

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Безрук Зоя Домініківна

УДК 621.307.13

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ
КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВИКИДАХ
СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ ЗАВОДІВ**

05.11.13 — Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ - 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Порєв Володимир Андрійович,
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, завідувач кафедри наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем.

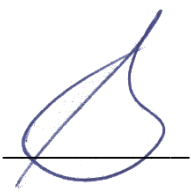
Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Петрук Василь Григорович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри екології та екологічної безпеки;

кандидат технічних наук, доцент
Єременко Володимир Станіславович, Національний авіаційний університет, професор кафедри інформаційно-вимірювальних систем.

Захист дисертації відбудеться “25” листопада 2014 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.002.18 при Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37, навчальний корпус №1, ауд. 293.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37.

Автореферат розіслано " " 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,  Н.І. Бурау

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одними із джерел забруднення атмосфери міст та навколишнього середовища є сміттєспалювальні заводи (ССЗ). При цьому незважаючи на постійне вдосконалення технологічного обладнання, ССЗ на сьогодні входять в число основних джерел забруднення навколишнього середовища. Зусиллями іноземних та вітчизняних фахівців розроблені технології контролю викидів в атмосферу, автономні і стаціонарні газоаналізатори, системи пробопідготовки та діагностування газоаналітичних комплексів, створені розрахункові і експериментальні методи оцінки концентрації шкідливих речовин в атмосфері тощо.

В той же час деякі важливі питання функціонування ССЗ в плані проведення газоаналітичного контролю забруднення атмосфери викидами ССЗ не вирішені і до цього часу. Суттєвою проблемою сучасних автоматичних газоаналітичних комплексів є нестабільність коефіцієнта передачі первинних вимірювальних перетворювачів, які працюють в складних умовах експлуатації, таких як перепади температур, вібрації, вологість тощо. Зазначені фактори приводять до зниження надійності комплексу внаслідок зменшення середнього напруження на відмову за критерієм невідповідності допустимим межам додаткової похибки, викликані зміною робочих умов. Принциповим недоліком відомих методів стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу шляхом тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента еталонним газом є формування тестового компонента за одним і тим же алгоритмом без врахування динаміки процесу спалювання.

Проблемою, яка потребує дослідження та вирішення, є зменшення швидкодії та точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ внаслідок зменшення витрат димової проби на вході газоаналізатора через зміни поперечного перерізу газопровідних трубок в процесі експлуатації.

Зменшення швидкодії комплексів, яке відбувається також внаслідок значного часу транспортного запізнення при проходженні газової проби від точки відбору до газоаналізаторів, може створити умови для виникнення аварійної ситуації при наростанні небезпечних концентрацій газових компонентів в котлоагрегатах. Отже, виникає потреба в теоретичних дослідженнях часу транспортного запізнення та в розробці методик і рекомендацій по його зменшенню.

Прогнозування впливу забруднень на довкілля потребує даних про концентрацію викидів ССЗ на значній території, для чого використовуються розрахункові моделі, які враховують параметри труби, концентрації домішок в складі димових газів, температуру, повні витрати та швидкість димових газів на перерізі труби, властивості атмосфери та метеорологічні дані. Але стан атмосфери та її стабільність у часі і просторі є складними, динамічними функціями, тому моделювання поширення забруднень, яке базується на даних метеостанцій, пов'язане із значними похибками. При цьому базові розрахункові моделі можуть не враховувати трансформації компонентів викидів в атмосферному повітрі. Крім цього, на сьогодні відсутні достовірні оцінки щодо розподілу концентрацій забруднювачів у викидах ССЗ «Енергія».

Все вищенаведене свідчить про актуальність теми дисертаційного дослідження, спрямованого на вдосконалення методів і засобів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ, як в науковому аспекті, так і в плані покращення стану довкілля столиці України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертації пов'язана з дослідженнями в рамках пріоритетного тематичного напрямку «Технології моніторингу та прогнозування стану навколишнього природного середовища» на кафедрі наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем НТУУ «КПІ» при виконанні НДР «Обґрунтування та визначення факторів ризику для здоров'я від антропогенного впливу на територію Солом'янського району м. Києва» (№ ДР 0112U007554) та НДР «Дослідження атмосфери санітарної захисної зони енергетичних підприємств» (№ ДР 0113U006047), де здобувач була виконавцем етапів робіт.

Мета й завдання роботи. Метою роботи є підвищення надійності газоаналітичних комплексів сміттєспалювальних заводів і точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у їх викидах за рахунок стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів шляхом тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента з врахуванням динаміки процесу спалювання та компенсації впливу змін витрат проби в вимірювальних каналах.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- проаналізувати сучасний стан інструментально - методичної бази вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ та дослідити фактори, що визначають точність вимірювання, а також швидкодію і надійність газоаналітичного комплексу;
- обґрунтувати метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів і дослідити ефективність його використання для підвищення надійності газоаналітичних комплексів ССЗ;
- обґрунтувати метод компенсації впливу витрат проби в вимірювальних каналах і дослідити ефективність його використання для підвищення точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ;
- вдосконалити модель розповсюдження в атмосфері шкідливих речовин, які містяться у викидах ССЗ;
- отримати статистичні дані про характер формування та розповсюдження в атмосфері шкідливих речовин, які містяться у викидах ССЗ «Енергія»;
- вдосконалити метрологічне забезпечення приладів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ;

Об'єкт досліджень—процес формування та розповсюдження в атмосфері шкідливих речовин, які містяться у викидах сміттєспалювальних заводів.

Предмет досліджень—методи та засоби вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ, а також модель їх розповсюдження в атмосфері;

Методи досліджень базуються на використанні теорії ймовірності та математичної статистики при обробці експериментальних результатів. Для вивчення моделі процесу перенесення шкідливих речовин в атмосфері в різних умовах використано апарат імітаційного моделювання. Для розробки та

відлагодження програмного забезпечення використано методи об'єктно-орієнтованого програмування та середовище програмування IDE Lazarus з кросплатформним компілятором FPC FreePascal. В якості середовищ виконання створених програмних продуктів обрано ОС Windows 7, Windows Mobile 6.5 та Gentoo Linux.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше створений метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів газоаналітичного комплексу шляхом застосування тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента, який на відміну від існуючих, враховує динаміку процесу спалювання, що забезпечило збільшення часу напрацювання на відмову на 12%.

2. Вперше створений метод компенсації впливу змін витрат газової проби, який забезпечує підвищення точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ шляхом корегування витрат димової проби за рахунок введення байпасу з автоматичним регулюванням поперечного перерізу.

3. Вперше для ССЗ в результаті аналізу великого обсягу статистичних даних про концентрації димових газів в котлоагрегатах, отриманого в реальних умовах виробництва, встановлено співвідношення концентрацій $O_2:CO:CO_2=(3:0,8:0,05)\%$, при якому споживання палива на тону спалених ТПВ зменшується, при цьому зменшується також рівень викидів в атмосферу токсичних компонентів NO_x , SO_2 , CO .

4. Вдосконалено модель розрахунку приземних концентрацій оксидів азоту, які містяться у викидах ССЗ, шляхом врахування їх трансформації в атмосфері, що дозволило зменшити розходження між розрахунковими та виміряними на місцевості значеннями приземних концентрацій із 40 % до 12 %.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Обґрунтована методика розрахунку транспортного запізнення із врахуванням змін конфігурації газопровідної трубки, використання якої дозволить зменшити час транспортного запізнення на етапі проектування газоаналітичного комплексу шляхом теоретичних розрахунків часу та вибору елементів схеми, на яких транспортне запізнення буде найменшим.
2. Розроблений лабораторний стенд і методика для дослідження впливу змін витрат проби на швидкодію комплексу та на додаткову похибку вимірювання концентрацій компонентів димового газу.
3. Створена прикладна комп'ютерна програма реалізації вдосконаленої моделі перенесення викидів та проведено розрахунки розподілу концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих викидів ССЗ «Енергія» в залежності від витрат викидів, від швидкості вітру, по висоті вздовж осі факелу, від значення концентрації забруднюючих речовин на виході труби.
4. Одержано великий набір статистичних даних про характер формування димових газів в котлоагрегатах та про розповсюдження викидів ССЗ в атмосфері. Отримані експериментальні дані можуть бути основою для вдосконалення технології сміттєспалювання, а також для створення нових методик розрахунку розповсюдження в атмосфері шкідливих речовин, які містяться у викидах ССЗ.

5. Для лінеаризації градууювальної характеристики газоаналізаторів 325ФА01в складі комплексів ТК-1 та ЕК-1 вперше застосований табличний метод, що при нормованій похибці вимірювань $\pm 15\%$ забезпечило зменшення похибки вимірювань для окремих вимірювальних каналів CO, CO₂, CH₄ до $\pm 12\%$.

