



Л. С. Сікора¹, Н. К. Луса¹, Н. А. Хияк², Л. Л. Тупичак²

¹ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

² Українська академія друкарства, м. Львів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ РИЗИКІВ ВІД ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТЕХНОГЕННИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Обґрунтовано методи створення сенсорів для вимірювання концентрації викидів пилу та шкідливих речовин в атмосфері та водні середовища з використанням нових фізичних ефектів, які стали підставою для розроблення: лазерних концентратомірів забруднення повітря і води, оптогальванічних ефектів для створення інтегрованих сенсорів, які можна комплексувати системами вимірювання на підставі іонно-селективних сенсорів (ОКСИ 5М), що дає змогу підвищити рівень ефективності систем забезпечення екобезпеки. Сучасний етап розвитку виробництва електроенергії, хімічної, машинобудівної, поліграфічної продукції характерний тим, що використовується широка гама ресурсних компонентів – вугілля, нафта, газ, фарби, полімери, які є екологічно агресивними. Напружені виробничі режими, що диктуються ринком, призводять до різкого зростання споживання ресурсів для енергоактивних виробничих процесів, зумовлюючи збільшення концентрації викидів пилу і шкідливих газів і рідин в атмосферу й водне середовище, що спричиняє підвищення екологічного забруднення навколишнього середовища, стан якого не завжди можна оперативним чином оцінити в реальному часі за складності відбору даних стандартними методами. Вирішення завдання розроблення оптимальних стратегій управління технологічними режимами, які забезпечили б високу продуктивність і мінімізували шкідливі викиди, ґрунтується на сучасних системних і інформаційних технологіях, створенні нових типів сенсорів для інформаційно-вимірювальних систем. Опрацювання технологічних даних є основою для формування оцінки образу ситуації і стану прийняття рішень, та відбір додаткових даних, які повинні доповнюватися даними з залученням експертних знань. За умов техногенної ситуації, яка склалася на сучасному етапі функціонування виробництва, ще важливішою стала проблема розроблення комплексних систем екомоніторингу техногенного середовища, ґрунтів, водосховищ, рік, атмосферного повітря, як науково техногенних об'єктів, так і просторової структури областей і країв. Великі обсяги викидів пилу технологічних газів, викидів продуктів згорання транспорту, авіації, залізничної структури, будівельних компаній сировинного комплексу забруднюють величезні площі як у локальному, так і державному масштабах, що призводить до наростання ризиків забруднення життєвого простору, а також впливає на психологічний і ментальний стан суспільства, що може спровокувати соціальні протистояння та кризи. Рівень забруднення навколишнього середовища особливо зріс з розвитком теплових електростанцій і нафтохімічного комплексу, які стали агресивними забруднювачами. Воєнні дії першої і другої світових війн також зробили свій внесок. Атомна енергетика і реактивна авіація ще більше спричинили забруднення світового екологічного простору, а війна в Україні сформувала специфічний екологічний удар на екосередовище (вибухи снарядів і ракет), руйнування енергетичних комплексів і нафтових терміналів.

Ключові слова: екосистема; атмосфера; пил; інформаційні технології; контроль; лазери; безпека довкілля; сенсори; вимірювання концентрації забруднення; шкідливі речовини; чинники.

Вступ / Introduction

Посилюються вимоги до якості екологічного середовища, що базуються на міжнародних угодах та стандартах ISO та стандартах України (закони Верховної Ради та укази Президента). Тому потрібно розробити нові методи ефективного контролю технологічного процесу у виробництвах, які генерують шкідливі викиди, та модернізувати системи управління з метою

зменшення потоків викидів пилу (грубого і дисперсного) і шкідливих газів – відходів технологічного процесу в енергетиці, паперовій промисловості, нафтогазовому секторі та транспорті.

Для забезпечення якості моніторингу стану екосередовища техногенної інфраструктури відповідно потрібно прилади і системи для оцінювання хімічного складу викидів газів і пилу та їх концентрації та ступеня впливу

Інформація про авторів:

Сікора Любомир Степанович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: Issikora@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7446-1980>

Луса Наталія Корнеліївна, д-р техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: lysa.nataly@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5513-9614>

Хияк Назарій Андрійович, аспірант, кафедра автоматизації комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки.

Email: nazar.hilyak@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-2431-1514>

Тупичак Любомир Любомирівна, канд. техн. наук, доцент, проректор Української академії друкарства.

Email: ltupychak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0963-3360>

Цитування за ДСТУ: Сікора Л. С., Луса Н. К., Хияк Н. А., Тупичак Л. Л. Інформаційні та лазерні технології оцінювання рівня ризиків від шкідливих викидів техногенними об'єктами. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 5. С. 151–169.

Citation APA: Sikora, L. S., Lysa, N. K., Hilyak, N. A., & Tupychak, L. L. (2024). Information and laser technologies for assessing the level of risks from harmful emissions by man-made objects. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(5), 151–169.

<https://doi.org/10.36930/40340520>

ву на атмосферу і водне середовище.

Проблемним є розроблення нових методів і засобів для оперативного контролю шкідливих викидів виробничого пилу та газу, що потрапляють в повітря і воду навколишнього середовища. Оцінювання їх складу і концентрації є важливим для визначення ризику настання екологічної катастрофи та виявлення негативного впливу на персонал підприємства і суспільства.

Вирішення проблеми екологічного моніторингу потребує вимагає відповідного комплексування приладів і інформаційно-вимірювальних систем з різними типами сенсорів, які реагують на концентрацію пилу і хімічний склад шкідливих викидів, зокрема:

- 1) розроблення оптико-електронних сенсорів для контролю хімічного складу і концентрації викидів газів у повітрі та воді;
- 2) розроблення лазерних систем для дистанційного контролю концентрації шкідливих викидів у середовищі на енергоактивних агрегатних об'єктах.
- 3) розроблення переносних комплексів і інформаційно-вимірювальних систем для контролю пилу в атмосфері міст, сіл і приладів для оцінювання їх концентрації і хімічного складу з використанням лазерних і інформаційних технологій.
- 4) опрацювання даних про стан середовища на підставі прямих і непрямих методів, методів лазерного зондування фізико-хімічних і оптико-гальванічних сенсорів.

Об'єкт дослідження – процеси контролю сигналів під час відбору даних від сенсорів з лазерним зондуванням і сенсорів з використанням фізико-хімічних і оптичних ефектів для оцінювання рівня концентрації шкідливих викидів.

Предмет дослідження – методи й алгоритми відбору та опрацювання даних від лазерних сенсорів концентрації викидів продукту згорання в пилопроводах енергоблока шкідливих викидів газу і пилу в атмосферу техногенними системами.

Мета роботи – оцінити стан екологічного середовища техногенного виробництва, яке є джерелом шкідливих викидів пилу і газу в атмосферу і водне середовище, їх хімічний склад і концентрацію.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати методи і засоби побудови інформаційно-вимірювальних систем та сенсорів для відбору даних про стан енергоактивних технологічних об'єктів і рівень концентрації шкідливих викидів в екосередовищі (атмосфері і воді);
2. Розробити методи формування потоків даних від сенсорів для АСУ й експертів відповідно до структури енергоактивного агрегованого об'єкта;
3. Удосконалити інформаційну технологію розроблення лазерних концентратомірів для контролю технологічних викидів у зовнішнє екосередовище;
4. Обґрунтувати методи розроблення переносних аналізаторів хімічного складу компонент повітря і газу та води на підставі оптико-електронних і лазерних сенсорів;
5. Оцінити шкідливий вплив викидів на життєдіяльність суспільства, його просторовий розподіл у районі функціонування виробничої техногенної інфраструктури;
6. Удосконалити методи опрацювання екологічних даних про рівень забруднення атмосфери і води на підставі отриманих результатів лазерної діагностики і непрямих вимірювань поля концентрації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проаналізувавши дослідження з проблеми оцінювання

забруднення екологічного середовища техногенної інфраструктури та літературні джерела з проблеми моніторингу, з'ясовано, що для створення сенсорів застосовують стандартні методи аналітичної і фізичної хімії, а лазерні технології використовують для спектрального аналізу.

Відповідно, розглянуто методологію і технологію фізико-аналітичних і фізико-хімічних досліджень, які стали підставою для створення іонно-селективних сенсорів та методів лазерної оптоелектроніки, що є фундаментом розроблення нового типу сенсорів для вимірювання концентрації пилу і шкідливих речовин у воді. У працях [1, 3] порушено проблему розроблення інформаційно-вимірювальних систем для контролю технологічних процесів і середовища на підставі прямих і непрямих методів вимірювання для наукових і прикладних досліджень. У праці [1] обґрунтовано сучасні методи статистичного аналізу і оброблення даних з використанням ЕВП для прикладних досліджень.

У роботах [28, 29, 30, 31, 32] розглянуто методи комплексного використання вимірювальних систем і приладів для підвищення ефективності та достовірності вимірювань та методи і моделі алгоритмів оброблення даних і їх опрацювання для оцінювання ситуації в технічних системах. У монографіях [4, 34, 35, 36] обґрунтовано методи експертного оцінювання систем та інформаційних технологій планування вимірювальних експериментів.

У фундаментальних монографіях [9, 10, 11] розглянуто теорію і методи аналізу і синтезу сенсорів для прямих і непрямих вимірювань параметрів фізичних величин, їх перевірки. У монографії [6] розроблено і обґрунтовано методи санітарно-екологічного контролю і аналізу забруднювальних речовин в атмосфері, воді та ґрунті.

У фундаментальних монографіях [7, 8] викладено теоретичні та прикладні основи теорії опрацювання результатів вимірювань в науці та техніці. У монографії [37] наведено результати фундаментальних досліджень з безпеки екологічних систем, методи моніторингу, контролю, нормативні дані.

У працях [14, 16, 18, 38] обґрунтовано методи та теоретичні засади проведення експериментів, а також теорію і методіку фізичних вимірювань. У фундаментальній монографії [20] розглянуто базові методи лазерних технологій для спектроскопії і фотохімії у прикладних і наукових дослідженнях.

У монографіях [19, 23] розглянуто теорію вимірювальних систем, метрологію, методи оброблення даних. У монографіях [22, 24] обґрунтовано проблеми захисту довкілля та системний аналіз для управління якістю води. У монографії [25] розглянуто використання математичних методів у хімічних технологіях та експериментальних дослідженнях. У монографіях [26, 27] обґрунтовано методи розроблення лазерних інформаційно-вимірювальних систем для контролю технологічних процесів і управління системами автоматизованого керування в енергетиці та словарній промісловості, здійснено дослідження екологічного середовища та оцінювання концентрації шкідливих технологічних викидів.

У монографіях [13, 17] розглянуто основні концепції інформаційних і лазерних технологій відбору й опрацювання даних від енергоактивних об'єктів тех-

нологічних структур та екологічних систем, водного та техногенного середовища, які характеризують їх динамічний стан. Обґрунтовано та проаналізовано логічні та системні особливості опрацювання даних і їх інтерпретація у процесах ухвалення управлінських рішень за умов високого рівня ризику.

Матеріали та методи дослідження. Для розроблення систем екологічного моніторингу, як локального так і глобального рівнів, для оцінювання стану екосередовища та впливу на соціальну інфраструктуру і життєвий простір потрібно використовувати сучасні наукові методи на основі теорії управління для опису потенційно небезпечних об'єктів з агрегованою ієрархічною просторово розподіленою структурою, системного аналізу процесів управління енергоактивними об'єктами, на математичній логіці, теорії ухвалення рішень для побудови ефективних стратегій координаційного управління за дії загроз на режим навантаження та атак на всіх рівнях ієрархії; теорії експертних систем для оцінювання ситуації і класифікації даних про стан екологічного середовища навколо об'єкта; методах теорії лазерного дистанційного зондування для побудови фотометрів й інформаційно-вимірювальних систем; відбору даних про концентрацію пилу в атмосфері й розчинах води в навколишньому середовищі, як стаціонарного, так і переносного типу.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Проблема розроблення інформаційних систем для екологічної експертизи стану середовища навколо техногенних об'єктів. Основним завданням екологічної експертизи є визначення ступеня ризику й безпеки промислової діяльності, організація програми експертного оцінювання об'єктів промислового виробництва, встановлення відповідності об'єктів вимогам екологічного законодавства, експертиза якості природних ресурсів, формування балансу критеріїв якості щодо екологічної безпеки об'єктів і середовища, оцінювання негативного впливу виробничих і комунальних структур на екологію середовища, експертна оцінка програм впровадження нової техніки.

Моніторинг атмосферного повітря потрібен для виявлення дії забруднювачів і їх впливу на: корозію конструкцій, ерозію земельних ресурсів, здоров'я людей, рослинний світ і екосередовище, забруднення води, забруднення харчових продуктів.

Проблеми моніторингу стану екосистеми та соціокомунальної інфраструктури за наявності великих виробничих техногенних енергоактивних комплексів-забруднювачів, вирішують на підставі нових інформаційно-вимірювальних технологій, зокрема:

1. Ідентифікація джерел і каналів впливу на екологічне середовище (промислових, побутових, природних) на підставі відбору проб;
2. Розроблення засобів відбору даних і їх точність, об'єктивність, вірогідність відносно цільових завдань на підставі інформаційних технологій;
3. Удосконалення інформаційних технологій опрацювання даних і інтерпретації змісту екологічних ситуацій на підставі комплексування систем;
4. Розроблення класифікації методів ситуацій на підставі експертних оцінок з використанням баз даних, знань і експертних систем у структурі СППР;

5. Розроблення систем управління і зберігання даних (СХД – сховище даних, ЦОД – цифрове оброблення даних);
6. Формування первинних і вторинних стандартів відносно критеріїв якості й хімічних забруднювачів (SO_2, NO_2, CO, O_3, Pb) та відбору проб на активні іони $\langle SO_4^-, Cl^-, NH_4^+, NO_3^-, Ca^{++}, Mg^{++}, K^+ \rangle$;
7. Удосконалення методів контролю та ідентифікації сполук – продуктів спалювання вугілля в котлах енергоблоків $SO_2, NO_2, CO, NO, NO_2, CO_2$ та залишків кисню O_2 ;
8. Моніторинг продуктів паперового виробництва (у технологічному процесі та зливних водних відходах);
9. Моніторинг методів і засобів ідентифікації радіоактивних викидів (містяться в породі вугільної маси) $Cl, NH_4^+, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Na, Pb$ – забір і контроль;
10. Моніторинг методів відбору проб і нових засобів (сенсорів) для забору і контролю транспортних і газових викидів (автомобілі, теплові, авіація) та оцінювання їх концентрації та складу.

