. Tutorial. Uzhhorod Publishing house of UzhNU "Hoverla", 2019. 128 p. ISBN 978-617-7333-99-8
5. Nazarenko L. A. Basics of radiometry and photometry: monograph / L. A. Nazarenko, V. M. Sorokin; Hark. national city university farm named after O. M. Beketova. – Kh.: XNUMG named after O. M. Beketova, 2014. – 352 p.
6. V. V. Strebezhev. Development of interference-absorption light filters based on In₄(Se₃)_{1-x}Te_{3x} and CdSb base crystals / V. V. Strebezhev, S. V. Nichiy, I. M. Yuriichuk, V. M. Strebezhev // Vostochno- European Journal of Advanced Technologies. - 2014. - No. 6(9). - P. 55-59.