Результати, отримані у дисертаційній роботі, впроваджені на ССЗ «Енергія» (м. Київ), а також у навчальному процесі в НТУУ «КПІ», що підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Основні положення й результати роботи отримані здобувачем самостійно. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить: [2,17]—метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу за рахунок тестової модуляції концентрації компонента проби, [3,15,19]—методика та результати експериментального дослідження сміттєспалювальних технологій в реальних умовах експлуатації, [4,5,18]—моделювання розповсюдження викидів шкідливих речовин, [6]—функціональна схема дворівневої системи технолого-екологічного моніторингу викидів СЗЗ, [7]—введення узгоджувального коефіцієнта в алгоритм обробки і представлення вимірювальної інформації, [9]— введення гальванічної розв'язки сигналів для підвищення надійності, [14]—математична модель транспортного запізнення газової проби, [16]— алгоритм регулювання процесів горіння за результатами автоматичного контролю газового середовища, [20]—функціональна схема інфрачервоного газоаналізатора, [21]— використання телевізійних систем для уточнення параметрів атмосфери в ближній до джерела викидів зоні, [22]— підхід до організації моніторингу атмосфери міста.

Апробація роботи.

Основні результати дослідження доповідались і одержали позитивну оцінку на III Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2004: стан і перспективи» (м. Київ, 2004 р.), V Международной научно-технической конференции «Современные информационные и электронные технологии» (г. Одесса, 2004г). Международной научно-технической конференции «Обращение с отходами –проблемы и решения XXI века (г. Одесса, 2004г), Міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (м. Алушта, 2005), IV Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2005: стан і перспективи» (м. Київ, 2005р.), V Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2006: стан і перспективи» (м. Київ, 2006р.), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2007: стан і перспективи» (м. Київ, 2007р.), VII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2008: стан і перспективи» (м. Київ, 2008 р.), III Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологічне забезпечення фізико-хімічних та оптико-фізичних вимірювань» (м. Київ, 2008 р.), VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування 2009: стан і перспективи» (м. Київ, 2009 р.), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (м. Тернопіль, 2014). Апробація дисертаційної роботи провадилась також на засіданнях наукового семінару за участю членів спеціалізованих рад зі спеціальності 05.11.13 –

прилади і методи контролю та визначення складу речовин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (Київ).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові праці, з яких –7 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 входять до НМБД Index Copernicus Journals Master List), 2 патента на корисну модель, 13 тез доповідей.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, 57 рисунків, 20 таблиць, списку використаних джерел із 94 позицій та 4 додатків. Загальний обсяг роботи–165 сторінок, з яких основна частина викладена на 145 сторінках.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми та необхідність вдосконалення методів і засобів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ. Сформульовані мета і задачі дослідження, визначено наукову новизну, практичну цінність та показаний зв'язок роботи з науковими програмами.

В першому розділі на основі аналізу літературних джерел, в яких висвітлюються проблеми утилізації твердих побутових відходів, та з врахуванням професійного досвіду автора зроблено висновок, що головною проблемою експлуатації ССЗ є забруднення атмосферного повітря, тому задача підвищення точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ є надзвичайно актуальною в науковому аспекті. Проаналізовано особливості сучасних технічних засобів вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у викидах ССЗ - параметричних екологічних систем моніторингу та технолого-екологічних газоаналітичних комплексів. Аналіз проведено з врахуванням рекомендацій стандарту ISO 10396:1993 «Викиди стаціонарних джерел. Відбір проби при автоматичному визначенні складу газів» щодо складу та побудови системи автоматичного відбору проб димового газу, яка передбачає стабілізацію тиску, очищення і фільтрація проби, видалення вологи тощо.

Аналіз функціональної схеми дворівневої системи моніторингу ССЗ «Енергія» дозволив конкретизувати задачі дисертаційного дослідження та обґрунтувати шляхи їх вирішення. Показано, що зменшення швидкодії комплексів відбувається внаслідок значного часу транспортного запізнення при проходженні газової проби від точки відбору до газоаналізаторів, що обумовлює необхідність теоретичних та експериментальних досліджень факторів, які визначають швидкість газоаналітичного комплексу.

Встановлено, що нестабільність коефіцієнта передачі первинних вимірювальних перетворювачів, які працюють в складних умовах експлуатації, приводить до зниження надійності комплексу внаслідок зменшення середнього напруження на відмову. Зроблено висновок, що створення нового методу стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу з використанням принципу тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента, який би враховував динаміку процесу спалювання, дозволить збільшити середнє напруження на відмову, підвищити надійність комплексу.

Проаналізовано вплив зменшення витрат димової проби на вході газоаналізатора внаслідок зміни поперечного перерізу газопровідних трубок в процесі експлуатації і показано, що це може привести до зменшення швидкодії та точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах ССЗ. Зроблено висновок, що логічним продовженням такого дослідження буде розробка методу компенсації впливу витрат в пробовідбірних системах на вихідний сигнал газоаналізатора.

Для розрахунку розподілу концентрацій викидів ССЗ в атмосфері обґрунтовано вибір методики ОНД-86, яка узгоджена з нормативною базою українського екологічного законодавства. Зроблено висновок, що точність розрахунків розподілу концентрацій викидів ССЗ відповідно до загальної методики ОНД-86 не може вважатися задовільною через залежність від морфологічного складу відходів та трансформацій компонентів викидів, від точності задання параметрів атмосфери, серед яких найважливішу роль відіграють дані про швидкість і напрям вітру в точці розташування джерела викидів, а також особливостей міського рельєфу як природнього, так і архітектурного, внаслідок чого моделювання поширення забруднень пов'язане із значними похибками. Показано, що нормативна на території України методика ОНД-86 має потенціал вдосконалення по точності розрахунків забруднення атмосфери викидами ССЗ, зокрема, за рахунок отримання додаткової інформації про джерела та фактори, які впливають на розподіл концентрації забруднювачів.

В другому розділі виконано дослідження швидкодії сучасних газоаналітичних комплексів і встановлено, що зменшення швидкодії може бути обумовлене не тільки недоліками елементів відбору та підготовки газової проби чи зниженням їх пропускну здатності в ході тривалої експлуатації, але є також наслідком постійного вдосконалення через підвищення вимог до техніко-метрологічних параметрів її функціонування.

З метою дослідження часу транспортного запізнення газової проби функціональна схема газоаналітичного комплексу ССЗ «Енергія», що розроблена на основі міжнародного стандарту ISO 10396:1993, була розбита по довжині на чотирнадцять ділянок, якими проходить газова проба. Розроблена математична модель транспортного запізнення газової проби, яка дозволяє встановити зв'язок між дійсним і розрахунковим часом транспортного запізнення:

$$t_0 = \sqrt{1 + (\lambda_1 + \lambda_2)} \cdot t_m \quad (1),$$

де t_0 – дійсний, t_m – розрахунковий час транспортного запізнення,

λ_1 – коефіцієнт опору тертя при проходженні газової проби по прямолінійним ділянкам, λ_2 – коефіцієнт опору, який враховує втрати на місцевих змінах конфігурації газопровідної трубки (повороти, розширення, звуження або їх комбінації).

При порівнянні теоретичного і дійсного часу транспортного запізнення газоаналітичного комплексу ССЗ встановлено, що більша частина часу втрачається на регуляторах тиску перед подачею на газоаналізатори. Використання запропонованої математичної моделі дозволить зменшити час

транспортного запізнення на етапі проектуванні шляхом теоретичних розрахунків часу та вибору елементів схеми, на яких запізнення найменшим.

На ССЗ «Енергія» в нормальних умовах експлуатації були проведені експериментальні дослідження швидкодії вимірювальних каналів (O_2 , CO , CO_2 , CH_4), результати яких разом з розрахованими значеннями швидкодії, наведені в таблиці 1. Встановлено, що при подачі ПГС безпосередньо на вхід приладу (без пробопідготовки) швидкодія для всіх компонентів димового газу складає $1 \pm 0,2$ с (тобто це швидкодія ПВП), при подачі тієї ж ПГС по схемі пробопідготовки, яка має загальну довжину біля 7 метрів, значення транспортного запізнення доходить до 58 с (діоксид вуглецю).

Таблиця 1–Порівняння розрахованих та експериментальних значень швидкодії

№	Компонент газу	Розрахунок, с	Прилад, с	Експеримент ПВП, $T_{0,9ном}$, с	Експеримент $T_{0,9ном}$, с
1	CO	25	325 ФА01	1	$42 \pm 0,5$ с
2	CO_2	31	325 ФА 01	1	$58 \pm 0,5$ с
3	CH_4	22	325 ФА01	1	$38 \pm 0,5$ с
4	O_2	3	151ЭХ01	1	$6 \pm 0,5$ с

Такі варіації транспортного запізнення приводять до того, що персонал на протязі значного часу (майже хвилини) не має інформації про склад газів. Результатом може виявитися небезпечна (аварійна) ситуація внаслідок запізнілої реакції при динамічному наростанні небезпечних концентрацій компонентів димового газу (наприклад, метану).