Відповідно до результатів дослідження компонентів забруднення, дані моніторингу протоколюються згідно з державними нормативними вимогами.

Протоколи відображають стан забруднення екосередовища відповідно до циклу відбору, контролю й аналізу на підставі результатів оброблення даних:

1. Термінальні інтервали: $\{t_i \in \tau_j \subset T_{ij}\}$ – оцінювання параметрів;
2. Добовий відбір і аналіз – $\left\{ \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i(t_i) \right\}$ – потоку даних;
3. Тижневі цикли аналізу – $M\{Sit(\theta_i)/T_j d\}$ – та графік зміни технологічної динаміки параметра стану енергоактивних об'єктів;
4. Місячна оцінка ситуації з валовими викидами пилу і продуктів згорання – $\sum_{i=1}^l V_{Sri}, \forall \theta_i$ – за рівнем забруднення екологічного середовища;
5. Сезонний аналіз рівня забруднення (валові об'єми);
6. Річний звіт щодо сумарних викидів шкідливих речовин в екосистему техногенної інфраструктури.

Інформаційні та лазерні технології розроблення систем моніторингу екосередовища і методи оцінювання рівня забруднення. Для оцінювання техногенної ситуації в екосередовищі здійснюють відбір проб води, повітря, сполук; застосовують методику фізико-хімічного аналізу та опрацювання даних, апаратуру для фізико-хімічного аналізу; виконують системну інтерпретацію результатів, отриманих від різних типів сенсорів.

Результати моніторингу становлять базу отриманих даних і відомостей про компоненти впливу і їх рівень: первинні дані від сенсорів і ІВС (інформаційно-вимірювальні системи), дані про фізико-хімічний склад забруднювальних речовин, оцінювання рівня й ступеня небезпечності впливу забруднення на екосередовище, оцінювання складу та обсягу викидів забруднень.

Забруднювачами повітря є відходи технологічних енергоактивних процесів і пил помолу твердих компонент:

- газоподібні неорганічні речовини $\langle SO_2, H_2S, NO_2, Cl_2, CO, SiF \rangle$;
- мінеральні кислоти $\langle HCl, HF, H_2SO_4, HNO_3 \rangle$;

- радіонукліди (стронцій, цезій, йод, плутоній, радій);
- прості органічні речовини (формальдегід, бензопірен тощо).

В Україні чинний документ РД 52.04.186-86 (ДСТУ України), який регламентує методи та інструментарій:

- організацію спостережень на регіональному і місцевому рівнях;
- методичне й метрологічне забезпечення процесу екоконтролю;
- методики хімічного аналізу концентрацій шкідливих речовин в атмосфері (дистанційні методи, оперативний контроль);
- методи збирання, оброблення та статистичного аналізу результатів спостережень, їх алгоритмічне і програмно-апаратне забезпечення;
- програми робіт з екомоніторингу для кожного техногенного середовища;
- кількісний і якісний аналізи та передача інформації відповідним органам як державного, так і виробничого рівнів;
- методи інформаційних технологій відбору даних для розроблення баз даних і експертних систем.

Лазерне зондування шкідливих викидів у технологічне середовища для відбору даних про концентрацію пилу та продуктів згорання. Для відбору даних про геометричні та фізико-хімічні параметри стану енергоактивного об'єкта (рівень рідини, концентрація речовин, хімічний склад, розміри, зміщення), коли не можна використати засоби вимірювання прямого перетворення, застосовують методи активного зондування та комплексують їх з методами фізико-хімічного аналізу й оптичними та спектральними методами.

Розглянемо інформаційну структурну діаграму перетворення лазерного сигналу, який є переносником відомостей, на підставі відбору даних про динамічний стан об'єкта та його технологічного середовища.

Відбір даних проходить за просторово-часовою та енергетичною взаємодіями лазерного сигналу з об'єктом зондування:

$$Z_S(B_F, t, P_S(\theta)) = Z_C(B_L, t, P_L) \otimes M_{SL}((B_{OT}, t, \theta), \bar{n}_S, \alpha_S),$$

де: $Z_C()$ – сигнал зондування; B_L – базис геометричний; P_L – потужність лазера; M_{SL} – модельне зображення зони локації об'єкта за параметром стану; θ – параметр стану; $(B_{OT}, \bar{n}_S)$ – базис та орієнтація зони локації; α_S – коефіцієнт енергетичної взаємодії, $Z_S(B_F, t, P_S(\theta, \alpha_S, \bar{n}_S))$ – відбитий сигнал зі середовища контролю; $(\otimes)$ – операція взаємодії.

Відповідно до методу наведемо концептуальну схему процесу зондування поля концентрації техногенного середовища.

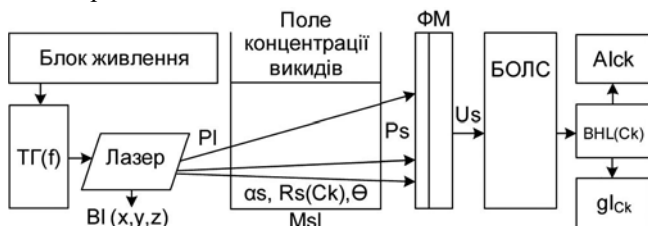


Рис. 1. Концептуальна схема процесу зондування поля концентрації / Conceptual diagram of the process of probing the concentration field

На рис. 1 введено такі позначення: $TГ(f)$ – тактовий імпульсний генератор модуляції лазера; $\alpha_S, R_S(C_k), \theta$ –

комплекс параметрів контрольованого середовища або проб води, рідин у каліброваних скляних кюветах; ФМ – фотоматриця (фотодетектор 2- або 4-секційний; ПЗС – матриця для цифрового оброблення образу променя лазера; $U_S(t, T, C_k)$ – напруга сигналу перетвореного лазерного променя після проходження проби на виході матриці; БОЛС – блок оброблення лазерного сигналу; $BHL(C_k)$ – блок нормування лазерного сигналу та масштабування шкали концентрації домішок; Al_{CK} , gI_{CK} – індикація параметра концентрації домішок в аналоговій і цифровій формах; P_L – потужність лазера.

Відповідно до завдання вимірювання концентрації забруднення для різних середовищ (повітря, вода, технологічні рідини, вугільний пил, технологічний пил та інші види викидів шкідливих речовин) вибирають:

- базову структуру лазерного концентроміра та метод його комплексного використання з іншими вимірювальними системами для оцінювання концентрації пилу в повітрі та воді;
- фізико-хімічні сенсори, які використовують оптико-гальванічні сенсори, чутливі до певних хімічних сполук, потенціал яких на виході залежить від рівня концентрації речовин у воді або повітрі;
- фізико-хімічні сенсори для оцінювання шкідливих компонент у повітрі, селективні до певних сполук (газоаналізаторів "ОКСИ 5М") відповідно – $\{SO_2, NO_2, CO, NO, NO_2, CO_2\}$ та їх концентрації.

Відповідно кожний клас сенсорів використовують для різних типів концентромірів забруднення води, повітря, для визначення хімічних компонент продуктів згорання, технологічних процесів, викидів у атмосферу димових газів теплових електростанцій, контролю концентрації вугільного пилу для котлів енергоблоків, пилового забруднення атмосфери.

Для кожного типу контролю розроблено методи відбору проб:

- примусове втягування повітря та газів з відповідними параметрами $\{C_K, T^0, C, W_m\}$;
- проби води в каліброваних скляних кюветах для оптичних і лазерних методів;
- стаціонарні та переносні лазерні концентроміри для оцінювання концентрації тонко дисперсного пилу в повітрі та продуктах згорання палива різних видів.

Аналіз процесу зондування забруднення середовища шкідливими викидами від техногенних систем. Для оцінювання рівня концентрації шкідливих викидів просторово-енергетичну структуру лазерних сигналів вибирають з урахуванням геометричних перетворень, щоб виконувалися умови активного зондування як у виділеному об'ємі, так і в оптичних кюветах

$$\bar{Z}_C(B_F | \alpha_C) = \bar{Z}_C(B_L | P) \otimes \bar{n}_S, (\alpha_S = \alpha_C),$$

векторною компонентою, яка визначає проєкційні перетворення лазерного променя з діаметром d_L . Тобто відповідно до структури лазерного променя і типу методу контролю формується лазерний зондуючий сигнал потужністю (PL/мВт) у відповідному базисі:

$$\forall Z_X^C \in V_X(d_L \neq 0), P_{BL}^r Z_X^C \left(\frac{\bar{n}_S}{\alpha_S} \right) V_F(B_F) / S_F \gg S_{ПЛ}$$

де: Z_X^C – просторова компонента зондуючого променя; $V_X(d_L \neq 0)$ – поверхня перерізу променя: $P_{BL}^r Z_X^C$ – проєкція кожної точки променя, через взаємодію з зоною локації з непрямым вектором $\bar{n}_S$; на фотоп-

риймач площею матриці $S_F (< \alpha_S < \alpha_C)$ кути зонduючого і відбитого променя.

Для енергетичної структури променя, яка вміщує відомості про параметри θ технологічного середовища, маємо співвідношення

$$I_S(\alpha_l(\theta) \cdot l)_{BF} = I_{0Bc}(< \alpha_C) \times \alpha_l(\theta | < \alpha_S, l),$$

де: $I_0()$ – інтенсивність зонduючого сигналу; $\alpha_l()$ – коефіцієнт розсіяння лазерного променя, який відображає взаємодію променів із середовищем TO – об'єкта, що характеризується параметром θ .

Згідно з законом Бугера, потужність відбитого лазерного променя при P_{0L} – потужність лазера:

$$P_S(\theta) = P_{0L} e^{-\alpha_T(\theta)l},$$

де $\alpha_T(\theta)$ – коефіцієнт розсіяння в зоні локації з траєкторією взаємодії l лазерного променя й технологічного об'єкта; P_S – потужність отриманого сигналу.

Вимірювальна інформація отримується на підставі перетворення лазерного сигналу, який проходить через середовище проби і втрачає потужність внаслідок розсіяння фотонів у об'ємі речовини:

$$[\alpha_T(\theta)l] = [\ln P_{0L} - \ln P_S^*]; P_S^* = \left(P_S + \sum_{i=1}^n P_{Si} \right),$$

тоді оцінювання параметра лазерного променя на виході кювети пов'язана з рівнем значень коефіцієнта розсіяння в середовищі та потужність на виході кювети з пробою:

$$\hat{\theta}_S|_{SL} = \phi \left(\alpha_T(\hat{\theta})l \right)_{SL} = \hat{\theta}_e^* \left(P_S^* / P_{0L} = \text{const} \right)_{SL} = K_Z \cdot \hat{P}_S^* /_{SL},$$

де: SL – логарифмічна шкала; $\hat{\theta}_S|_{SL}$ – оцінювання параметра стану технологічного об'єкта; K_Z – коефіцієнт зонduючого перетворення; P_S – підсвітка від зовнішніх джерел; P_{0L} – потужність лазерного сигналу; P_S^* – відбитий лазерний сигнал – переносник параметра θ .

Залежно від прийнятого методу розроблено схему активного зондування параметра стану середовища технологічного об'єкта (рис. 2). Така структура може реалізувати два режими активного зондування:

- з модуляцією для підвищення чутливості й розширення шкали – SL ;
- без модуляції, що збільшує вплив зовнішніх підсвіток P_S .

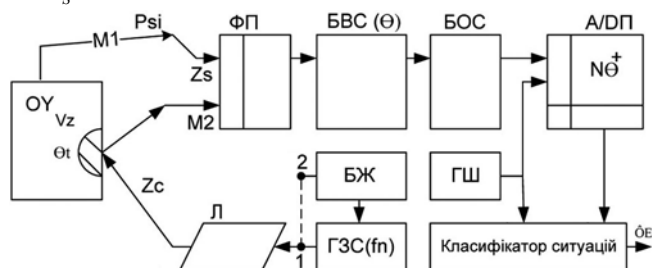


Рис. 2. Схема з активним зондуванням параметра стану технологічного середовища лазером / Schematic diagram with active sensing of the state parameter of the technological medium by a laser

При активному зондуванні параметра стану технологічного середовища використано позначення: ГЗС – генератор зонduючого сигналу; Z_S – сигнал від

лазера Л; Z_S – сигнал, відбитий від зони активної взаємодії Z_S ; ФП – фотоприймач лазерного сигналу; БВС(θ) – блок виявлення сигналу про параметр стану θ ; БОС – блок опрацювання; ГШ – генератор шкали; А/ДП – аналоговий дискретний перетворювач сигналу в цифрову форму N'_θ – в момент часу t ; $\hat{\theta}_E$ – експертна оцінка ситуації.

Оцінювання рівня концентрації в області зондування технологічного процесу ґрунтується на інформаційних перетвореннях за (C_k, θ) (відповідно до типу методу зондування – пряме зондування M_1 – середовища або за відбитим променем M_2 :

$$\leftarrow Z_C(\omega_M, P_L), t$$

$$C_K \rightarrow Z_S(\omega_M, P_S(C_K, \alpha_S), t) \rightarrow U_{FP}(\omega_M, t, \theta_F(C_K)) \rightarrow \left| \frac{\hat{U}_{FP}}{\theta_F(C_K)} \right| \rightarrow \hat{C}_k,$$

де: C_K – рівень концентрації компонент; Z_C , Z_S – зонduючий модулюючий сигнал лазера і відбитий; w – частота модуляцій лазерного сигналу.

Зондування екотехногенного рідинного середовища в пробі лазерним променем для оцінювання концентрації забруднення. Для контролю рідинних середовищ потрібні спеціалізовані перетворювачі, в яких процес вимірювання параметрів стану ґрунтується на комплексуванні методів і засобів відбору даних для виявлення інформаційних ознак [7, 8]. При таких процедурах відбору даних необхідно використовувати стандартні (SI) методи оцінювання:

- базових одиниць: L – довжина, M – маса; T – час; I – сила струму; θ – температура термодинамічна; I – сила світла; N – моль речовини;
- похідні: (ν, F) – частота коливань електричного струму; Q – електричний заряд; (V, φ, E) – електричний потенціал, різниця потенціалів, електрорушійна сила; P – електрична потужність; (S, Q, P) – повна, активна і реактивна потужності; W – активна електрична енергія;
- параметри електричних компонент систем: (C, LM) – ємність; індуктивність; взаємна індуктивність елементів; (R, g) – опір провідності елементів і фізико-хімічних компонент середовища.