З врахуванням змін витрат газу, характерних для умов експлуатації газоаналізаторів в технологічному процесі спалювання на ССЗ, проведено експериментальні дослідження впливу зменшення витрат димового газу на швидкодію. Методика дослідження полягає в подачі ПГС з різними витратами на вхід газоаналізатора 325ФА01, що фактично моделює умови, які реально виникають при тривалій експлуатації газоаналізатора, коли внаслідок «закупорення» газовідбірної системи відбувається зміна витрат димової проби, що надходить на вхід газоаналізатора. Проведено визначення часу початку реагування, часу перехідного процесу ($T_{0,9}$), повного часу встановлення показів. Методика експерименту передбачає формування на вході газоаналізатора стрибкоподібної, не менше ніж на 20%, зміни концентрації. Дослідження проводилось на каналі CO_2 з концентрацією в азоті 12,8% при витратах 3,6 л/хв. і 6,0 л/хв. Результати досліджень зведені в таблицю 2.

Таблиця 2 – Динамічні характеристики газоаналізатора 325ФА01

№	Характеристика	Витрата 3,6 л/хв.	Витрата 6,0 л/хв.
1	Час початку реагування	18	7
2	Час перехідного процесу, $T_{0,9}$	34	11
3	Повний час встановлення показів.	38	15

Зменшення витрат від 6,0 л/хв. до 3,6 л/хв. привело до збільшення часу перехідного процесу з 11 с до 34 с, що фактично означає зменшення швидкодії ($T_{0,9}$) практично на 300%.

Проведено експериментальні дослідження вихідного сигналу газоаналізатора при зміні витрат за час тривалої роботи. Для зняття характеристик використовувались ПГС CO_2 в азоті з концентраціями 6,4% і 12,8% з похибкою атестації 0,1%. Витрати на початку роботи (по паспорту) складала 6 л/хв, через шість місяців роботи витрати зменшились до 3,6 л/хв. В обох експериментах концентрація газу підтримувалась постійною, отже зміни сигналу свідчать про похибку вимірювання, яка може виникати внаслідок відхилення витрат проби від нормальних умов (додаткова похибка вимірювань). Для визначення похибки вимірювання в обох випадках за основну витрату приймемо значення 4,6 л/хв. і фіксуємо значення максимальних відхилень.

На рис.1 наведено графіки залежностей вихідного сигналу при зміні витрат димової проби на вході комплексу ТК-1.

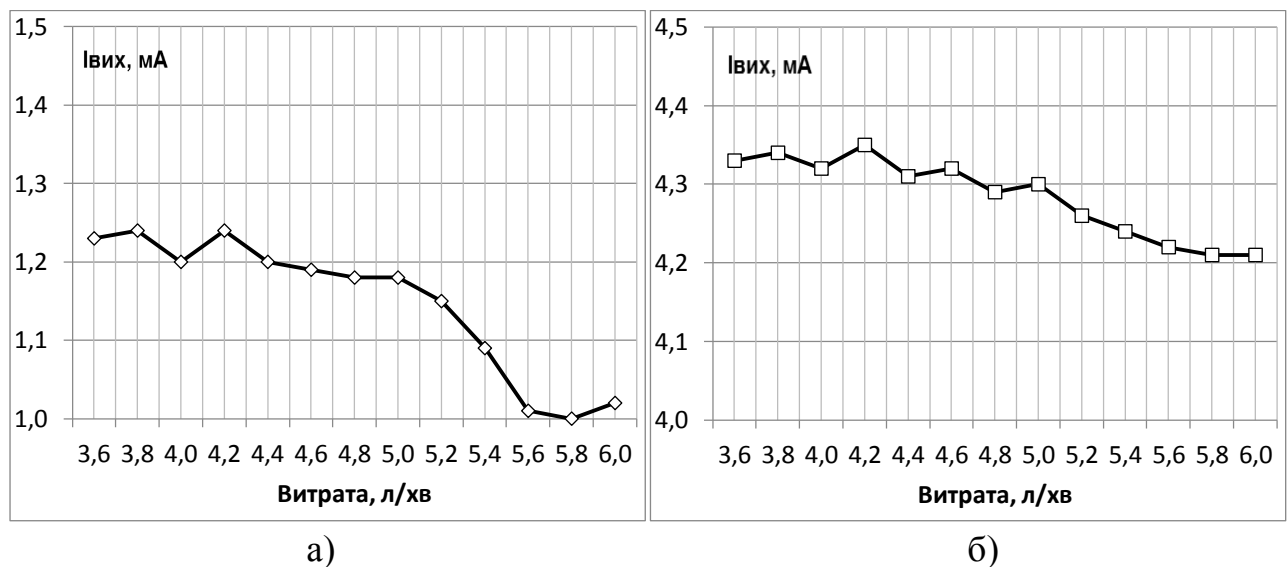


Рисунок 1– Залежність вихідного сигналу від витрат проби: а) CO_2 в азоті 6,4 %, б) CO_2 в азоті 12,8 %.

Для першого графіка ($C=6,24\%$) максимальні відхилення сигналу від значення $I=1,19\text{mA}$ отримаємо при витратах 4,2 л/хв та при 5,8 л/хв, що складає, відповідно, 0,05mA та 0,19 mA. Для другого графіка ($C=12,8\%$) максимальні відхилення сигналу від значення $I=4,32\text{mA}$ отримаємо при витратах 4,2 л/хв та при 6,0 л/хв, що складає, відповідно, 0,03mA та 0,1mA. Сумарна похибка вимірювання при зміні витрат на вході за рахунок «закупорення» газовідбірної системи змінюється від 2% до 16%.

Запропоновано метод компенсації впливу зміни витрат в пробовідбірних системах на вихідний сигнал газоаналізатора, який передбачає автоматичне корегування витрат димової проби за рахунок зміни поперечного перерізу обхідного (байпасного) газопроводу (рис.2).

Газова проба проходить по газопроводу 1 і надходить паралельно в газоаналізатор 2 і байпасну лінію 3 з регульованим дроселем 4, який може змінювати її поперечний переріз.

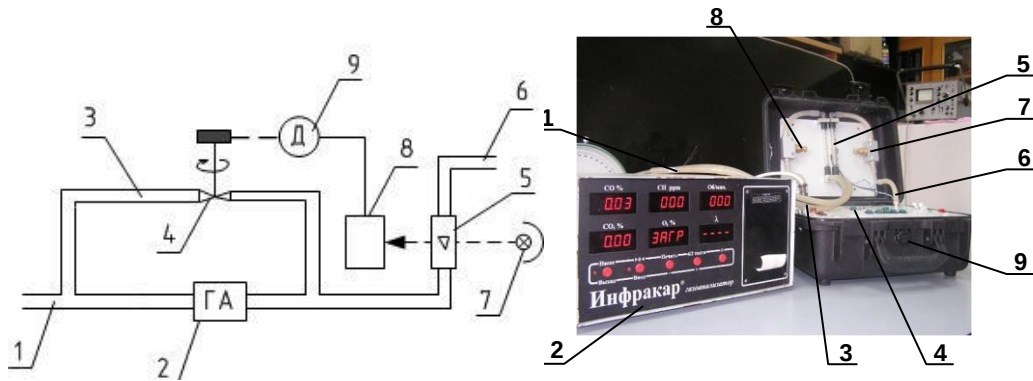


Рисунок 2– Метод компенсації впливу зміни витрат димової проби. 1 – вхідний газопровід, 2 – газоаналізатор, 3 – байпасна лінія, 4 –регульований дросель, 5 – ротаметр, 6 – вихідний газопровід, 7 – джерело випромінювання, 8 – фотоприймач, 9 – електродвигун.

Вихід газоаналізатора 2 через ротаметр 5 з'єднаний з вихідним газопроводом 6. На поплавков ротаметра направлений потік світла від джерела живлення (світлодіод) 7. При нормальному, штатному режимі витрат, світловий потік від джерела 7 не проходить через поплавок ротаметра на фотоприймач 8 (фотодіод) і байпас 3 відкритий регульованим дроселем 4. В разі забруднення газопроводу об'єм проби через газоаналізатор зменшується і положення поплавка 5 змінюється, потік випромінювання від джерела 7 попадає на фотоприймач блоку управління 8, де формується сигнал для електродвигуна 9. Електродвигун повертає дросель 5, зменшуючи поперечний переріз обхідного газопроводу до такого значення, при якому об'єм проби через газоаналізатор відновляється до штатного режиму витрат. Поплавок повертається в початкове положення, світловий потік перекривається, а двигун 9 зупиниться. Корегування витрат димової проби відбувається перед початком вимірювання в вимірювальному циклі.

Для моделювання зміни витрат використовувались суміші CO_2 в NO_2 зі стандартними концентраціями 6,4% і 12,8%. Результати представлені на рис.3.

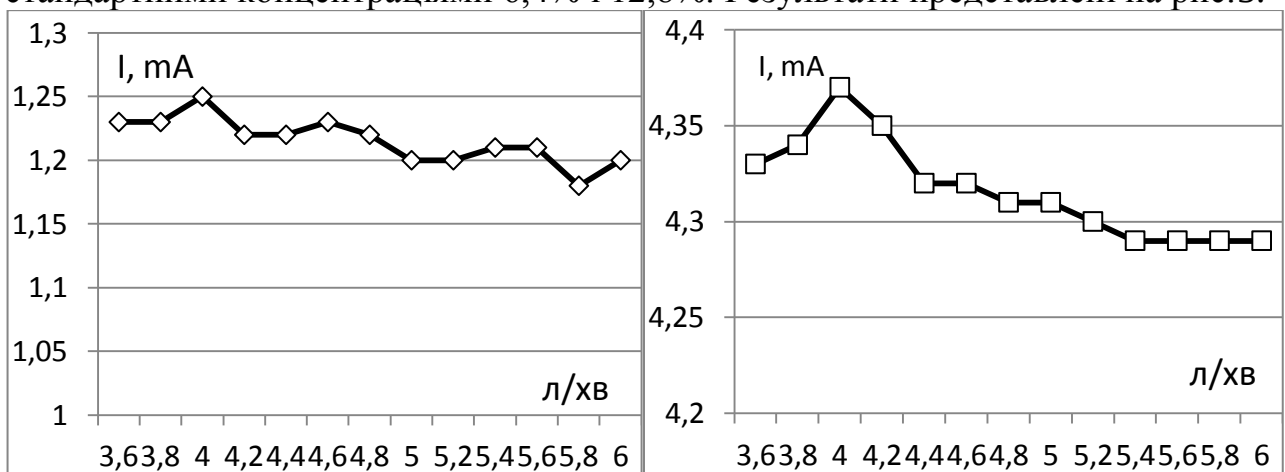


Рисунок 3–Залежність вихідного сигналу від витрат проби: а) CO_2 в азоті 6,4 %, б) CO_2 в азоті 12,8 %.

Для концентрації $C=12,8\%$ максимальні відхилення сигналу від значення $I=4,32$ мА(витрати 4,6 л/хв) отримаємо при витратах 5,4 л/хв та при 4,0 л/хв, що складає, відповідно, 0,03мА та 0,05мА. Сумарна похибка вимірювання за шість місяців безперервної роботи в схемі з автоматичною компенсацією впливу зміни

витрат знаходиться в межах 1%. Для концентрації $C=6,24\%$ максимальні відхилення сигналу від значення $I=1,23$ мА (витрати 4,6 л/хв) отримаємо при витратах 4,0 л/хв та при 5,8 л/хв, що складає, відповідно, 0,02 мА та 0,05 мА. Сумарна похибка за шість місяців безперервної роботи в схемі з автоматичною компенсацією впливу зміни витрат може змінюватися від 2% до 4%. Таким чином, експериментально показано, що застосування методу компенсації в діапазоні витрат від 3,6 л/хв. до 6,0 л/хв. дозволяє зменшити сумарну похибку вимірювання концентрації забруднювача до 4 %.

В третьому розділі проведено розрахунки та представлені дані щодо розподілу концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих викидів ССЗ «Енергія» в залежності від витрат викидів, від швидкості вітру, по висоті вздовж та перпендикулярно осі факелу, від значення концентрації забруднюючих речовин на виході труби.

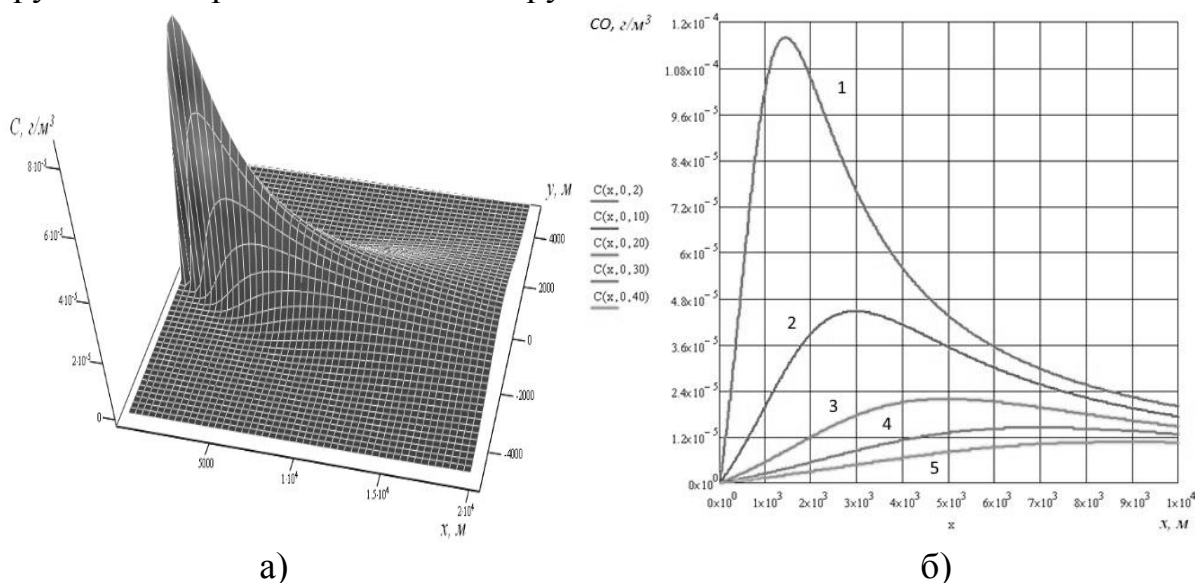


Рисунок 4—Розподіл концентрацій в атмосфері викидів ССЗ «Енергія»; а) — Концентрація CO в приземному шарі атмосфери, б) — Приземні концентрації CO при швидкості вітру $U = 2; 10; 20; 30; 40$ м/с.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості вітру спостерігається збільшення протяжності зони забруднення та зменшення ширини смуги забруднення, зменшення значення максимуму приземної концентрації та його переміщення на більшу відстань від джерела забруднення.

Встановлено, що зміна висоти труби дає можливість зменшення приземних значень концентрацій викидів та регулювання відстані від джерела викидів до точки максимального значення приземних концентрацій. Збільшення висоти труби понад 200 м суттєвих результатів не дає. Оскільки в Україні планується побудова нових ССЗ, то розрахункову методику можна використовувати для вибору оптимальної висоти труби при проектуванні заводу з врахуванням складу ТПВ та особливостей регіону.

При вдосконаленні моделі враховано, що певна частка NO , який утворюється в процесі сміттєспалювання, після попадання в атмосферу доокислюється в NO_2 , який майже в 5 разів більш токсичний. Загальна концентрація діоксиду азоту $C_{NO_2}^*$ в атмосфері з урахуванням трансформації буде визначатися формулою

$$C_{NO_2}^* = C_{NO_2} + a_n a_m C_{NO}, \quad (2)$$

де C_{NO} — концентрація NO, виміряна в трубі ССЗ, г/м³;

a_n — коефіцієнт трансформації NO в NO₂ в атмосферному повітрі,

a_m — співвідношення молекулярних мас NO₂ та NO ($a_m = 1,53$).

Програма розрахунків була доповнена блоком розподілу концентрацій NO та NO₂ з врахуванням їх трансформації в атмосферному повітрі після виходу з труби ССЗ. Показано, що розрахунки без врахування трансформацій оксидів азоту призводять до отримання недостовірної інформації. На рис.5 представлений графік розподілу концентрацій NO₂ на відстані до 50 км від джерела без врахування та з врахуванням трансформації в атмосферному повітрі.

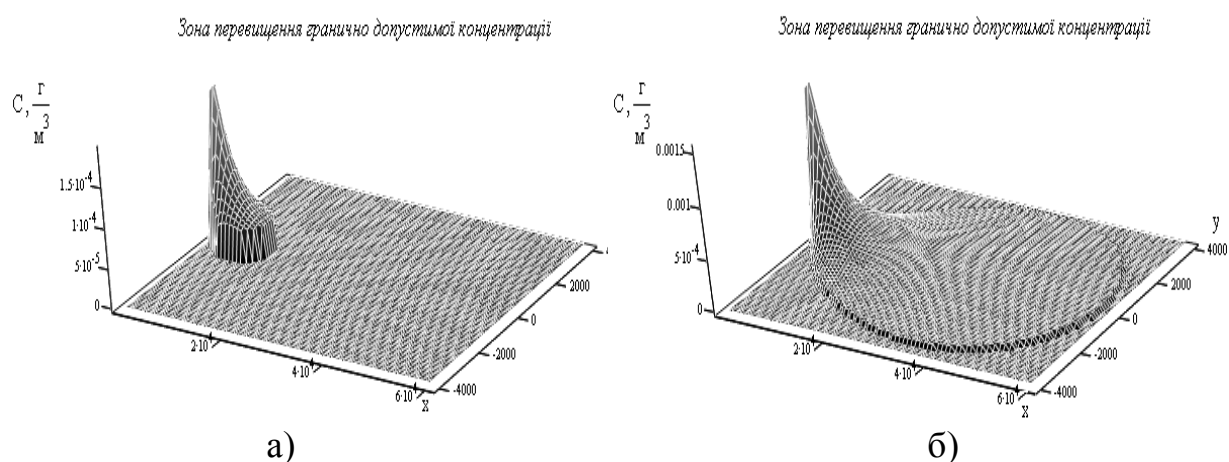


Рисунок 5 — Розподіл приземних концентрацій NO₂ в зоні перевищення ГДК (а) без урахування трансформації, (б) з урахуванням трансформації.

Для оцінки достовірності отриманих результатів проведено порівняння розрахункових та виміряних на місцевості значень приземних концентрацій NO₂, отриманих за вдосконаленою методикою з використанням даних газоаналітичного комплексу ССЗ «Енергія» (рис. 6).