Для перевірки вимірювальних перетворювачів використовують державні й вторинні еталони, які зберігаються в Національному науковому центрі "Інститут метрології" (м. Харків), проте для оцінювання фізико-хімічних елементів у розчинах та вимірювання їх концентрації не існує розроблених еталонів, що вимагає розроблення непрямих методів вимірювання, їх апаратного (сенсорів) та метрологічного забезпечення, вибору відповідних базових мір та шкал для градування згідно зі стандартом [SI]. При цьому можна, для підвищення інформаційної ефективності даних, комплексувати електричні, лазерні, гальванічні методи контролю технологічного середовища, що дає можливість якісного відбору даних відповідно до алгоритму інформаційних перетворень параметрів середовища методом лазерного зондування.

Значення концентрації домішок при прямому зондуванні кювети зі шкідливими компонентами визначають згідно з методом інформаційних перетворень потужності лазерного сигналу та його енергетичної взаємодії з середовищем проби:

$$\hat{C}_K = K_n \hat{I}(C_K, E_L, E_{I2}, \theta)_{SC}; S_C = \{S_{Ci} |_{i=0}^m\},$$

де: $\hat{C}_K$ – оцінювання концентрації; θ – параметр середовища; S_C – шкала концентрації певної речовини, що формується градуванням рівня C_{Ki} залежно від типу компонент у розчині в інтервалі значень для кожного хімічного складу речовини.

Оцінювання рівня концентрації формується згідно з інтервальною шкалою у вигляді

$$|Shc| \mapsto I(C_K) = [C'_K = \min, C''_K = \max | \theta_r],$$

для кожного типу методу вимірювань.

Стенд для наведення експериментальних досліджень. Розглянемо структурну схему стенду для комплексного дослідження методів вимірювання концентрації домішок у розчинах на підставі використання методів лазерного зондування та генерації гальванічного потенціалу (Zn / Cu) – електродами згідно з інформаційною діаграмою – моделі взаємодії компонент середовища:

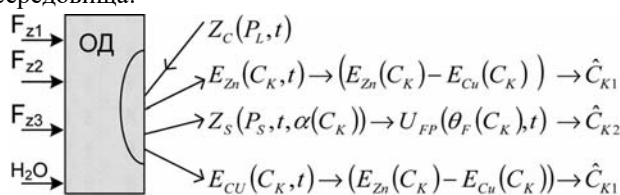


Рис. 3. Діаграма комплексного дослідження концентрації домішок у розчинах / Diagram of a comprehensive study of impurity concentration in the spacing

Позначення на діаграмі: (F_{Z1}, F_{Z2}, F_{Z3}) – домішки в розчинах водної проби з технологічних об'єктів; C_K – концентрація домішок у момент вимірювання ($t_i \in \tau_j$), τ_j – тривалість вимірювання; $Z_C(P_L, t)$ – зондуєчий сигнал лазера потужністю P_L ; $Z_S(P_S, t, \alpha(C_K))$ – лазерний сигнал на виході кювети з пробою домішок у рідину концентрацією C_K ; $\{E_{Zn}, E_{Cu}(C_K)\}$ – електрохімічний потенціал на виході гальвано-оптичних сенсорів.

Для контролю концентрації пилу і твердих домішок викидів забруднення розроблено метод лазерного зондування та оцінювання $\{C_K\}$ за сигналом лазера, який пройшов базову метрологічну дистанцію структури зондування.

Методи оцінювання рівня концентрації шкідливих домішок і пилу в технологічному та атмосферному середовищах з використанням лазерного зондування. Метод контролю лазерним зондуванням забруднення атмосфери продуктами згорання з ТЕС пилом з виробництв будівельної промисловості, відображено на рис. 3.

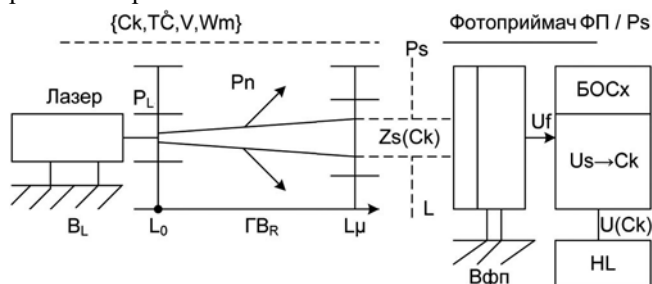


Рис. 4. Схема лазерного зондування пилового забруднення середовища техногенних систем виробничими відходами / Scheme of laser sensing of dust pollution of the environment of man-made systems with industrial waste

Залежно від рівня концентрації пилу і його дисперсності проходить розсіювання лазерного променя і зниження потужності, рівень втрат при цьому залежить від концентрації пилу і його структури, що відповідно вимагає побудови відповідних шкал для оцінювання параметрів пилового середовища.

Позначення на схемі: B_L – геометричний базис лазера, P_L – потужність лазера, L_0, L_μ – базис геометричного середовища із забрудненням $GB_R(L_0, L_\mu)$; P_S – потужність променя на виході області контролю, P_n – потужність розсіяного променя лазера, $ВФП$ – базис геометричний фотоприймача ($ФП/P_S$), $U_f(Z_S)$ – напруга лазерного сигналу на виході фотоприймача після процесу оброблення $Z_S(C_K)$ зондуєчого променя, $БОС_{ФП}(U_S \rightarrow C_K)$ – блок оброблення сигналу фотоприймача для інформаційного перетворення з метою оцінювання концентрації забруднення атмосфери викидами продуктів технологічного процесу в області контролю.

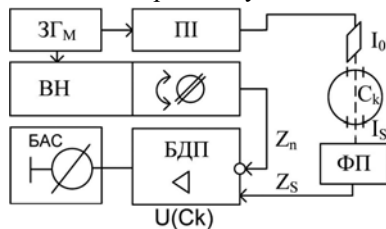
Методи лазерної діагностики високотемпературних потоків вугільного пилу та продуктів згорання в енергоблоках ТЕС. Важливою проблемою є контроль рівня концентрації потоків вугільного пилу в котли після мленів вугільної породи та концентрації продуктів згорання на виході, при їх направленні в систему димоходів.

Вугілля різних родовищ має домок породи, яка є баластом і становить від 5 до 45 % вмісту. При помолі у млинах вугільний пил надходить у рекуператори для нагріву потоку (400-900 °C) перед надходженням в топку котла. Зміна складу вугільного пилу призводить до зниження рівня корисного вмісту й енергоактивності. При перепадах концентрації вмісту помеленого вугілля проходять динамічні викиди концентрації $\{C_i\}$, що може призвести до аварії.

Вимоги щодо контролю концентрації високотемпературної суміші задовольняють лазерні методи дистанційного зондування – технологічного середовища через оптичні вікна в пилопроводах. В основу лазерного методу контролю концентрації в неперервному режимі потоку газопопилової суміші в пилопроводах енергоблоків покладено оцінювання втрат лазерного променя внаслідок розсіювання фотонів на пилових частинках, що рухаються в потоці пилопроводу при його поперечному зондуванні через оптичні вікна. Такі вікна врізані в трубу пилопроводу в поперечному перерізі й є проникними для лазерного променя, який проходить крізь потік пило-газової суміші продуктів згорання палива в котлі енергоблоку, яка може змінюватись при проходженні через рекуператор у межах 300-600 °C.

На рис. 4. наведено схему процесу і структури системи лазерного зондування високотемпературного вугільного пилу, який з млинів надходить у котел енергоблоку. На цьому рисунку введено такі позначення: $ЗГм$ – заданий генератор з частотою модуляції лазера ($f_\mu = 635$ Гц); $ПІ$ – блок імпульсного підсилення для живлення напівпровідникового лазера (червоний спектр $\lambda = 680$ нм); L_Z – лазерний випромінювач; $ВН$ – ранговий блок нормування оцінювання; $БДП$ – блок підсилення лазерного сигналу від фотоприймача, який виділяє компоненту рівня концентрації після оброблення модульованого сигналу ($Z_S(t, \tau, f) \rightarrow U_S(f, t, \xi)$) при

Відповідно до методу зондування середовища (пряме, відбитий промінь) визначають модель характеристики для рангування й оцінювання рівня концентрації потоку вугільного пилу високої температури в пилопроводі котла енергоблоку.



Оцінювання інтенсивності (енергії) розсіяного лазерного променя відповідного рівня концентрації на виході оптичного вікна у трубі пилопровода ґрунтується на вимірювальних перетвореннях лазерного зонduючого сигналу (рис. 4, 5):

- перетворення енергії променя при лазерному зондуванні:

$$I_s(t, S_c) = I_0 \exp(-\alpha L(C_K, S_L))$$

- відбір інформації про концентрацію пилю в області контролю:

$$\exp(-\phi_c(\alpha, S_e, C_K)) = I_s(t, S_e) \cdot I_0^{-1}$$

- визначення функції концентрації пилю після оброблення розсіяного сигналу пилом:

$$\begin{aligned}\phi_c(\alpha, S_e, C_k) &= \ln(I_S(t, S_e) / I_0) = -\ln I_S(t, S_e) + \ln I_0 = \\ &= \Delta \ln(\psi(I_S, I_0));\end{aligned}$$

- оцінювання розбалансування рівня концентрації пилу в пилопроводах формується в ранговому дискримінаторі на виході блоку оброблення (БОС) на підставі такого перетворення:

$$L_S \xrightarrow{C_K} U_{\Phi\Pi}(C_K, t, \tau) \rightarrow U(f, C_K) \rightarrow U(\hat{C}_K) \rightarrow \\ \rightarrow Rang(U(\hat{C}_K)) \rightarrow Rang_i(\hat{C}_K)_{l=1}^m$$

визначення аварійності $Rang \frac{ALARM}{AVAR}$ (тривожний стан концентрації або передаварійний стан енергоблоку за граничним навантаженням потужності генератора).

До комплексного методу контролю входять:

- лазерне зондування рідин, газів, продуктів згорання в газових котлах;
- використання хіміко-фізичних й оптоелектронних сенсорів для аналізу складу речовин;
- оптико-гальванічні лазерні методи контролю.

Відповідно до розробленого методу синтезу концентратоміра на підставі моделі лазерного фотометра створено експериментальні стенди для оптико-гальванічних досліджень фізичних ефектів у технологічних середовищах, для енергетики, нафтової і поліграфічної промисловості. Активізація процесів відбору даних унаслідок лазерного зондування проб у кюветах забезпечує вищий рівень чутливості та їх хімічного складу. На рис. 6 наведено схему розробленого стенду для проведення експериментів з комплексної оптико-гальванічної взаємодії лазерного фотонного променя з речовиною відібраної проби з метою оцінювання складу водних розчинів і електрохімічних структур.

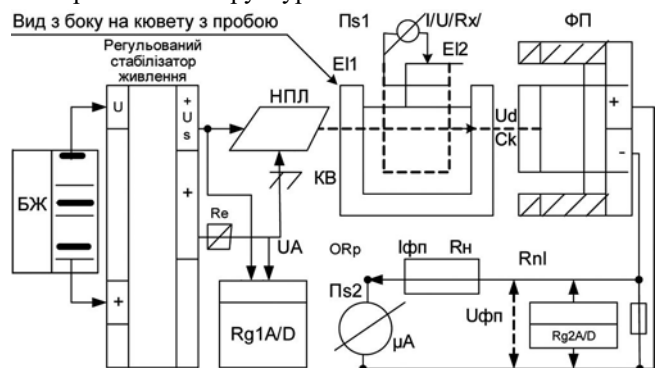


Рис. 7. Стенд для вивчення лазерних ефектів активної взаємодії речовин у розчинах / Stand for the study of laser effects of active interaction of substances in solutions

До структурної схеми входять такі блоки:

- блок живлення з регульованим стабілізатором напруги в діапазоні $U_S \in [0 - 5]B$ для зміни потужності лазера;
- R_{nl} – навантаження фотоприймача лазерного сигналу;
- R_d – опір калі бровки фотоелектричного сигналу з матриці;
- A/D – мультиметр напруги й струму з пристроєм реєстрації вимірювальних даних в ході проведення експерименту;
- НПЛ – напівпровідниковий лазер з потужністю (5, 50, 1000 мВт);
- BL – геометрична базова установка лазера і фотоприймача;
- КВ – прозора кювета з розчином хімічних компонент у воді;
- $\{E_{il}\}$ – набір електродів (цинкові, мідні, срібні, вугільні);
- P_{SI} – стрілковий (А/Д) прилад контролю напруги (струму) між електродами E_{il} у режимі контролю оптико-гальванічного перетворення сигналу завдяки квантовим ефектам;

- ФП – фотоприймач лазерного сигналу після його проходження через кювету з пробою забрудненої рідини і водосховища;
- П₅₂ – прилад контролю сигналів секціями фотоприймача.
- Rg₂(A/D) – реєстратор напруги на виході фотоприймача, яка генерується в момент прийому лазерного сигналу на матриці фотоприймача і виділяється на резисторі навантаження RU.

Моделі сенсорів для контролю концентрації шкідливих забруднень води у водосховищах ТЕС на підставі використання оптико-гальванічних ефектів. Базовою моделлю оптико-гальванічного сенсора є комплексування гальванічних пар з різнорідних металічних електродів (Cu/Zn), які генерують електрорушійну силу в рідинному середовищі за рахунок $\varepsilon_S = \phi_1(Z_n) - \phi_2(C_2)$ електродних потенціалів (ϕ_1 , ϕ_2) та активізації рідини на квантовому рівні лазерними фотонами

$$(H_2O / C_K) \rightarrow \left(\phi_1 \otimes_{C_K}^{KVj} \phi_2 \right) \rightarrow \langle U_{1,2}(C_K), I_{1,2}(C_K) \rangle, \\ (P_{Zl}) \rightarrow \lambda_i \rightarrow \uparrow \uparrow \leftarrow (P_{Sl}) / (C_K) \dots \dots \dots$$

де: C_K – концентрація шкідливих викидів; (ϕ_1 , ϕ_2) – потенціал гальванічної взаємодії; KVj – квантові фотонні ефекти, збуджені лазером, (P_{Zl} , P_{Sl}) – потужність зондування і розсіяного лазерного променя, $I_K(C_K)$ – струм у колі гальванічної пари.

Розглянемо характеристики вимірювальних сенсорів концентрації з використанням оптико-гальванічних ефектів. Наведемо схему вимірювальної системи для комплексного дослідження водного розчину та концентрації домішок у розчинах (рис. 7) на підставі методу комплексного експерименту з лазерного зондування та оптико-гальванічної генерації динамічного електропотенціалу для визначення рівня концентрації хімічних реагентів у продуктах шкідливих викидів під час технологічного процесу у водне середовище водосховища ТЕЦ на підставі взятих проб для оптичної кювети (ОКр).