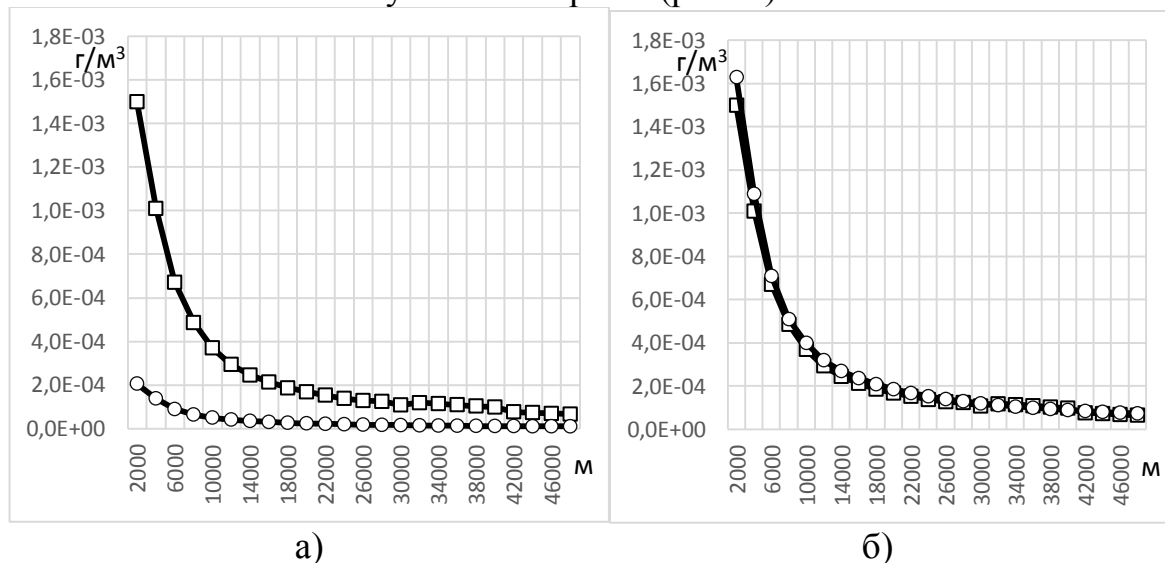


Рисунок 6 – Розрахункові (○) та виміряні (□) значення приземних концентрацій NO₂ (а) без урахування трансформації, (б) з врахуванням трансформації.

Встановлено, що відносна похибка розрахунку концентрацій NO₂ без врахування трансформації в атмосфері сягає 40%, а з врахуванням не

перевищує 12 %.

Зроблено висновок, що проблема створення ефективної системи моніторингу атмосфери м. Києва потребує інтеграції суб'єктів моніторингу атмосфери в межах Києва і області на базі новітніх інформаційно – вимірювальних технологій, а також шляхом вдосконалення моделей формування і розповсюдження забруднювачів атмосфери.

В четвертому розділі представлені результати досліджень, спрямованих на вдосконалення дворівневої системи технолого-екологічного моніторингу та оптимізації процесів горіння на Київському ССЗ «Енергія». Впровадження цих результатів не тільки забезпечило безперервний контроль газового середовища безпосередньо в зоні горіння і на газоході, але й дало можливість отримати нові практично важливі дані щодо перебігу сміттєспалювальних технологій.

Виконано аналіз складових загального часу, необхідного для відновлення комплексу після відмови. Оцінка надійності проведена за характеристикою середнього напрацювання на відмову. Показано, що суттєвого покращення можна досягти зменшенням часу локалізації дефекту. При цьому інформація, необхідна для локалізації дефекту може бути отримана як в процесі функціонування газоаналітичного комплексу (функціональна діагностика), так і шляхом організації тестових впливів на основі додаткової апаратури (тестове діагностування).

На основі аналізу методів модуляції та з врахуванням результатів власних експериментальних досліджень запропоновано метод підвищення надійності газоаналітичного комплексу ССЗ, який полягає в стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу за рахунок тестової модуляції концентрації компонента димового газу аналогічним чистим газом (рис. 7).

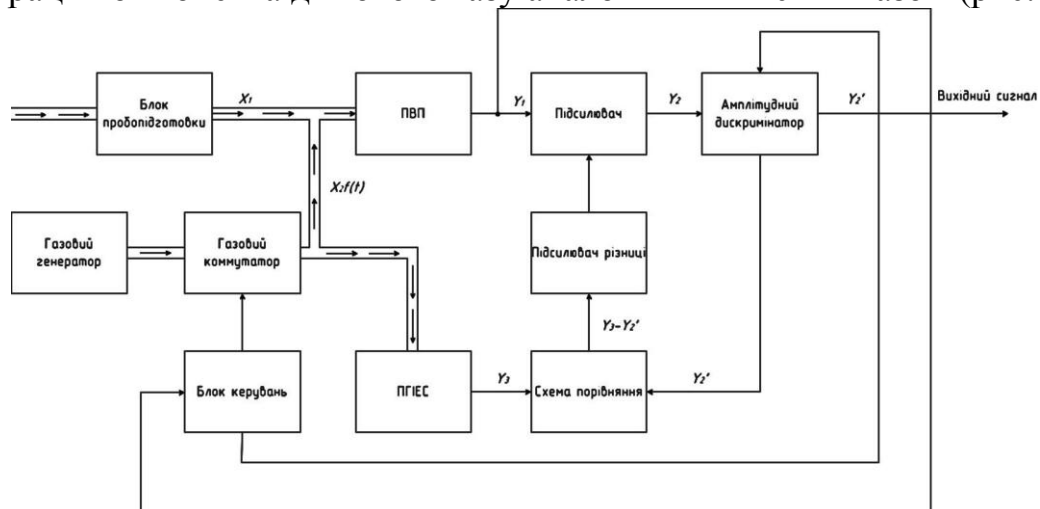


Рисунок 7 – Функціональна схема газоаналізатора з тестовою модуляцією концентрації газового компонента

Тестовий газовий імпульс змінюється за обраним законом $X_2 f(t)$, де X_2 — концентрація тестового газового сигналу, $f(t)$ —закон модуляції. Концентрація компонента на вході ПВП визначається виразом

$$X_1 + X_2 f(t), \quad (3)$$

де X_1 —концентрація вимірюваного газового компонента,

В результаті відбувається модуляція концентрації досліджуваного газового компонента і вихідний сигнал ПВП матиме вигляд

$$Y_1 = [X_1 + X_2 f(t)] K_1 \quad (4)$$

де K_1 — коефіцієнт передачі ПВП.

Схема порівняння формує різницю сигналів амплітудного дискримінатора і перетворювача тестового імпульсу в електричний сигнал (ПТІЕС). При номінальному значенні коефіцієнта передачі вимірювального каналу ці сигнали рівні. Якщо з'явиться похибка вимірювань, то на вхід схеми порівняння надійде коригуючий сигнал, що змінює коефіцієнт передачі газоаналізатора до свого номінального значення. Фактично відбувається стабілізація коефіцієнта передачі газоаналізатора і тим самим автоматично компенсуються похибки вимірювань.

Запропоноване рішення, на відміну від відомих, дозволяє не тільки коригувати коефіцієнт передачі газоаналізатора, але й визначати час його введення завдяки тому, що вихідний сигнал подається також в блок керування, де з метою оцінки змін динаміки вихідного сигналу відбувається його диференціювання. В разі відсутності динамічних змін сигналу (а саме такі процеси характеризують процеси спалювання ТПВ) блок керування видає сигнал на відкриття газового комутатора, комутатор пропускає тестову порцію газу, тривалість якої (1-3 с) також визначається блоком керування. Цей сигнал видається на основі оцінки не менше 10 суміжних вимірювань концентрації газів на протязі 10 хвилин. Без участі оператора коригується коефіцієнт передачі газоаналізатора, визначається час введення та тривалість тестового сигналу, економляться витрати. На основі запропонованого методу тестової модуляції на ССЗ «Енергія» реалізована схема побудови газоаналітичного комплексу, в якому димова проба розбавляється нульовим газом, як правило, очищеною пробєю атмосферного повітря (рис. 8).

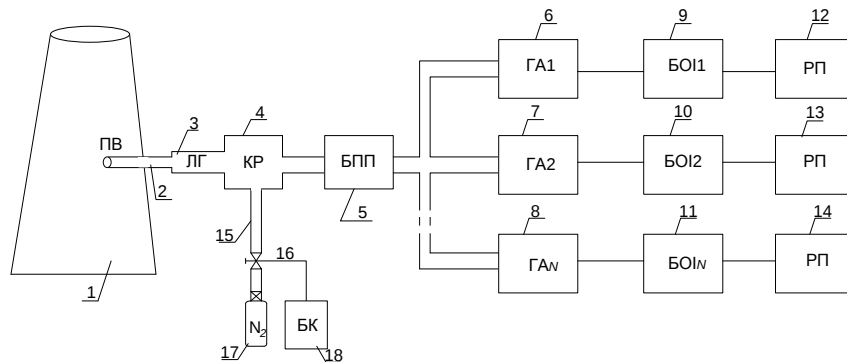


Рисунок 8—Функціональна схема газоаналітичного комплексу ССЗ «Енергія»: 1—димова труба, сміттєспалювальної печі, 2—пробовідбірний зонд, 3—лінія транспортування проби, 4—камера – ресивер, 5—блок пробопідготовки, 6,7,8—газоаналізатори, 9,10,11—блоки обробки інформації, 12,13,14—реєструючі пристрої, 15—газопровід, 16—електромагнітний клапан, 17—балон з нульовим газом, 18—блок керування.