На підставі проведених досліджень взаємодії енергії лазерного променя і водного середовища генерується сигнал у гальванічній парі (E_{11} , E_{12}) та формується лазерний сигнал на виході кювети. На підставі лазерного оптико-гальванічного ефекту розроблено схему концентратоміра (рис. 8).

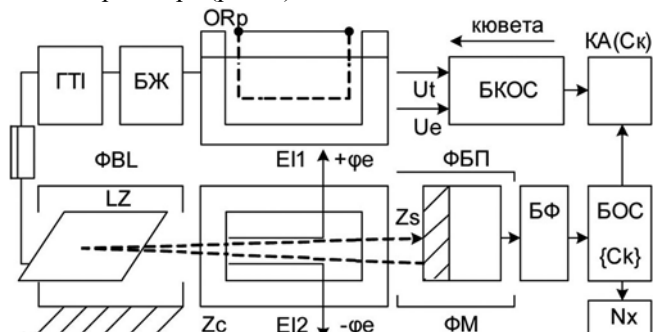


Рис. 8. Схема оптико-гальванічного сенсора для відбору даних про рівень концентрації домішок у воді / Schematic diagram of an optical-galvanic sensor for sampling data on the level of concentration of impurities in water

Позначення на схемі: БЖ – блок живлення; ГТІ – генератор імпульсів для модуляції лазера; LZ – лазер для зондування проби в кюветі; $Zc(t, Pz, fi)$ – зондуєчий

лазерний сигнал потужністю P_E і частотою f_{μ} ; ФВІ – фото бленда захисту лазера; ОКр – оптична кювета з пробою; (E_{11} , E_{12}) – електроди гальванічного сенсора; PZ_s – потужність сигналу на виході кювети; ФМ – фотоматриця; ФБП – фото бленда захисту фотоприймача матриці; БФ – блок фільтрів лазерного сигналу після перетворення у фотоматриці; БОС – блок оброблення сигналу для оцінювання рівня концентрації домішок у пробі води після лазерного зондування; Nx – аналогово-цифровий перетворювач сигналу для оцінювання концентрації в дискретній (цифровій) формі представлення інформації про рівень забруднення води; БКОС – блок комплексного оброблення оптико-гальванічних сигналів від електродів (E_{11} , E_{12}); RA(C_K) – аналоговий реєстратор сигналу від оптико-гальванічних і лазерних сенсорів.

Лазерний оптико-гальванічний ефект при зондуванні проб в оптичній кюветі, в якій подана вода забруднена викидами ТЕС (продукти згорання), є підставою генерації двох фізично різних сигналів:

1. Сигнал лазерного зондування на виході оптичної кювети (комірки) проби води з домішками з певним рівнем концентрації

$$(Z_G, P_C) \rightarrow R_{VS}(C_K) \otimes (P_Z, Z_S) \rightarrow (\alpha_S^{C_K}, P_Z) \rightarrow P_S(C_K),$$

$P_S(C_K) \xrightarrow{\alpha_{ФП}} U_{ФП}(P_S(C_K)) \xrightarrow{K_{us}} \{\hat{C}_K\}$, де K_{us} – нормуючий коефіцієнт для оцінювання концентрацій домішок при лазерному зондуванні.

2. Сигнал гальванічної пари, зануреної у кювету з пробою води з водосховища з певним рівнем концентрації забруднення, формується згідно з діаграмою оптико-гальванічної квантової взаємодії при лазерному зондуванні проб забрудненої води

$$(H_2O + R(C_K)) \xrightarrow{E_n} N_p \rightarrow \Delta U_K(P_Z, C_K, R(C_K)) \rightarrow \{P_Z\} \dots \dots \dots \rightarrow \langle C_K / I_{12}(\hat{C}_K) \rangle.$$

Відповідно до схеми дослідження змінними параметрами є:

- напруга, струм, потужність випромінювання напівпровідникового лазера за рахунок зміни напруги стабілізатора, при цьому маємо $V_{Ar}(U_S \in [0 - 5]B) \rightarrow V_{Ar}(P_L \in [0 - P_{max}])$;
- зміна концентрації домішок, розчинених у рідині в кюветі $C_{Kd} \in [C_{Kmin}, C_{Kmax}]$.

Беручи до уваги сформульовану методику оцінювання рівня концентрації домішок, можемо отримати функціональні характеристики:

- Рівень концентрації $C_K \rightarrow U_{ФП}(P_S(C_K))$ при $P_L \in \{P_i - const, P_i \in [0 - 500]mBm\}$;

- Напруга на виході фотоприймача як функція концентрації

$$U_{ФП}(C_K) \rightarrow \{U_{ФП}(P_S / C_K) / P_L - const, C_{Ki} - V_{ar}\};$$

$$U_{ФП}(C_K) \rightarrow \{U_{ФП}(P_S / C_K) / P_L - V_{ar}, C_{Ki} - const\};$$

$$I_{ФП}(C_K) \rightarrow \{\varepsilon_{ФП}(P_S / C_K) / P_L V_{ar}, C_K - const, R_A - const\}.$$

Побудова градувальних характеристик відносно концентрації домішок ґрунтується на $U - (C_K) = \psi(P_L, C_K)$, $I_{ФП} = \psi(R_H)$, $U_{ФП} = \psi(R_N)$

Концентратомір домішок у розчині з логарифмічною шкалою низької чутливості за сумісних

вимірювань (U_L , $U_{\Phi\P}$, $I_{\Phi\P}$) описується системою рівнянь, які пов'язують рівень концентрації домішок з напругою, струмом, потенціалом і струмом активних електродів (Cu , Zn) для оптико-гальванічного сенсора.

$$I_X = I_0 \exp(-\alpha(C_K)l_K); \alpha(C_K)l_K = \ln I_X - \ln I_0;$$

$$\alpha(C_K) = \frac{1}{l_K} [\ln U_{\Phi\P}(P_X) - \ln U_{\Phi\P}(P_0)]; P_L = U_{\Phi\P}(I_L) \cdot K_{U,P};$$

$$C_K = \psi(\alpha, V_K, l_K) \cdot \Delta U_{\Phi\P} (\ln U_X - \ln U_0) \left[\frac{m^2}{cm^3} \right]; U_{\Phi\P} = I_{\Phi\P} R_i,$$

де: C_K – концентрація домішок; α – приведений коефіцієнт розсіювання; $U_{\Phi\P}$ – напруга фотоприймача; (V_K, l_K) – об'єм і довжина кювети, $Rg(A/D)$ – аналого-цифровий реєстратор даних; $I_{\Phi\P}$ – струм фотоприймача; R_i – опір навантаження.

Відповідно до функціональної схеми формують експериментальним способом вимірювальні характеристики концентратоміра (див. рис. 8) з урахуванням потужності зондування лазера.

Градувальні характеристики сенсорів концентрації домішок у розчинах і пилових потоках мають однакову модель. Градувальні характеристики (лазер – фотоприймач) представимо у вигляді системи, де $P_L[mBm] \in [0-500]mBm$ – потужність лазера; $I_{\Phi\P}[mA] \in [0-500]mA$ – струм фотоприймача за різних навантажень R_i . Графік залежності $I_{\Phi\P} = \psi(R_i, P_L)$ показано на рис. 9.

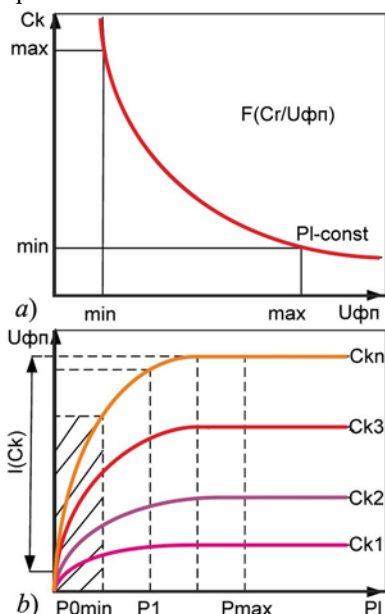


Рис. 9. Характеристики вимірювання концентрації / Characteristics of concentration measurement

Під час лазерного зондування відбитий лазерний сигнал залежить від потужності лазера та рівня концентрації домішок у технологічному середовищі в області його зондування (в рідинному чи пилоподібному). Характеристика перетворення $I_{FP} = \varphi(P_L, C_K, R_n)$, де P_L – потужність лазера; C_K – концентрація; R_n – опір навантаження фотоприймача.

Як видно з дослідження, характеристики є нелінійними. Для лінійного наближення функції перетворення потрібно збільшувати потужність лазера, що веде до зростання енергії зондування середовища.

Побудова функції залежності струм – потужність при освітленні лазером фотоприймача здійснюється на

підставі експерименту. $U_L[B]$ – напруга на фотоматриці фотоприймача лазерного променя; $P_L[mBm] = [0-500]mBm$ – потужність лазерного променя $P_L = \int_{\Omega} I(x, y) W_l(x, y) d\Omega$ – потужність, інтег-

ральна проєкції лазерного променя на площині Ω поверхні фотоприймача.

Функція залежності $\psi(R_i, P_L, R_n)$ напруги фотоприймача від значень калібрувальних резисторів будується за результатами вимірювання величини напруги фотоприймача відповідно до потужності лазера для кожного значення калібрувального резистора шкали концентрації (R_n) при заданому рівні концентрації компонент як у газовому, так і в рідинному середовищах об'єкта контролю технологічної системи (рис. 10). За різних потужностей напівпровідникового лазера та калібрувальних резисторів на виході фотоприймача

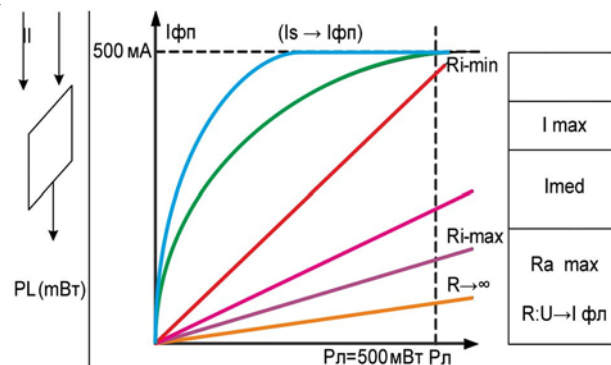


Рис. 10. Графік функції залежності $I_F = K(P_L)$ (струм – потужність) / Graph of the function of dependence $I_F = K(P_L)$ (current – power)

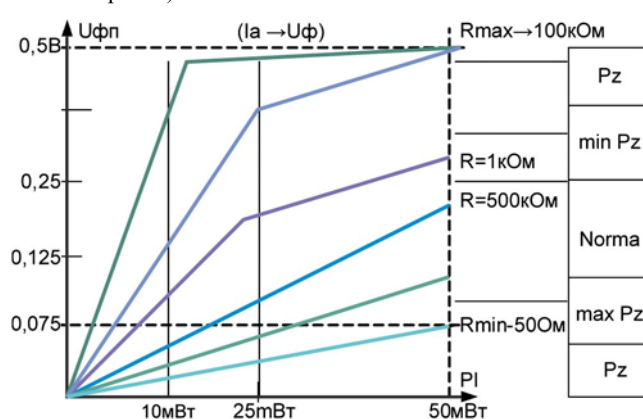


Рис. 11. Функція залежності напруги фотоприймача з урахуванням потужності лазера на підставі результатів вимірювання фотосигналу / Function of photodetector voltage dependence considering laser power based on photosignal measurement results

Наведемо принципову схему комірки матриці фотоприймача лазерного сигналу. Побудована залежність напруга – потужність при освітленні лазером кремнієвої матриці фотоприймача має вигляд (рис. 11), де: $R_{\Phi\P}$ – опір внутрішній ФП; R_n – опір навантаження фотоприймача; P_L – потужність потоку фотонів, згенерованих лазером.

Аналіз характеристики фотоприймача $\psi(R_i, P_L, R_n)$ для побудови лазерних сенсорів показує, що для кожної нормованої потужності лазера необхідно виміряти показники параметрів сигналу на виході фотоприймача

(які генеруються на матриці під дією лазерного променя) за різних значень опору навантаження (рис. 12).

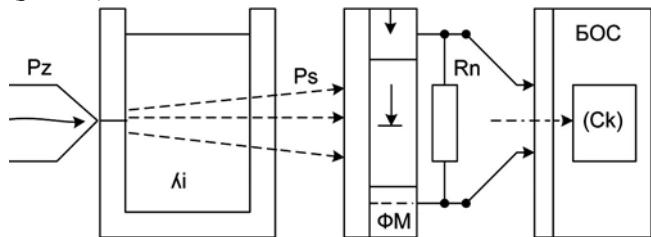


Рис. 12. Схема фотоматриці для прийому лазерного сигналу після зондування проби в кюветі з розчином / Schematic diagram of a photomatrix for receiving a laser signal after probing a sample in a cuvette with solution

Відповідно до структури матриці потрібно обґрунтувати модель просторового узгодження лазерного променя (по перерізу) з розміром вікна фотоматриці (рис. 13).

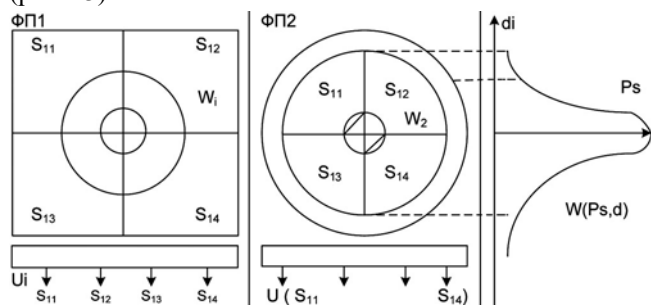


Рис. 13. Структура матричного фотоприймача лазерного сигналу для концентратоміра / Structure of matrix laser signal photodetector B for concentrator

Позначення: ФП₁ – фотоприймач з кремпійованими фотопластинами; ФП₂ – круглий секторний фотодіод; $W(P_s, d)$ – функція розподілу зондування секторами фотоматриці.

Наведемо цифрові фотографії лазерного променя після зондування кювети (в перерізі та довжині) з пробєю із забрудненням рідинним розчином трасою проходження лазерного сигналу.

Цифрові фотографії лазерного променя при проходження через кювету з розчином

Структура зондування лазерного променя на виході кювети для різних типів технологічних водних розчинів. Концентратоміри побудовані на підставі електрохімічних сенсорів для контролю продуктів згорання палива різного виду в котлах.

Промисловість України випускає газоаналізатори серії [Окси 5М – 5НД], в яких у ролі сенсорів використовують мембранні електрохімічні вимірювальні перетворювачі складових компонент продуктів згорання різного виду палива. Первинні сенсори формують електричні сигнали за рахунок електрохімічної квантової взаємодії компонент газу продуктів згорання з поверхнею сенсора, які проходять через мембрану. Для контролю температури і тиску відповідно використовують електромеханічні сенсори перетворення фізичних величин – термопари і п'єзорезистивні здавачі.

На фотографіях лазерного променя відображено такі ситуації:

- 1) чистий розчин з низьким рівнем концентрації (рис. 14,а);
- 2) забруднений розчин (рис. 14,б);
- 3) поздовжній трек променя з мінімальною концентрацією забруднення розчину (рис. 15,а);
- 4) поздовжній трек променя з високим рівнем забруднення (рис. 15,б).

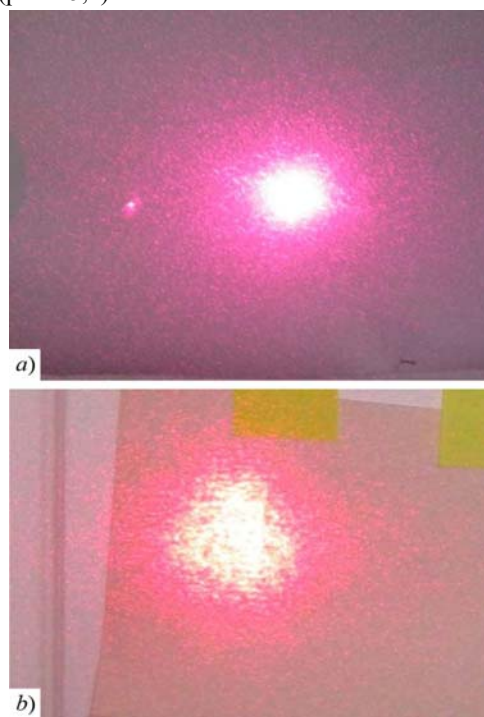


Рис. 14. Проходження лазерного променя через: а) чистий розчин з низьким рівнем концентрації / a clean, low-concentration solution; б) забруднений розчин / a contaminated solution

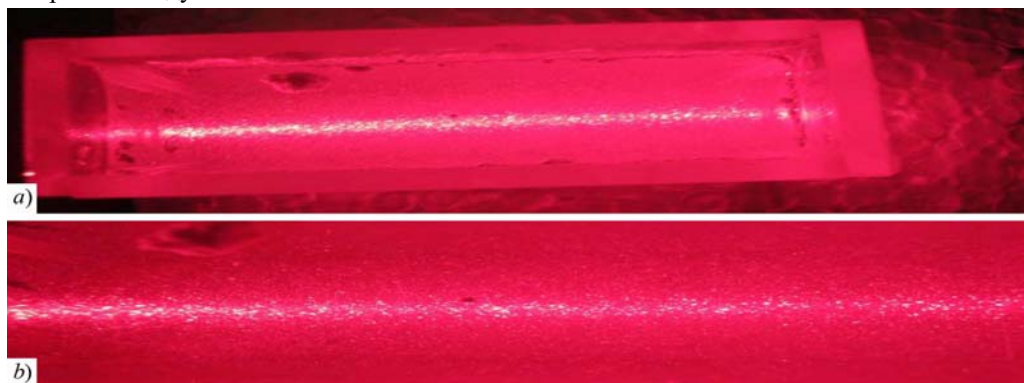


Рис. 15,а. Поздовжній трек променя з / Longitudinal beam track with: а) мінімальною концентрацією забруднення розчину / minimum concentration of solution contamination; б) високим рівнем забруднення / high levels of contamination

Іонно-селективні сенсори в системах відбору сигналів про стан забруднення повітря і води.

Газоаналізатор призначений для еколого-технологічних вимірювань об'ємної концентрації газів (продуктів

згорання палива) у пилопроводах і димових газах котельного обладнання, а також температури і тиску і відповідає вимогам ГОСТ 1297 та стандартам ДСТУ ОIHL11.

1. Залишкового кисню (O_2);
2. Оксиду вуглецю (CO);
3. Оксиду азоту (NO);
4. Діоксиду азоту (NO_2);
5. Діоксиду сірки (SO_2).

Відповідно газоаналізатор забезпечує параметри контролю компонент продуктів згорання згідно з даними Табл. 1.

Табл. 1. Параметри контролю компонент продуктів згорання / Parameters for the control of components of combustion products

№ з/п	Величина	Діапазон	Похибка, %
1	Об'ємна частка O_2	0-21 %	0,2
2	Об'ємна частка CO	0-5000 млн ⁻¹	5
3	Об'ємна частка NO	0-2000 млн ⁻¹	10
4	Об'ємна частка N_2O	0-2000 млн ⁻¹	10
5	Об'ємна частка SO_2	0-5000 млн ⁻¹	10
6	Температура газу	0-600 °C	0,5
7	Тиск газу	-(0 - +7000) Па	0,5

Для відбору проб газу використовується нормуючий відбірник газу проточного типу, що забезпечує граничний коефіцієнт концентрації компонент на 200 %. Тривалість циклу вимірювання концентрації компонент у газовому потоці $T_u < 40$ хв.

В основі інформаційного процесу відбору даних про концентрацію і склад у підходящих потоках газу з температурою (0-600 °C) використовують електрохімічні квантові ефекти, пов'язані з перетворенням інтенсивності та об'єму компонент з поверхню.

$$K_i(C_k) \rightarrow \infty \leftarrow Psen(R^3 / (K \rightarrow l)) \rightarrow U(K_{i,t}, T^0C, P / C_k)$$

Відповідно розроблено компонентний сенсор, структурну схему якого наведено на рис. 12.

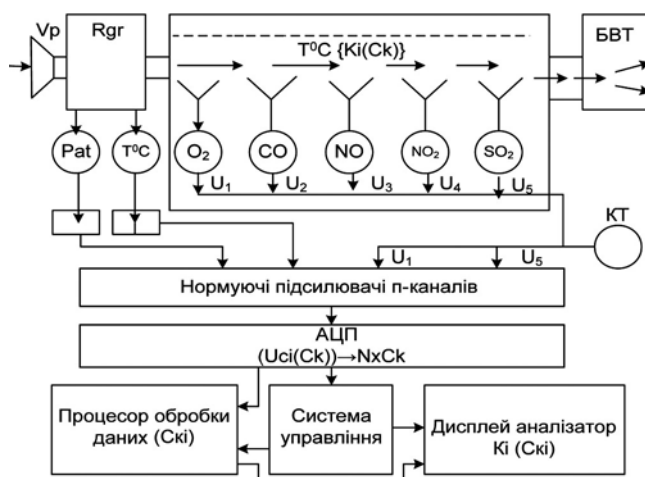


Рис. 16. Структурна схема компонентного сенсора / Block diagram of a component sensor

Для оцінювання рівня забруднення компонентами відходящих газів проведено багатофакторний аналіз рівня концентрації згідно з методом інформаційного перетворення, відповідно, розроблено формули й алгоритми обчислення компонент у стандартній формі представлення процесором оброблення даних з урахуванням температури потоку та тиску і надлишку O_2 в потоці газу для кожного типу палива.

Відповідно визначено типи палива, які використовують газоаналізатор (мазут, природний газ, коксохімічний, зріджений газ, газ місцевого видобутку).

Аналіз отриманих результатів дослідження. Проведені науково-дослідні роботи за останні п'ятнадцять років у межах науково-технічних програм Центру стратегічних досліджень "Еко – біо – технічних систем", виконаних як у лабораторії лазерного зондування так і на підприємствах стратегічного рівня (Бурштинська ТЕС, Добротвірська ТЕЦ, склозаводах будівельного сектору Буча, Ірпінь, Костопіль, Рокитне), показали важливість створення комплексних систем екомоніторингу рівня техногенного забруднення, як навколишнього середовища, так і всієї екосистеми. Використання лазерних методів зондування концентрації пилу і забруднення води показало їх ефективність та створення нових типів сенсорів для інформаційно-вимірювальних систем, наштовхнуло на нові ідеї з розроблення сенсорів з комплексним використання лазера, оптико-гальванічних й іонно-селективних методах дослідження. Що відповідно потребувало для контролю стану екологічного середовища за дії викидів шкідливих речовин техногенними системами в атмосферу, ґрунти і водосховища на підставі комплексування новітніх методів і технологій.

Контроль концентрації вугільного пилу після помолу млина і подачі в пилопровода котли енергоблоку є основою визначення рівня продуктів згорання залежності від режиму навантаження енергоблоку. Якість помолу (мікродисперсного) залежить від типу вугілля, поставленого з різних вугільних шахт. Вугілля різних джерел має вміст породи (10-40 %), з яких формують викиди пилу як забруднювачі атмосфери, при цьому високий рівень вмісту породи знижує енергетичну ефективність вугілля. Джерелом енергії є процеси горіння самого вугілля і відповідно формується потік шкідливих газів, які викидаються в атмосферу. Енергетичний рівень процесу горіння залежить від концентрації вугільного пилу, який відповідно забезпечує в процесі спалювання енергетичну потужність котла. У разі зміни якості вугілля за різних поставок різкий ріст концентрації вугільної складової може призвести до аварійної ситуації або вибуху котла. Тому необхідно контролювати концентрації вугільного пилу в пилопроводах та сигналізувати про виникнення аварійних режимів. Результати контролю вугільного пилу в енергоблоках наведено у табл. 2-5.

Лазерний концентратомір вугільного пилу, розроблений у лабораторії лазерних технологій Центру стратегічних досліджень "Еко – біо – технічних систем" і виготовлено партію на замовлення Бурштинської ТЕС в вуглепроводах котлів енергоблоків (температура пилу 300-600°C). Відповідно до концепції лазерного методу вимірювання концентрації пилу розроблено методи калібровки за рівнем концентрації. За вимогами технологічного контролю режиму енергоблоків у лабораторії КІП і автоматики регулярно виконують вимірювання рівня концентрації на підставі гравітаційної моделі потоку вугільного пилу в пилопроводі і для звітності інженерний відділ подає протоколи.

Протоколи розрахунку концентрації пилу на Бурштинській ТЕС. Розраховують за такою формулою: $C_k = \frac{\sum \Delta m_i}{V_{t_i} \times S} [г / м^3]$, де: $V_l = 10$ м/с – швидкість

поток пилу; $\Sigma \Delta m_i$ – сумарна маса пилу; S – площа за тривалості забору пилу $t_i = 10$ с.

Протокол № 1/21.09.21

Табл. 2. Розрахунок концентрації пилу в пилопроводах блоку № 4: Пилопровод А / Calculation of dust concentration in dust pipelines of block N 4: Dust pipeline A

№ з/п	m_{i0}	Σm_i	Δm_i	l_j	d_j	S_j
1	300	450	150	230	18	2,5
2	400	520	120	230	18	2,5
3	300	420	120	230	18	2,5
4	300	360	60	200	18	2,5
5	300	420	120	200	18	2,5
6	300	480	180	190	18	2,5
		$\Sigma \Delta m_i = 740,0$			$\Sigma S_i = 226 \text{ см}^2$	

$$C_k = \frac{0,74}{226 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 10} = 3,2 \text{ г/м}^3.$$

Табл. 3. Розрахунок концентрації пилу в пилопроводах блоку № 4: Пилопровод Б / Calculation of dust concentration in dust pipelines of block N 4: Dust pipeline B

№ з/п	m_{i0}	Σm_i	Δm_i	l_j	d_j	S_j
1	1320	1450	130	9	2,5	22,5
2	1380	1560	230	9	2,5	22,5
3	1450	1670	220	8,5	2,5	22,5
4	1040	1290	220	9	2,5	22,5
5	1360	1480	120	9	2,5	22,5
6	1560	1610	50	9	2,5	22,5
		$\Sigma \Delta m_i = 200$			$\Sigma S_i = 135 \text{ см}^2$	

$$C_k = \frac{1090}{135 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 10} = 8,074 \text{ г/м}^3.$$

Протокол № 2/21.09.21

Табл. 4. Розрахунок концентрації пилу в пилопроводах блоку № 4: Пилопровод А / Calculation of dust concentration in dust pipelines of block No. 4: Dust pipeline A

№ з/п	m_{i0}	Σm_i	Δm_i	l_j	d_j	S_j
1	790	1190	400	9	2,5	22,5
2	790	1060	270	9	2,5	22,5
3	790	920	120	9	2,5	22,5
4	790	1000	250	9	2,5	22,5
		$\hat{\Delta} = 200 \text{ мг}$	$\Sigma \Delta m_i = 1040 + 200$		$\Sigma S_i = 90 \text{ см}^2$	

$$C_k = \frac{1240}{90 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = 13,7 \text{ г/м}^3 / 2 = 6,8 \text{ г/м}^3.$$

Табл. 5. Розрахунок концентрації пилу в пилопроводах блоку № 4: Пилопровод Б / Calculation of dust concentration in dust pipelines of block N 4: Dust pipeline B

№ з/п	m_{i0}	Σm_i	Δm_i	l_j	d_j	S_j
1	700	1200	500	9	2,5	22,5
2	510	880	370	9	2,5	22,5
3	750	1200	550	9	2,5	22,5
4	630	1200	570	9	2,5	22,5
		$\hat{\Delta} = 200 \text{ мг}$	$\Sigma m_i = 1990 + 200$		$\Sigma S_j = 90 \text{ см}^2$	

$$C_k = \frac{2190}{90 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 10} = 12,16 \text{ г/м}^3.$$