Комплекс працює наступним чином. В першому (виробничому) циклі з димової труби 1 ССЗ за допомогою зонду пробовідбірника 2 безперервно відбирається проба димового газу для аналізу концентрації токсичних компонентів. Проба через лінію транспортування 3 поступає на перший вхід камери 4, з виходу якої димовий газ надходить до блока 5, в якому відбувається очищення димового газу від пилу і вологи. Підготовлений газ надходить на

входи газоаналізаторів 6, 7, 8, кількість яких відповідає кількості газових компонентів. На виході кожного з газоаналізаторів формується електричний сигнал, пропорційний концентрації відповідного компонента. Електричні сигнали з газоаналізаторів підсилюються, обробляються в БОІ і виводяться на реєструючі пристрої 12, 13, 14, де фіксується виміряна концентрація димових газів. В другому (калібрувальному) циклі вимірювань блок 18 видає сигнал на електромагнітний клапан 16 і відкриває його на фіксований інтервал часу. З балону 17 через відкритий клапан 16 порція нульового газу поступає в камеру 4, де відбувається згладжування імпульсу тиску проби нульового газу з одночасним розбавленням концентрації димових газів на фіксований відсоток. Об'єм камери 4 відомий, час подачі порції чистого газу вибирається з розрахунку, щоб зниження концентрації димових газів було не менше 10%. При стабільному коефіцієнті перетворення відповідного газоаналізатора зниження концентрації газу буде очікуваним і розрахунковим. В разі відхилення показів газоаналізаторів від розрахункових значень проводиться відповідна корекція коефіцієнта перетворення під час повторної дії порції нульового газу. Таке рішення спрощує процедуру калібрування і зменшує затрати, оскільки дозволяє проводити робоче метрологічне калібрування газоаналізаторів без їх демонтажу і відключення від технологічного процесу спалювання ТПВ.

В період з 2000р. по 2010р. в ході експлуатації чотирьох дослідно-промислових зразків комплексів ТК-1 провадилось дослідження показників їх надійності (табл.3). Комплекси №1 і №4 були виділені для традиційної експлуатації—роботи по відновленню працездатності починались по факту відмови ТК-1, на №2 і №3 відпрацьовувалась методологія тестової модуляції.

Таблиця 3 — Порівняння показників надійності комплексів ТК-1

№ ТК-1	Напрацювання на відмову, год		Час відновлення, год
Традиційно по фіксації відмови			
№ 1	2000-2003pp	12460	4
	2004 -2006pp	9240	4
	2007-2010pp	8460	5
№ 4	2000-2003pp	14780	4
	2004 -2006pp	11250	6
	2007-2010pp	9680	5
Метод тестової діагностики			
№2	2000-2003pp	16270	1
	2004 -2006pp	16120	1
	2007-2010pp	14890	1,5
№ 3	2000-2003pp	15990	1,0
	2004 -2006pp	14890	1.0
	2007-2010pp	13860	1.0

В якості показників надійності реєструвались відмови з фіксацією часу напрацювання на відмову та часу, необхідного для відновлення. Аналіз отриманих даних свідчить, що основний показник надійності ТК-1 – напрацювання на відмову в комплексах ТК-1 № 1 і №4 знаходиться в межах від 9680 до 12460 год. При цьому знаходження вузла, який відмовив, вимагає тривалого часу і досвіду оператора, а загальний час відновлення складається з

часу знаходження дефектного вузла та часу на його заміну. У комплексів ТК-1 № 2 і №4 час напрацювання на відмову збільшився в середньому на 12%. Час знаходження дефектного елемента майже відсутній, час відновлення складається тільки з часу заміни вузла.

На основі проведення тривалих (протягом року) експериментальних досліджень роботи комплексу ТК-1, в реальних умовах експлуатації, були отримані дані про концентрації CO , CO_2 , O_2 в котлоагрегатах при спалюванні ТПВ в різних співвідношеннях палива і повітря. На рис.9,а представлені експериментальні дані вимірювання концентрації газів в котлоагрегаті №3 для типового робочого циклу спалювання ТПВ протягом року, а на рис. 9,б представлені експериментальні дані вимірювання концентрації викидів котлоагрегата №3 на газоході труби екологічним комплексом ЕК-1. Кожне представлене на графіках значення концентрації є середнім за відповідний місяць.

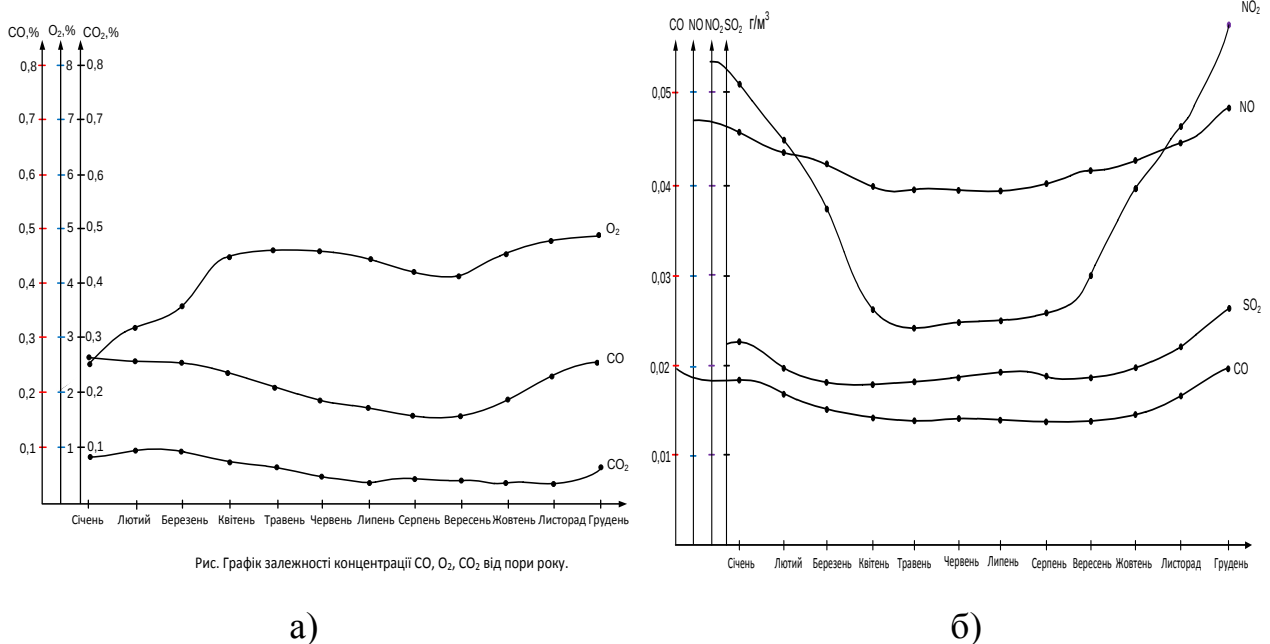


Рисунок 9–Експериментальні дані вимірювання: а) концентрації газів в котлоагрегаті №3, б) концентрації газів на газоході труби.

Аналіз експериментальних даних дозволив зробити висновок, що підтримання співвідношення концентрацій газів в котлоагрегатах $\text{O}_2:\text{CO}:\text{CO}_2=(3:0,8:0,05)\%$ дає ефект найменшого споживання палива на тону спалених відходів, на основі чого був розроблений і введений в дію на ССЗ «Енергія» «Технічний регламент газоаналітичного технологічного контролю», по якому на першому етапі оператор змінює співвідношення паливо/повітря вручну до отримання заданого значення $(\text{O}_2:\text{CO}:\text{CO}_2)=(3,0:0,8:0,05)\%$, а на другому етапі дані вводяться в програму мікропроцесорного пристрою, який за результатами моніторингу концентрацій O_2 , CO , CO_2 регулює співвідношення паливо (газ)/повітря.

З впровадженням ТК-1 на одну тону спалених ТПВ витрачається 800-850 м^3 газу. До впровадження ТК-1 на ССЗ «Енергія» на одну тону ТПВ витрачали 950-1100 м^3 залежно від пори року і складу ТПВ.

Таблиця 4–Техніко-економічні результати впровадження комплексу ТК-1

Рік	Маса ТПВ, тис. тон	Спожитий газ, тис. м ³	O ₂ , г/м ³	CO, г/м ³	CO ₂ , г/м ³
2011р. з ТК-1	130,0	105,0	2,8	0,7	0,05
2012р. з ТК-1	126,0	102,0	3,9	1,0	0,05
2013р. з ТК-1	135,0	109,0	2,4	0,8	0,05
2010р.(без ТК-1)	140,0	143,0	-	-	-

Вдосконалення дворівневої системи технолого-екологічного моніторингу викидів СЗЗ «Енергія» дозволило архівувати та систематизувати результати вимірювань комплексами ТК-1 і ЕК-1, обробляти їх з метою отримання результатів вимірювань за певний часовий інтервал та провадити технічну діагностику технологічного обладнання шляхом порівняння результатів вимірювань з режимними картами роботи котлів, розробити рекомендації технічному персоналу щодо оптимізації процесу горіння при роботі технологічного обладнання.

У Додатках наведено акти впровадження, а також виміряні і розрахункові значення приземних концентрацій викидів CO сміттєспалювального заводу «Енергія».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної задачі підвищення надійності газоаналітичних комплексів сміттєспалювальних заводів і точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у їх викидах за рахунок стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів та компенсації впливу змін витрат проби в вимірювальних каналах.

1. Вперше створений метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів газоаналітичного комплексу шляхом застосування тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента, який на відміну від існуючих, враховує динаміку процесу сміттєспалювання, що забезпечило збільшення часу напрацювання на відмову на 12%. Метод дозволяє встановлювати тривалість тестового сигналу та визначати момент його введення, проводити робоче калібрування газоаналізаторів без їх демонтажу і відключення від технологічного процесу спалювання, а також економити витрати повітряної газової суміші.

2. Вперше створений метод компенсації впливу змін витрат газової проби, який забезпечує підвищення точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах СЗЗ шляхом коригування витрат димової проби за рахунок введення байпасу з автоматичним регулюванням поперечного перерізу.

3. Вперше для СЗЗ в результаті аналізу великого обсягу статистичних даних про концентрації димових газів в котлоагрегатах, отриманого в реальних умовах виробництва, встановлено співвідношення концентрацій $O_2:CO:CO_2=(3:0,8:0,05)\%$, при якому споживання палива на тону спалених ТПВ зменшується, при цьому зменшується також рівень викидів в атмосферу токсичних компонентів NO_x , SO_2 , CO .

4. Вдосконалена математична модель транспортного запізнення із врахуванням конфігурації газопровідної трубки, на базі якої створена розрахункова методика визначення швидкодії газоаналітичного комплексу ССЗ, що враховує параметри газової суміші та особливості елементів пробовідбору і пробопідготовки. Використання запропонованої розрахункової методики дозволить зменшити час транспортного запізнення на етапі проектування шляхом теоретичних розрахунків часу та вибору елементів схеми, на яких транспортне запізнення буде найменшим.
5. Проведено дослідження швидкодії вимірювальних каналів O_2 , CO , CO_2 , CH_4 газоаналітичного комплексу ССЗ «Енергія» в нормальних умовах експлуатації і встановлено, що значення транспортного запізнення для різних вимірювальних каналів знаходиться в межах від 6 с до 58 с.
6. Вдосконалено модель розрахунку приземних концентрацій оксидів азоту, які містяться у викидах ССЗ, шляхом врахування їх трансформації в атмосфері, що дозволило зменшити розходження між розрахунковими та виміряними на місцевості із 40 % до 12 %.
7. Отримано великий масив статистичних даних про характер формування димових газів в котлоагрегатах та про концентрації токсичних компонентів у викидах ССЗ «Енергія», що може бути використано для вдосконалення технології сміттєспалювання, а також для створення нових методик розрахунку розповсюдження в атмосфері шкідливих речовин.
8. Проведено розрахунки та представлені дані щодо розподілу концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих викидів ССЗ «Енергія» в залежності від витрат викидів, від швидкості вітру, по висоті вздовж осі факелу, від значення концентрації забруднюючих речовин на виході труби.
9. Результати досліджень впроваджені на ССЗ «Енергія» та в навчальному процесі НТУУ «КПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ, В ЯКИХ ВИКЛАДЕНО ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Безрук З. Д. Методи і засоби контролю викидів сміттєспалювального заводу [Текст] / З. Д. Безрук // Метрологія та прилади. – 2014. – № 2. – С.47-52. Входить до НМБД [Index Copernicus Journals Master List](#).
2. Безрук З. Д. Экспериментальные исследования выбросов мусоросжигательного производства [Текст]/З. Д. Безрук, В.П. Приміський, В. А. Порєв // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 4/2 (16).–С.150-153. Входить до НМБД [Index Copernicus Journals Master List](#). Автором особисто розроблена методика експериментального дослідження сміттєспалювальних технологій в реальних умовах експлуатації на ССЗ «Енергія» та проведено моделювання розповсюдження шкідливих викидів.
3. Безрук З. Д. Средства метрологического обеспечения экологических, газоаналитических измерений [Текст] / З. Д. Безрук, В.Я. Грабарь, В.П. Приміський, Л.Т. Мошковська // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. –№2. – С.77-82. Автором особисто обґрунтовано метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу за рахунок тестової модуляції

концентрації компонента проби.

4. Безрук З. Д. Дослідження приземних концентрацій викидів сміттєспалювального заводу «ЕНЕРГІЯ» [Текст] / З.Д.Безрук, В.А.Порєв // Проблемы машиностроения. – 2013. – №6. – С.37-43. Входить до реферативної бази даних «Україніка наукова». Автором особисто розроблені експериментальні моделі розповсюдження викидів.
5. Безрук З. Д. Вдосконалення методів та засобів контролю забруднення атмосфери викидами сміттєспалювального заводу [Текст] / З. Д. Безрук, В. А. Порєв, С. М. Харагоргієв // Вісник НТУУ “Київський політехнічний інститут”, серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2009. – № 37. – С. 58-63. Автором виконано дослідження підходів до моделювання розповсюдження шкідливих речовин.
6. Визнюк А. А. Створення систем технолого-екологічного моніторингу забруднення атмосфери [Текст] / А. А. Визнюк, З. Д. Безрук // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. – № 2. – С. 66-71. Автором обґрунтована функціональна схема дворівневої системи технолого-екологічного моніторингу викидів СЗЗ.
7. Порєв В. А. Вимірювальний газоаналітичний комплекс паливно-мастильних матеріалів [Текст] / В. А. Порєв, З. Д. Безрук, В. П. Приміський. //Вісник НТУУ “Київський політехнічний інститут”, серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2006.–№ 31. – С.63-69. Автором обґрунтовано введення додаткового узгоджувального коефіцієнта в алгоритм обробки і представлення вимірювальної інформації.
8. Пат. на корисну модель № 89473 Україна, МПК G01N27. Газоаналітичний комплекс димових газів сміттєспалювального заводу/ З.Д. Безрук. – № 201312227; заявл. 18.10.2013, опубл. 25.01.2014, Бюл. №8.– 2 с.
9. Пат. на корисну модель 65505 Україна, МПКG01N/22. Газоаналітичний технологічний комплекс з мікропроцесорною системою/ Безрук З.Д. Дашковський О.А. Бородавка В.П. Крикун С.С. та ін.; № 65505А., заявл.2003-12-24, опубл. 2005-11-15. Бюл.№11. Автором запропоновано введення гальванічної розв’язки сигналів для підвищення надійності комплексу.
- 10.Безрук З. Д. Тестово - модуляційний метод газоаналітичних вимірювань [Текст] / З. Д. Безрук // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: Всеукраїнська наук.-техн. конф., (випуск 2), 27-28 лютого 2014 р.: тези доп. – Тернопіль, 2014. – С. 40-42.
- 11.Безрук З. Д. Системи інструментального екологічного моніторингу [Текст] / З. Д. Безрук // Приладобудування 2008: стан і перспективи: VII наук.-техн. конф., 22 - 23 квітня 2008 р. : тези доп. – Київ, 2008. – С.141.
- 12.Безрук З. Д. Еколого-технологічний моніторинг переробки відходів [Текст] / З. Д. Безрук // Современные информационные и электронные технологии : V Междунар. науч.-технич. конф., 17–23 мая 2004г. : тезисы докл. – Одесса, 2004. – С. 100.
- 13.Безрук З. Д. Аналітичний контроль хімічно небезпечних підприємств Києва [Текст] / З. Д. Безрук // Приладобудування 2007: стан і перспективи: VI наук.-техн. конф., 24 - 25 квітня 2007 р. : тези доп. – Київ, 2007. – С.180-181.