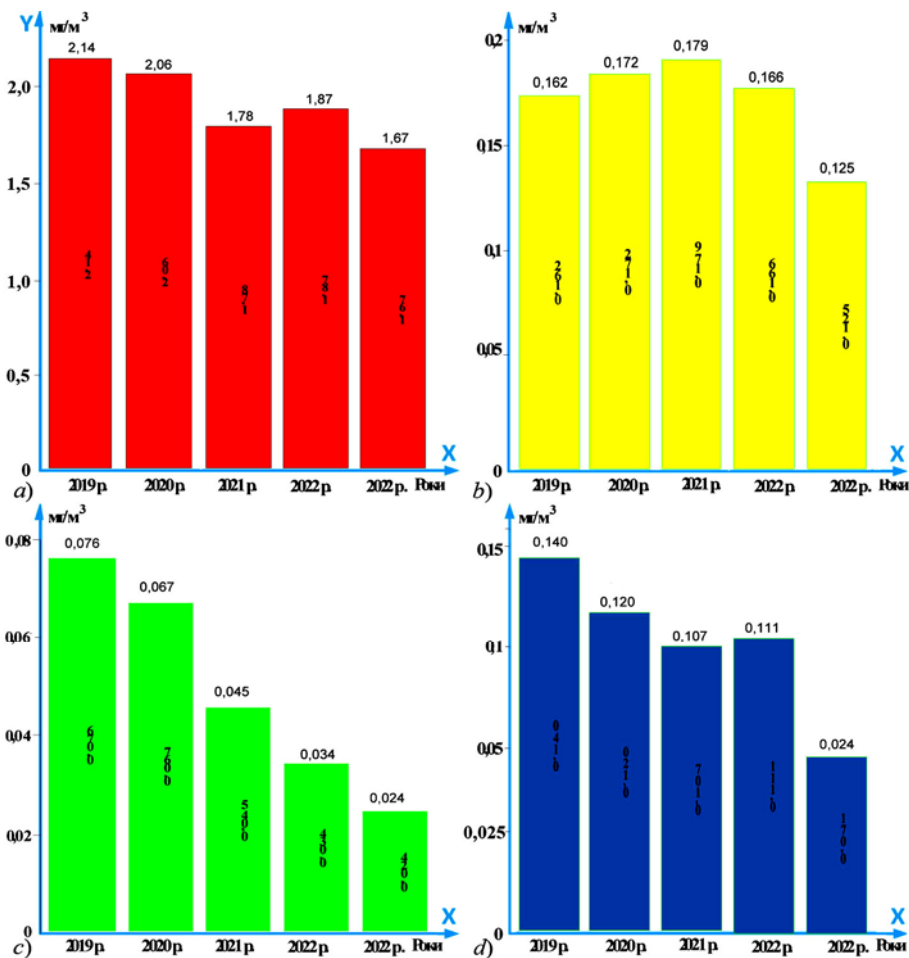


Рис. 17. Графіки викидів шкідливих речовин в атмосферу за період 2019-2023 рр. / Graphs of emissions of harmful substances into the atmosphere for the period 2019-2023: а) викиди оксиду вуглецю / carbon monoxide emissions; б) викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційовані за складом / substances in the form of suspended solid particles, undifferentiated in composition; в) діоксин азоту / nitrogen dioxide; г) діоксид сірки / sulphur dioxide

Контроль концентрації продуктів згорання палива та шкідливих викидів газів, пилу підприємствами різного типу у повітря і водне середовище. Для концентрації шкідливих викидів пилу в атмосферу техногенними системами використовують лазерні концентратоміри (одно- і двоканальні) на базі лазерного фотометра та лазерного методу контролю і приладів, які застосовують для вимірювання концентрації вугільного пилу в пилопроводах. Лазерні фотометри забезпечують вимірювання концентрації водних розчинів і рівень їх забруднення з використанням проб в оптичних кюветах. Для контролю рівня концентрації пилу використовується дистанційне зондування за схемою лазерного концентратоміра з базами вимірювання по довжині (0,5-10 м), що забезпечує дос-

татньо ефективний контроль пилового забруднення атмосфери.

Контроль хімічних складників викидів у атмосферу виконують за допомогою "Оксиметра 5М" згідно зі стандартними методиками для нормованих хімічних сполук. Наведемо графіки викидів хімічних сполук в атмосферу на різних підприємствах з 2019 по 2023 рр., отриманих з допомогою вимірювального приладу "Оксиметра 5М".

На графіках (рис. 17, 18, 19) наведено результати оброблення даних, за період 2019-2023 рр., отриманих у процесі проведення дослідження викидів шкідливих речовин на підприємствах області (згідно з методиками держстандарту України).

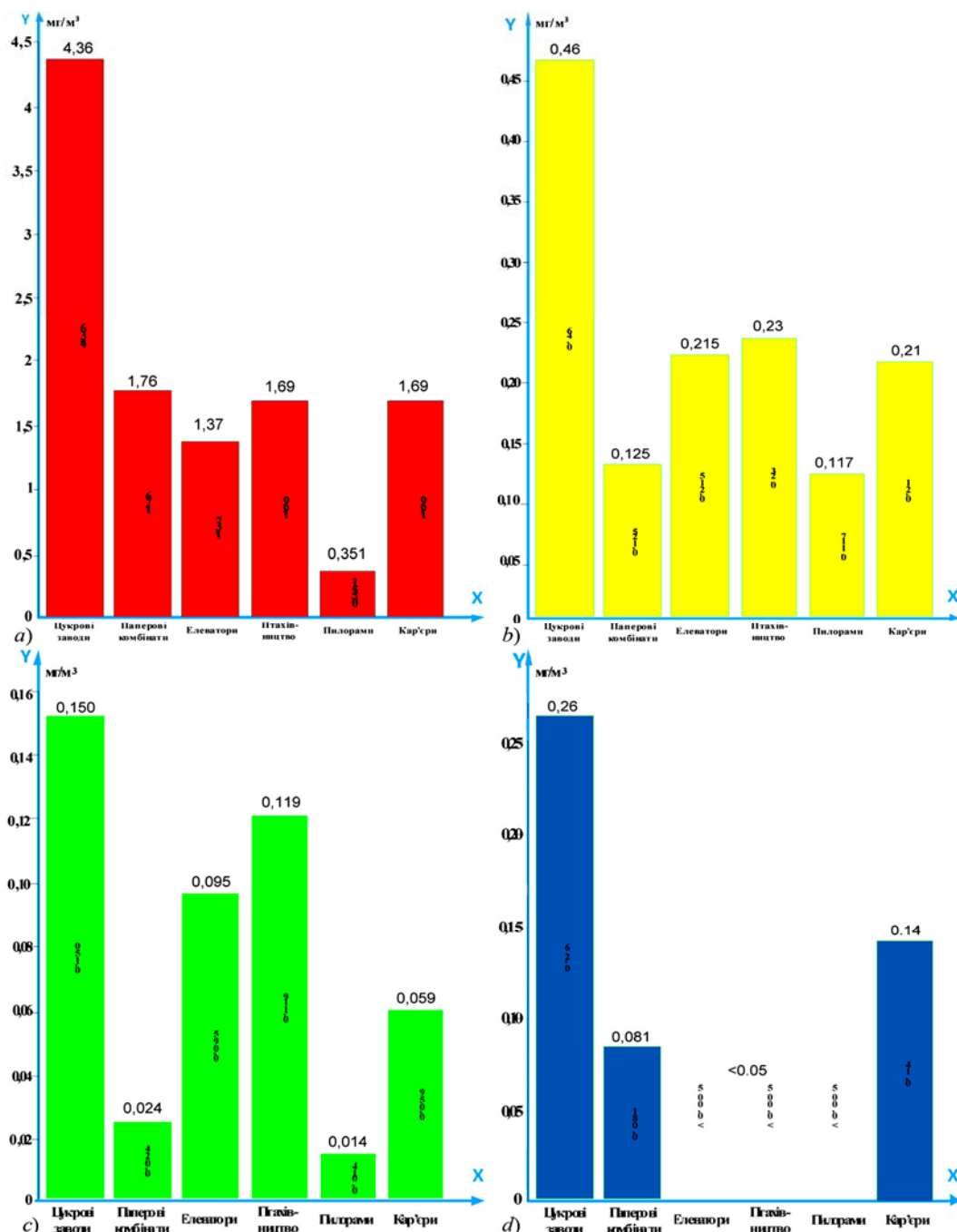


Рис. 18. Графіки викидів шкідливих речовин різними підприємствами за 2023 р. / Graphs of emissions of harmful substances by various enterprises for 2023: а) викиди оксиду вуглецю / carbon monoxide emissions; б) викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок не диференційовані за складом / emissions of substances in the form of suspended solid particles undifferentiated in composition; в) викиди азоту діоксиду / nitrogen dioxide emissions; г) викиди діоксиду сірки / sulphur dioxide emissions

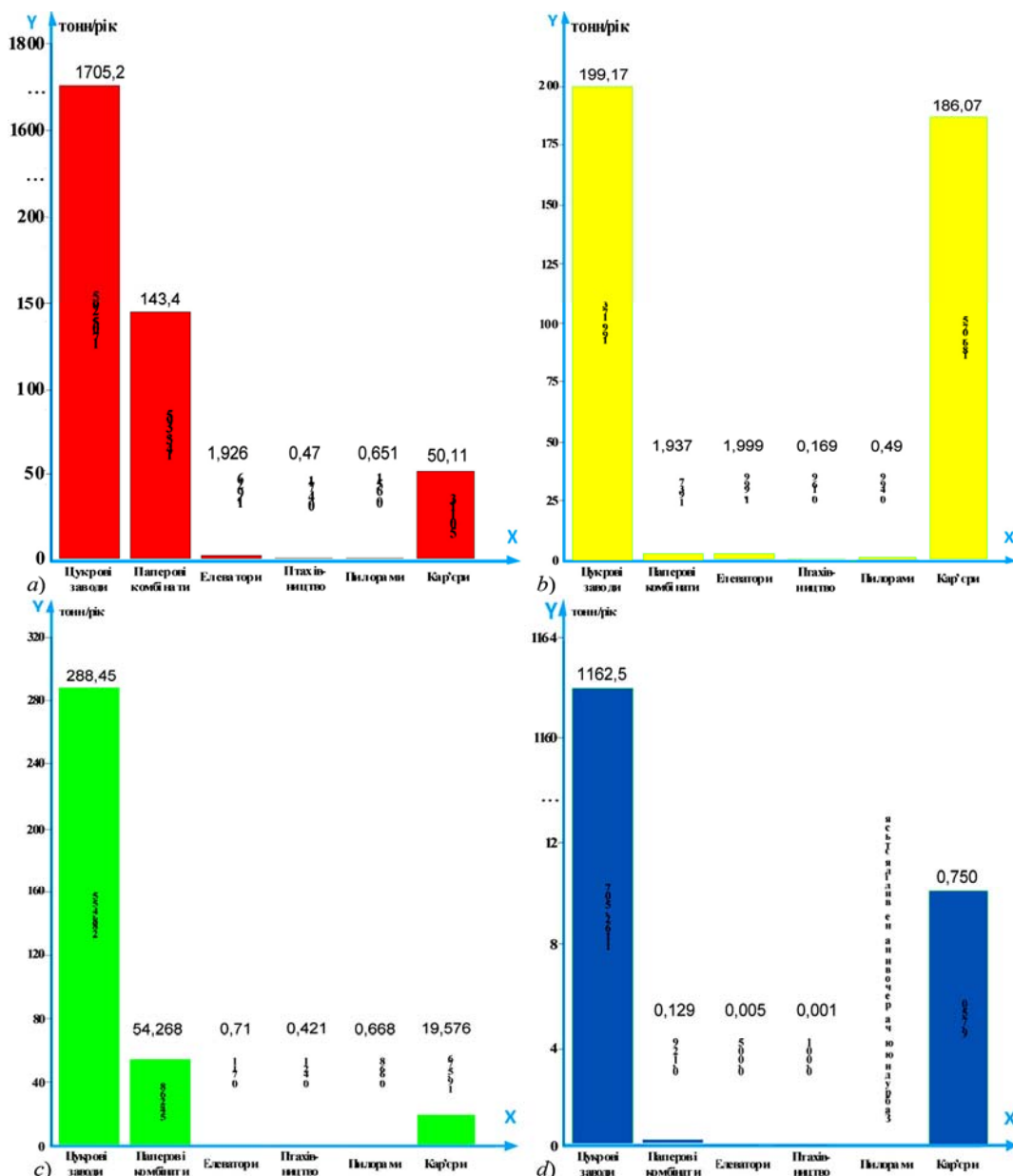


Рис. 19. Графіки валових викидів шкідливих речовин різними підприємствами за 2023 р. / Graphs of gross emissions of harmful substances by various enterprises for 2023: а) викиди оксиду вуглецю / carbon monoxide emissions; б) викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційовані за складом / emissions of substances in the form of suspended solid particles undifferentiated in composition; в) викиди азоту діоксину / nitrogen dioxin emissions; д) викиди діоксину сірки / sulphur dioxide emissions

Наведено графіки викидів шкідливих речовин різними підприємствами за 2023 р., а саме: цукрові заводи; паперові комбінати; елеватори; птахівництво; пилорами; кар'єри.

Наведено графіки по валових викидах шкідливих речовин різними підприємствами за 2023 р. цукрові заводи; паперові комбінати; елеватори; птахівництво; пилорами; кар'єри.

Оптико-гальванічні методи контролю забруднення шкідливими речовинами водного середовища, ґрунтів, рік і водосховищ від викидів продуктів згорання ТЕС та інших підприємств. Для побудови оптико-гальванічних сенсорів використовують метод комплексування гальванічних ефектів від різномірних електродів у рідинному середовищі, яке активізується лазером. Вимірювальними параметрами для оцінювання рівня концентрації будуть такі параметри стану і електрохімічної квантової взаємодії в рідинному середовищі з електродами:

$$\begin{aligned} (H_2O / C_k) \rightarrow \left(E_d(Zn) \downarrow_{\phi_1} (H_2O) - E_d(Cu) \downarrow_{\phi_2} \right) &\rightarrow \left((U_{1,2} / E_{11}, E_{12}) / C_k \right) \rightarrow I((E_{11}, E_{12}) / C_k) \\ (P_{ZL}) \rightarrow (\lambda_{\phi}) &\rightarrow \left(P_{SL} / C_k \right) \rightarrow U_{\phi\Pi}(C_k) \end{aligned}$$

Відповідно до діаграми контрольних інформаційних параметрів є міжелектродна напруга ($U_{1,2}/C_k$), струм у гальванічному колі – $I(E_{11}, E_{12}/C_k)$, сигнал на виході фотоматриці, отриманий під час лазерного зондування.

Для побудови оптико-гальванічних сенсорів проаналізовано методи вибору гальванічних пар для кожного типу забруднення водосховища продуктами згорання вугілля в котлах енергоблоку ТЕС (Бурштин) (табл. 6-13). Для активізації гальванічної пари використано лазери потужністю 50 мВт та два типи електродних пар. Для вимірювання було використано тип лазера "RADIATION "DANGER"" Power 50mВт.