14. Дашковський О.А. Математична модель транспортного запізнення газової проби у газоаналізаторах [Текст] / З.Д.Безрук, О.А.Дашковський, В.А.Порєв, В.П.Приміський // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення.: Всеукраїнська наук.-техн. конф., (випуск 2), 27-28 лютого 2014 р.: тези доп. – Тернопіль, 2014. – С.43-45. Автором особисто розроблена математична модель транспортного запізнення газової проби, яка враховує втрати на місцевих змінах конфігурації газопровідної трубки.
15. Баскова І. П. Параметричні і газоаналітичні системи промислового моніторингу [Текст] / І. П. Баскова, З. Д. Безрук, В. Ф. Приміський // Приладобудування: стан і перспективи: IV наук.-техн. конф., 26-27 квітня 2005 р. : тези доп. – Київ, 2005. – С.172. Автором виконано дослідження закономірностей утворення димових газів.
16. Баскова І. П. Газоаналітичний енергозберігаючий інформаційно-вимірювальний комплекс по оптимізації контролю процесів горіння [Текст] / І. П. Баскова, З. Д. Безрук, В. П. Приміський // Приладобудування 2006: стан і перспективи: V наук.-техн. конф., 25-26 квітня 2006 р.: тези доп. – Київ, 2006. – С.176-178. Автором особисто запропоновано підхід до регулювання процесів горіння за результатами автоматичного контролю газового середовища.
17. Мовчан Н. М. Экспериментальные газоаналитические исследования выбросов мусоросжигательного завода [Текст] / Н. М. Мовчан, З. Д. Безрук, А. А. Дашковский В. А. Порєв // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: междунар. науч.-практ. конф., 12-16 вересня 2005г. : тезисы докл. – Алушта, 2005. – С. 202-208. Автором запропоновано метод тестової діагностики, проведено його дослідження та аналіз динаміки викидів.
18. Безрук З. Д. Мобільна лабораторія екологічного контролю [Текст]/З. Д. Безрук В. П. Приміський, М. Г. Шаталов // Метрологічне забезпечення фізико-хімічних та оптико-фізичних вимірювань: 3-я міжнар. наук.-практ. конф. ХІММЕТ-3, 11-13 листопада 2008 р.: тези доп. – Київ, 2008. – С. 128-132. Автором особисто запропонована методика та виконані дослідження приземних концентрацій оксидів азоту.
19. Безрук, З. Д. Экспериментальные исследования выбросов мусоросжигательного завода / З. Д. Безрук, А. А. Дашковский, В. Ф. Приміський, А. В. Галченко // материалы Междунар. науч.-технич. конф. «Обращение с отходами –проблемы и решения XXI века. – 2005. Одесса. – С. 20-25. Автором особисто виконана статистична обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень викидів.
20. Визнюк А. А. Компьютерные технологии в ИК–газоанализаторах [Текст] / А. А. Визнюк, В. В. Богданов, І. В. Чемерис, З. Д. Безрук // Приладобудування 2004; стан та перспективи: наук.-техн. конф., 20 - 21 квітня 2004 р.: тезисы докл.–Київ, 2004.–С. 114-115. Автором особисто запропонована функціональна схема інфрачервоного газоаналізатора з мікропроцесорним пристроєм.
21. Безрук З. Д. Застосування телевізійних систем для контролю викидів енергетичних об'єктів [Текст]/З. Д. Безрук, В. А. Порєв // Приладобудування

2007: стан і перспективи: VI наук.-техн. конф., 24-25 квітня 2007 р.: тези доп. – Київ, 2007. – 189 с. Автором запропоновано використання телевізійних систем для уточнення параметрів атмосфери в ближній до джерела викидів зоні.

22. Безрук З.Д. Критерії ефективності екологічного моніторингу атмосфери мегаполісу [Текст] / З. Д. Безрук, В. А. Порєв // Приладобудування 2009: стан і перспективи: VII наук.-техн. конф., 28-29 квітня 2009 р.: тези доп. – Київ, 2009. – С. 119 – 120. Автором запропоновано підхід до організації моніторингу атмосфери міста.

АНОТАЦІЯ

Безрук З. Д. Вдосконалення методів і засобів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у викидах сміттєспалювальних заводів. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 — прилади і методи контролю та визначення складу речовин.—Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Київ, 2014.

Дисертацію присвячено дослідженню питань, пов’язаних з підвищенням надійності газоаналітичних комплексів сміттєспалювальних заводів і точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин у їх викидах.

Створений метод стабілізації коефіцієнта передачі вимірювальних каналів газоаналітичного комплексу. Метод реалізований шляхом застосування тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента, який враховує динаміку процесу спалювання. Впровадження методу на сміттєспалювальному заводі «Енергія» забезпечило збільшення часу напрацювання на відмову на 12%.

Для підвищення точності вимірювання концентрацій шкідливих речовин створений метод компенсації витрат газової проби.

Вдосконалено модель перенесення викидів сміттєспалювального заводу шляхом врахування трансформації оксидів азоту в атмосфері.

Отримані результати впроваджено в промислову технологію сміттєспалювання.

Ключові слова: точність, вимірювання, надійність, газоаналітичний комплекс, сміттєспалювання.

АННОТАЦИЯ

Безрук С. Д. Совершенствование методов и средств измерения концентраций вредных веществ в выбросах мусоросжигательных заводов. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13—приборы и методы контроля и определения состава вещества. —Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 2014.

Диссертация посвящена исследованию вопросов, связанных с повышением надежности газоаналитических комплексов мусоросжигательных заводов и точности измерения концентраций вредных веществ в их выбросах.

Установлено, что одной из проблем современных автоматических газоаналитических комплексов является нестабильность коэффициента передачи первичных измерительных преобразователей, работающих в сложных условиях эксплуатации (перепады температур, вибрации, влажность). Уменьшается средняя наработка на отказ по критерию увеличения дополнительной погрешности, вызванной изменением рабочих условий. Показано, что принципиальным недостатком известных методов стабилизации коэффициента передачи измерительного канала путем тестовой модуляции является формирование тестового компонента без учета динамики измеряемого сигнала.

Установлено, что уменьшение расходов дымовой пробы на входе газоанализатора вследствие изменения поперечного сечения газопроводных трубок в процессе эксплуатации приводит к уменьшению быстродействия и точности измерения концентраций вредных веществ в выбросах ССЗ.

Уменьшению быстродействия комплексов происходит также вследствие значительного времени транспортного запаздывания при прохождении газовой пробы от точки отбора до газоанализаторов.

Прогнозирование влияния загрязнений на окружающую среду требует данных о концентрации выбросов мусоросжигательных заводов на значительной территории, для чего используются расчетные модели, которые учитывают высоту и диаметр трубы, концентрации вредных примесей в составе дымовых газов, температуру, полные затраты и скорость дымовых газов на выходе трубы, свойства атмосферы и метеорологические данные. Но состояние атмосферы и ее стабильность во времени и пространстве являются сложными, динамическими функциями, поэтому показано, что моделирование процесса распространения загрязнений, которое базируется на данных метеостанций, связано со значительными погрешностями.

Создан метод стабилизации коэффициента передачи измерительных каналов газоаналитического комплекса. Метод реализован путем применения тестовой модуляции концентрации измеряемого газового компонента, который учитывает динамику процесса сжигания. Внедрение метода на мусоросжигательном заводе «Энергия» обеспечило увеличение времени наработки на отказ на 12%. Для повышения точности измерения концентраций вредных веществ создан метод компенсации расходов газовой пробы.

Усовершенствована модель переноса выбросов мусоросжигательного завода путем учета трансформации оксидов азота в атмосфере. Представлены данные о распределении концентраций в атмосферном воздухе вредных выбросов ССЗ «Энергия» в зависимости от расхода выбросов, от скорости ветра по высоте вдоль и перпендикулярно оси факела, от значения концентрации загрязняющих веществ на выходе трубы. Создана прикладная компьютерная программа реализации усовершенствованной модели переноса выбросов. Показано, что относительная погрешность расчета приземных

концентраций NO и NO₂ с учетом их трансформации в атмосфере не превышает 12%.

Установлено, что при соотношении концентраций O₂:CO:CO₂= (3:0,8:0,05)% потребления топлива на тонну отходов уменьшается в среднем на 15 %, уменьшается также уровень выбросов токсичных газов NO_x, SO₂, CO.

Обоснована методика расчета транспортной задержки с учетом конфигурации газопроводной трубки. Разработаны лабораторный стенд и методика для исследования влияния изменений расхода пробы на быстродействие комплекса и на дополнительную погрешность измерения концентраций газа.

Проведены экспериментальные исследования выходного сигнала газоанализатора при изменении расхода пробы за время длительной работы.

Представлены результаты исследований, направленных на совершенствование двухуровневой системы технолого-экологического мониторинга и оптимизации процессов горения на мусоросжигательном заводе «Энергия». Получен большой массив статистических данных о характере формирования дымовых газов в котлоагрегатах. Результаты внедрены в промышленную технологию мусоросжигания.

Ключевые слова: точность, измерение, надежность, газоаналитический комплекс, мусоросжигание.

ABSTRACT

Bezruk Z. Improvement of methods and means for the measurement of the density of the pollution emissions of waste incineration plants. —Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.11.13 - Devices and methods for control and determination of substance. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2014. The thesis investigates the issues related to improving the reliability of gas analytical systems, waste incineration plants and precision measuring concentrations of pollutants in their emissions.

Created stabilization method transfer coefficient measuring channels gas analytical complex. The method is implemented by applying the test modulation measured concentration of the gas component, which takes into account the dynamics of the waste incineration process. The implementation of the method to incineration plant "Energy" provide increased time between failures by 12%. To improve the accuracy of measuring concentrations of pollutants created by the method of reimbursement of the gas sample. Improved pattern transfer incinerator emissions by taking into account the transformation of nitrogen oxides in the atmosphere. The results are implemented in an industrial waste incineration technology.

Keywords: accuracy, measurement reliability, gas analytical complex waste incineration .