Табл. 6. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (основні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (base metals)

		Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	K ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
		-3,05	-2,93	-2,92	-2,92	-2,91	-2,87	-2,71	-2,37	-1,66
Li ⁺	-3,05	0	0,12	0,13	0,13	0,14	0,18	0,34	0,68	1,39
Rb ⁺	-2,93	0,12	0	0,01	0,01	0,02	0,06	0,22	0,56	1,27
Cs ⁺	-2,92	0,13	0,01	0	0	0,01	0,05	0,21	0,55	1,26
K ⁺	-2,92	0,13	0,01	0	0	0,01	0,05	0,21	0,55	1,26
Ba ²⁺	-2,91	0,14	0,02	0,01	0,01	0	0,04	0,2	0,54	1,25
Ca ²⁺	-2,87	0,18	0,06	0,05	0,05	0,04	0	0,16	0,50	1,21
Na ⁺	-2,71	0,34	0,22	0,21	2,71	0,2	0,16	0	0,34	1,05
Mg ²⁺	-2,37	0,68	0,56	0,55	0,55	0,54	0,50	0,34	0	0,71

Табл. 7. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (амфотерні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (amphoteric metals)

		Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	K ⁺	Ba ⁺	Ca ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
		-3,05	-2,93	-2,92	-2,92	-2,91	-2,87	-2,71	-2,37	-1,66
Al ³⁺	-1,66	1,39	1,27	1,26	1,26	1,25	1,21	1,05	0,71	0
Mn ²⁺	-1,18	1,87	1,75	1,74	1,74	1,73	1,69	1,53	1,19	0,48
Zn ²⁺	-0,76	2,29	2,17	2,16	2,16	2,15	2,11	1,95	1,61	0,9
Cr ³⁺	-0,74	2,31	2,19	2,18	2,18	2,17	2,13	1,97	1,63	0,92
Fe ²⁺	-0,44	2,61	2,49	2,48	2,48	2,03	2,43	2,27	1,93	1,22
Cd ²⁺	-0,4	2,65	2,53	2,52	2,52	2,51	2,47	2,31	1,97	1,26
Co ²⁺	-0,28	2,77	2,65	2,64	2,64	2,63	2,59	2,43	2,09	1,38
Ni ²⁺	-0,24	2,81	2,69	2,68	2,68	2,67	2,63	2,47	2,13	1,42
Sn ²⁺	-0,14	2,91	2,79	2,78	2,78	2,77	2,73	2,57	2,23	1,52
Pb ²⁺	-0,13	2,92	2,8	2,79	2,79	2,78	2,74	2,58	2,24	1,53
2H ⁺	0	3,05	2,93	2,92	2,92	2,91	2,87	2,71	2,37	1,69

Табл. 8. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (кислотні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (acidic metals)

		Li ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	K ⁺	Ba ⁺	Ca ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
		-3,05	-2,93	-2,92	-2,92	-2,91	-2,87	-2,71	-2,37	-1,66
Cu ²⁺	+0,34	3,39	3,27	3,26	3,26	3,25	3,21	3,05	2,71	2,00
OH ⁻	+0,40	3,45	3,33	3,32	3,32	3,31	3,27	3,11	2,77	2,06
Hg ²⁺	+0,79	3,84	3,72	3,71	3,71	3,70	3,66	3,50	3,16	2,45
Ag ⁺	+0,80	3,85	3,73	3,72	3,72	3,71	3,67	3,51	3,17	2,46
Pt ²⁺	+1,20	4,25	4,13	4,12	4,12	4,11	4,07	3,91	3,57	2,86

Табл. 9. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (основними і амфотерними метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (basic and amphoteric metals)

		Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Cd ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺
		-1,18	-0,76	-0,74	-0,44	-0,40	-0,28	-0,24	-0,14	-0,13
Li ⁺	-3,05	1,87	2,29	2,31	2,61	2,65	2,77	2,81	2,91	2,92
Rb ⁺	-2,93	1,75	2,17	2,19	2,49	2,53	2,65	2,69	2,79	2,80
Cs ⁺	-2,92	1,74	2,16	2,18	2,48	2,52	2,64	2,68	2,78	2,79
K ⁺	-2,92	1,74	2,16	2,18	2,48	2,52	2,64	2,68	2,78	2,79
Ba ²⁺	-2,91	1,73	2,15	2,17	2,47	2,51	2,63	2,67	2,77	2,78
Ca ²⁺	-2,87	1,69	2,11	2,13	2,43	2,47	2,59	2,63	2,73	2,74
Na ⁺	-2,71	1,53	1,95	1,97	2,27	2,31	2,43	2,47	2,57	2,58
Mg ²⁺	-2,37	1,19	1,61	1,63	1,93	1,97	2,09	2,13	2,23	2,24
Al ³⁺	-1,66	0,48	0,090	0,92	1,22	1,26	1,38	1,42	1,52	1,53
Mn ²⁺	-1,18	0	0,42	0,44	0,74	0,78	0,90	0,94	1,04	1,05
Zn ²⁺	-0,76	0,42	0	0,02	0,32	0,36	0,48	0,52	0,62	0,63
Cr ³⁺	-0,74	0,44	0,02	0	0,30	0,34	0,46	0,50	0,60	0,61
Fe ²⁺	-0,44	0,74	0,32	0,30	0	0,01	0,16	0,20	0,30	0,31
Cd ²⁺	-0,4	0,78	0,36	0,34	0,04	0	0,12	0,16	0,26	0,27
Co ²⁺	-0,28	0,90	0,48	0,46	0,16	0,12	0	0,04	0,14	0,15
Ni ²⁺	-0,24	0,94	0,52	0,50	0,20	0,16	0,04	0	0,10	0,11
Sn ²⁺	-0,14	1,04	0,62	0,60	0,30	0,26	0,14	0,10	0	0,01
Pb ²⁺	-0,13	1,05	0,63	0,61	0,31	0,27	0,15	0,11	0,01	0
2H ⁺	0	1,18	0,76	0,74	0,44	0,40	0,28	0,24	0,14	0,13

Табл. 10. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (кислотні та амфотерні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (acid and amphoteric metals)

		Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Cd ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺
		-1,18	-0,76	-0,74	-0,44	-0,40	-0,28	-0,24	-0,14	-0,13
Cu ²⁺	+0,34	1,52	1,10	1,08	0,78	0,74	0,62	0,58	0,48	0,47
OH ⁻	+0,40	1,58	1,16	1,14	0,84	0,80	0,68	0,64	0,54	0,53
Hg ²⁺	+0,79	1,97	1,55	1,53	1,23	1,19	1,07	1,03	0,93	0,92
Ag ⁺	+0,80	1,98	1,56	1,54	1,24	1,20	1,08	1,04	0,94	0,93
Pt ²⁺	+1,20	2,38	1,96	1,94	1,64	1,60	1,48	1,44	1,34	1,33

Табл. 11. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (кислотні та амфотерні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (acid and amphoteric metals)

		2H ⁺	Cu ²⁺	OH/O ₂	Hg ²⁺	Ag ⁺	Pt ²⁺
		0	+0,34	+0,40	+0,79	+0,80	+1,20
Li ⁺	-3,05	3,05	3,39	3,45	3,84	3,85	4,25
Rb ⁺	-2,93	2,93	3,27	3,33	3,72	3,73	4,13
Cs ⁺	-2,92	2,92	3,26	3,32	3,71	3,72	4,12
K ⁺	-2,92	2,92	3,26	3,32	3,71	3,72	4,12
Ba ²⁺	-2,91	2,91	3,25	3,31	3,70	3,71	4,11
Ca ²⁺	-2,87	2,87	3,21	3,27	3,66	3,67	4,07
Na ⁺	-2,71	2,71	3,05	3,11	3,50	3,51	3,91
Mg ²⁺	-2,37	2,37	2,71	2,77	3,16	3,17	3,57
Al ³⁺	-1,66	1,66	2,00	2,06	2,45	2,46	2,86

Табл. 12. Аналіз різниці потенціалів для вибору оптико-гальванічної пари для оцінювання концентрації шкідливих викидів (кислотні та амфотерні метали) / Potential difference analysis for selecting an optical-galvanic pair to assess the concentration of harmful emissions (acid and amphoteric metals)

		2H ⁺	Cu ²⁺	OH/O ₂	Hg ²⁺	Ag ⁺	Pt ²⁺
		0	+0,34	+0,40	+0,79	+0,80	+1,20
Mn ²⁺	-1,18	1,18	1,52	1,58	1,97	1,98	2,38
Zn ²⁺	-0,76	0,76	1,10	1,16	1,55	1,56	1,96
Cr ³⁺	-0,74	0,74	1,08	1,18	1,53	1,54	1,94
Fe ²⁺	-0,44	0,44	0,78	0,84	1,23	1,24	1,64
Cd ²⁺	-0,4	0,40	0,74	0,80	1,19	1,20	1,60
Co ²⁺	-0,28	0,28	0,62	0,68	1,07	1,08	1,48
Ni ²⁺	-0,24	0,24	0,58	0,64	1,03	1,04	1,44
Sn ²⁺	-0,14	0,14	0,48	0,54	0,93	0,94	1,34
Pb ²⁺	-0,13	0,13	0,47	0,53	0,92	0,93	1,33
2H ⁺	0	0	0,34	0,40	0,79	0,80	1,20

Табл. 13. Втрата потужності лазера в кюветі при зондуванні середовища / Loss of laser power in the cuvette when sounding the medium

Reak N n/n	Р лазера мВт	Р лазера без води	Р лазера з водою проточною	Rx кОм (Zn/Zn) H ₂ O	Ux мВ (Zn/Cu) H ₂ O	Rx кОм з лазером	Ux мВ з лазером
1	50	37	40	679-753	0,5	1015	0,6
2	50	40	40	679-830	0,4	1030	0,8
3	50	38	40	679-834	0,4	1005	0,9
4	50	37	43	679-824	0,5	995	0,6
5	50	39	40	650-768	0,6	932	0,7
6	50	40	44	670- 820	0,6	968	0,6
7	50	40	44	670-908	0,5	1060	0,5
8	50	40	42	739-868	0,5	1040	0,6

Інтеграція інформаційних і лазерних технологій для оцінювання концентрації шкідливих викидів газу і пилу в екосоціальну систему техногенною інфраструктурою. Рівень сумарного ризику впливу на екосередовище визначають згідно з процедурою комплексного оцінювання ймовірності перевищення концентрації, зокрема

$$\sum \alpha_{risk} \leq \sum_{n=1,m}^{dn} \left\langle Prob\left(\alpha_{risk}^i(C_{\kappa}, Re gi) > \alpha_{ri}^d\right) \right\rangle,$$

де: $\alpha_{ri}^d(R_{gi})$ – рівень допустимого граничного ризику для кожної компоненти згідно з ДСТУ; $\sum \alpha_{risk}$ – сумарний ризик перевищення концентрацій реагента;

$A_n(\otimes / i = 1, n)$ – оператор оцінювання сумарного мультиризику.

Для оцінювання просторового розподілення забруднення екологічного середовища (села, міста, області, краю) та оцінювання ризиків необхідно виконати великий обсяг розрахунків щодо результатів відбору даних, проб з використанням інформаційних технологій, як основи розроблення гібридних систем екомоніторингу.

Обговорення результатів дослідження. У роботі [33] розглянуто основні елементи з управління охорони довкілля та наведено аналіз наукових підходів та

понять і значень у сфері використання природних ресурсів та охорони навколишнього природного середовища. Методика цієї роботи ґрунтується на аналізі нормативних документів і теоретичних підходів до управлінської діяльності в галузі охорони довкілля. Висновки та пропозиції формували на основі таких методів наукового пізнання, як логіко-семантичний, порівняльно-правовий та метод правового аналізу. У цій роботі викладено основні акценти проблеми щодо узгодженості дій всіх учасників управлінської діяльності у сфері охорони довкілля та природокористування, такі як нелегальне видобування корисних копалин, недоцільне використання земель та неадекватні техногенні навантаження.

У посібнику [5] розглядають особливості конструювання та застосування аналітичних приладів і систем, спрямованих на вирішення завдань екологічного моніторингу. Він містить інформацію про сучасні газоаналітичні комплекси та системи технологічного моніторингу. Окрім цього, у посібнику наводять основні дані про електронні компоненти, які застосовуються в електронних системах різних цілей, враховуючи й аналітичне обладнання.

У статті [21] описують можливість відкриття нових напрямків досліджень з використанням бездротових сенсорних мереж, які забезпечують більшу просторову та часову роздільну здатність. Це дає змогу дослідникам "спостерігати за неспостережуваним", збираючи різноманітні дані (від температури до зображень і звуку) на великих площах з високою частотою, навіть декілька разів на секунду. Це відкриває можливості для інтенсивного та широкого збирання даних екологами та польовими біологами, а також для збирання нових типів даних. Потоки даних у реальному часі дають дослідникам змогу швидко реагувати на події, розширюючи можливості досліджень в польових умовах.

У роботі [12] розглядають інноваційне використання передових давачів і сенсорних мереж у сфері екологічних досліджень. Ці передові давачі надають новий спосіб спостереження за світом, що дає змогу розширити просторові та часові масштаби досліджень, забезпечуючи точнішу оцінку невидимих або складних явищ, і, що найважливіше, вони можуть приводити до несподіваних відкриттів або розвитку нових наукових підходів.

У статті [15] розглянуто варіативність землекористування з ключовим чинником у визначенні просторової диференціації регіонального екологічного ризику. Оцінювання екологічних ризиків ландшафту використовується для вимірювання та прогнозування якості навколишнього середовища. У цьому дослідженні застосовували кількісний аналіз динаміки землекористування басейну річки Тарім з 2000 по 2020 рр. з використанням програмного забезпечення ENVI 5.6 та знімків Landsat TM та ETM+ (зроблених у 2000, 2010 та 2020 роках). Окрім цього, вивчали рівень екологічного ризику та його просторово-часові особливості за допомогою геостатистичних методів, що базуються на індексах ландшафтного малюнка.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено концепцію на підставі нових ін-

формаційних і системних технологій та лазерного дистанційного зондування, метод комплексного використання фізико-хімічних та оптичних ефектів для розроблення сенсорів нового типу, обґрунтовано їх інформаційну та метрологічну структуру, методи синтезу та методіку проведення експериментальних і наукових досліджень.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати роботи та аналіз світових тенденцій у галузі теплової енергетики, реалізований лазерний концентратомір на Бурштинській ТЕС є єдиним проектом, виконаним у світовій практиці контролю процесів згорання високотемпературного палива. Іонно-селективні сенсори широко використовуються в аналітичних приладах і системах моніторингу, які випускаються серійно в Україні і світі. Оптико-гальванічні сенсори, концепцію яких запропонували автори, використані для контролю концентрації водного середовища на підставі проведення аналітичних експериментів у лабораторних умовах та на водосховищі Бурштинської ТЕС

Висновки / Conclusions

Оцінено стан екологічного середовища техногенного виробництва, яке є джерелом шкідливих викидів пилу і газу в атмосферу і водне середовище, визначено їх хімічний склад і концентрацію. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Обґрунтовано інформаційну технологію розроблення комплексних систем екомоніторингу навколо техногенної інфраструктури. Досліджено методи лазерного зондування шкідливих викидів продуктів згорання та пилу та їх дію на екосередовище, яке забруднюється тепловими електростанціями. Розроблено концептуальну схему процесу зондування поля концентрації.
2. Обґрунтовано вибір типу сенсорів відповідно до завдання вимірювання концентрації забруднювальних речовин у повітрі, воді, ґрунтах та навколишньому середовищі. Проведено аналіз процесу зондування поля концентрації вугільного пилу в пилопроводах теплових електростанцій та димових газів у атмосфері.
3. Обґрунтовано метод зондування рідинного середовища для оцінювання ступеня його забруднення на підставі оптико-електронних сенсорів і побудовано модель шкали оцінювання рівня концентрації.
4. Обґрунтовано та розроблено метод лазерного зондування водних розчинів техногенних викидів. Розроблено стенд для вивчення лазерних ефектів під час оцінювання стану водних проб забрудненого водосховища на підставі лазерного фотометра. Розроблено схему оптико-гальванічного сенсора та відповідний фотометр для відбору даних для вимірювання шкідливих домішок у воді водосховища та проаналізовано лазерні сигнали і їх перетворення із взаємодії з компонентами рідинного середовища. Побудовано характеристики для градування концентрації. Обґрунтовано вибір лазерів і фотоприймачів, теоретичні засади розроблення електрохімічних сенсорів для аналізу компонент викидів забруднювачів і проаналізовано структуру серійного газоаналізатора шкідливих викидів "Оксі 5М".
5. Встановлено, що проблема екологічного моніторингу для оцінювання рівня забруднення шкідливими речовинами, коли забруднювачами є різні види виробництв: енергетика, машинобудівний комплекс, транспорт, аграрний комплекс, авіація, створює загрозливий фон для життєдіяльності людини і суспільства.

При цьому людина є також забруднювачем навколишнього середовища внаслідок соціокомуніальних структур для оброблення продуктів життєдіяльності в інфраструктурах міст і сіл. Дія цього комплексу забруднювача створює складнощі для отримання даних про стан атмосфери і водного середовища, оскільки речовини містяться в рідинах, газових викидах, викидах теплових електростанцій і транспорту і мають різний хімічний склад та наноструктуру, що ускладнює відбір та розпізнавання типу хімічних компонент та силу дії на організм людини та екосередовище. Упродовж останніх 50-ти років розроблено комплекс лабораторних, аналітичних і хіміко-фізичних методів контролю компонент, але проблема вимірювання концентрації пилу і димових газів повною мірою не вирішена. У роботі обґрунтовано актуальність, проблемну ситуацію з побудови сенсорних методів вимірювання, сформульовано завдання розроблення сенсорів для побудови інформаційно-вимірювальних систем для екомоніторингу.

6. Виділено завдання розроблення сенсорів на підставі нових методів:

- розроблення оптико-електронних сенсорів;
- розроблення лазерних концентратомірів пилу в техногенних середовищах і атмосфері;
- удосконалення методів відбору й опрацювання даних.

7. Обґрунтовано методи дослідження, які ґрунтуються на теорії ієрархічних систем, системному аналізу в процесі управління енергоактивними об'єктами (джерелами забруднення), методами теорії лазерним дистанційним зондуванням.

8. Відповідно до сформульованих завдань дослідження, вирішення яких забезпечує підвищення ефективності екомоніторингу, розглянуто проблему розроблення інформаційних систем для екологічної експертизи стану середовища навколо теплових електростанцій, які є одним з головних забруднювачів, й обґрунтовано методи відбору даних різного типу про стан екосистем. Для оцінювання параметрів даних стану екологічного середовища на циклах експлуатації обґрунтовано необхідність інтерпретації даних за добу, місяць і рік у вигляді діаграм і графіків.

9. З'ясовано, що ведення бойових дій по всій території України, використання різних хімічних компонент вибухівки та продуктів, які виділяються під час авіаційного бомбування, ракетних обстрілів, систем залпового вогню, різко погіршили хімічний склад атмосфери на величезних прощах, що призвело до стрімкого зростання забруднення життєвого й екологічного простору на великих територіях, і, що найскладніше, виявлення дуже сильних забруднювачів на сучасному етапі не має відповідного вирішення. Тому побудова методів комплексного моніторингу є важливою і актуальною проблемою.

References

1. Afanasyev, V. A. (1981). Optical measurements. Kyiv: High school, 229. [In Ukrainian].
2. Afifi, A., & Eisen, S. (1982). Statistical analysis, a computer-based approach. Moscow: Mir, 488. [In Russian].
3. Azizov, A. M. (1983). Information systems for controlling the parameters of technological processes. Leningrad: Khimiya, 328. [In Russian].
4. Barankevych, M. (2008). Expert Systems in Decision Making. Lviv: Computing Center of LNU named after Ivan Franko, 214. [In Ukrainian].
5. Boyko, V. I., Vovna, O. V., Zori, A. A., & Porev, V. A. (2013). Devices and Systems of Environmental Monitoring (Introduction to the Profession): [textbook], 3rd ed., supplement. and recycled. Donetsk: DonNTU, 292. [In Ukrainian]. URL: <http://ivstem.kpi.ua>
6. Dmitriev, M. G., Kaznina, N. I., & Pinichina, I. A. (1989). Sanitary-chemical analysis of pollutants in the surrounding delirium. Moscow: Khimiya, 368. [In Ukrainian].
7. Dorozhovets, M. (2007). Elaboration of measurement results. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 624. [In Ukrainian].
8. Dorozhovets, M. M., Ivakhiv, O. V., & Mokrytskyi, V. V. (2009). Unifying converters of information support of mechanotropic systems. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 453. [In Ukrainian].
9. Gokhberg, Zh. L., Zakharov, M. S. (1986). Methods and devices for automatic control of TEC emissions. Moscow: Energoatomizdat, 144. [In Russian].
10. Gotra, Z. Y. (1995). Sensors: a reference book. Lviv: Kameniar, 312 p. [In Ukrainian].
11. Gotra, Z. Y. (2001). Elements of the theory of microelectronic sensors. Lviv: Liga-Press, 636. [In Ukrainian].
12. John, H. Porter, Eric, Nagy, Timothy, K. Kratz, Paul, Hanson, Scott, L. Collins, & Arzberger, Peter. (2009). New Eyes on the World: Advanced Sensors for Ecology. BioScience, 59(5), 385–397. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.5.6>
13. Kunze, Kh. I. (1989). Methods of physical measurements. Moscow: Mir, 216.
14. Kushnir, O., Kurchak, Y., Lutsiv-Shumsky, L., & Rykhluk, S. (2009). Experimental optics. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 465. [In Ukrainian].
15. Landscape Ecological Risk Assessment for the Tarim River Basin on the Basis of Land-Use Changeby Guangyao Wang, Guangyan Ran, Yaning Chen and Zhengyong Zhang Remote Sens. (2023). 15(17), Aug 20234173. <https://doi.org/10.3390/rs15174173-25>
16. Lomnytska, Y. F., & Chaban, N. F. (2009). Chemical and physico-chemical methods of analysis in environmental research. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 304. [In Ukrainian].
17. Lysa, N. K. (2020). Information technologies of creation of ecological monitoring systems of marginal man-made structures. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 224. [In Ukrainian]
18. Moore, K. (1983). Application of Lasers in Spectroscopy and Photochemistry. Lane. from English. Moscow: Mir, 272.
19. Polishchuk, E. S., Dorozhovets, M. M., Ivakhiv, O. V., Boyko, T. G., Kovalchuk, A. (2008). Means and methods of measuring non-electrical quantities. Lviv: Vyd. "Beskyd Bit", 618. [In Ukrainian].
20. Polishchuk, E. S., Dorozhovets, M. M., Yatsuk, V. O., Boyko, T. G., & Vanko, V. M. (2003). Metrology and measuring equipment. Textbook for students of higher educational institutions of electrical engineering specialties (stamp of the Ministry of Education of Ukraine). Lviv: Beskyd-bit, 544. [In Ukrainian].
21. Porter, John, Arzberger, Peter, Hans-Werner, Braun, Pablo, Bryant, Stuart, Gage, Todd, Hansen, Paul, Hanson, Chau-Chin, Lin, Fang-Pang, Lin, & Timothy, Kratz. (2005). Wireless Sensor Networks for Ecology. BioScience, 55(7), 561–572. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0561:WSNFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0561:WSNFE]2.0.CO;2)
22. Primak, A. V. (1991). Environmental Protection at Construction Industry Enterprises. Kyiv: Builder, 152. [In Ukrainian].
23. Primak, A. V., Kafarov, V. V., & Kachishvili, K. I. (1999). System analysis of air and water quality control and management. Kyiv: Science, 360. [In Ukrainian].
24. Rudavsky, Y. K. (1993). Mathematical Methods in Chemistry and Chemical Technology. Lviv: Svit Publishing House, 204. [In Ukrainian].
25. Sikora, L. S. (1998). Laser information-measuring systems for control of technological processes. Lviv: Kameniar, 445. [In Ukrainian].
26. Sikora, L. S. (1998). Systemology of Decision Making on Management in Complex Technological Structures. Lviv: Kameniar, 453. [In Ukrainian].

27. Sikora, L. S., & Lysa, N. K. (2019). Information and laser technologies for the creation of environmental monitoring systems of energy-active man-made production structures. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 370. [In Ukrainian].
28. Sikora, L. S., Lysa, N. K., & Miyushkovich, Yu. G. (2009). Integration of Information-Measuring Systems, DSS and Models of Expert Knowledge for Operational Support of Decision-Making in Emergency Situations at Potentially Dangerous Objects. *Institute for Modeling Problems in Energy*, 52, 166–175. [In Ukrainian].
29. Sikora, L. S., Lysa, N. K., & Vlydyka, R. M. (2023). Models of laser diagnostics of technological media based on the balance method for controlling dust emissions in power units. RFP, *Institute for Modeling Problems in Energy*, 55, 168–171. [In Ukrainian].
30. Sikora, L. S., Omelyanovskiy, P. Y., & Lysa, N. K. (2009). Models of Integration of Measuring and Information Laser Systems for Evaluation of Parameters of the State of Technological Processes and Environment in Boundary Control Modes. RFP, *Institute for Modeling Problems in Energy*, 53, 201–209. [In Ukrainian].
31. Sikora, L. S., Vlydyka, R. M., Miyushkovych, Yu. G., Lysa, N. K. (2010). Weight method of calibration of laser balance concentrators for filling the database with fast access to the automated process control system with a power unit, 55, 174–181. [In Ukrainian].
32. Varzhapetyan, A. G. (1988). Automation of Water Environment Parameters Control. Leningrad: Sudostroenie Publ, 232. [In Russian].
33. Vitovska, I. V. (2023). Management activities in the field of environmental protection. *Scientific Information Bulletin of Ivano-Frankivsk University of Law named after King Danylo Halytsky: Journal. Pravo Series*. Ivano-Frankivsk: Editorial and Publishing Department of King Danylo University, 15(27), vol. 1, 135–139. <https://doi.org/10.33098/2078-6670.2022.15.27.1.135-139>
34. Volodarsky, E. T., Malinovsky, B. N., & Tuz, Yu. M. (1987). Planning and organization of a measurement experiment. Kyiv: High school, 280. [In Ukrainian].
35. Vuytsyk, V., Gotra, O., & Gigoriev, V. (2006). Expert systems. Lviv: Liga-Press,– 290. [In Ukrainian].
36. Weisband, M. D., & Propenko, V. I. (1986). Technique of metrological work. Kyiv: Technics, 168. [In Ukrainian].
37. Zerkalov, D. V. (2007). Environmental Safety: Management, Monitoring, Control. – Kyiv: CST Dakor, Osnova, 412. [In Ukrainian].
38. Zinchuk, V. K., Levytska, G. D., & Dubenska, L. O. (2008). Physicochemical methods of analysis. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 362 p. [In Ukrainian].

L. S. Sikora¹, N. K. Lysa¹, N. A. Khylyak², L. L. Tupychak²

¹ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

² Ukrainian Academy of Printing, Lviv, Ukraine

INFORMATION AND LASER TECHNOLOGIES FOR ASSESSING THE LEVEL OF RISKS FROM HARMFUL EMISSIONS BY MAN-MADE OBJECTS

The article substantiates the methods of creating sensors for measuring the concentration of emissions of dust and harmful substances both into the atmosphere and water media using new physical effects, which became the basis for the development of: laser concentrators of air and water pollution, optographic effects for the creation of integrated sensors that can be integrated with measurement systems based on ion-selective sensors (OKS 5M), which allows increasing of the level of efficiency of support systems environmental safety. The current stage of development of the production of electricity, chemical, machine-building, printing products is characterized by the fact that a wide range of resource components such as coal, oil, gas, paints, polymers is used, which are environmentally aggressive. Tense production regimes dictated by the market lead to a sharp increase in the consumption of resources for energy-active production processes, determining, in turn, an increase in the concentration of emissions of dust and harmful gases and liquids into the atmosphere and aquatic environment, which leads to an increase in environmental pollution, the state of which cannot always be quickly assessed in real time due to the complexity of data selection by standard methods. The solution to the problem of developing optimal strategies for managing technological modes that would ensure high performance and minimize harmful emissions is based on modern system and information technologies, the creation of new types of sensors for information and measurement systems. The processing of technological data is the basis for the formation of an assessment of the image of the situation and the state of decision-making, and the selection of additional data, which should be supplemented by data with the involvement of expert knowledge. Such man-made situations, which have developed at the present stage of production functioning, the problem of developing integrated systems for eco-monitoring of the man-made environment, soils, reservoirs, rivers, atmospheric air, both scientifically man-made objects and the spatial structure of regions and territories has become even more important. Large emissions of dust, process gases, emissions of combustion products of transport, aviation, railway structure, construction companies of the raw materials complex pollute huge areas both locally and nationally, which leads to an increase in the risks of pollution of living space and affects the psychological and mental state of society, thereby provoking social confrontations and crises. Complex presentation of problems on the basis of global eco-monitoring systems for the development of informational, intelligent technologies and the development of new sensor models. The problem of eco-monitoring has been relevant for more than a century, since the development of industrial technologies, in particular railways and weaving, has brought not only prosperity, but also environmental pollution. The level of environmental pollution has increased especially with the development of thermal power plants and the oil-chemical complex, which have become aggressive pollutants. The hostilities of the First and Second World Wars also contributed. Nuclear energy and jet aviation have further caused the pollution of the global ecological space, and the war in Ukraine has formed a specific environmental blow to the environment (explosions of shells and missiles), the destruction of energy complexes and oil terminals.

Keywords: ecosystem; atmosphere; drank; information technologies; control; lasers; environmental safety; sensory; pollution concentration measurement; harmful emissions; factors.