

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ЛЮБИМОВА НІНА ОЛЕКСАНДРІВНА**



УДК 658.562:[628.4.04:621.3]

**КОНТРОЛЬ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**  
**НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІДХОДАМИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ**  
**ТА ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

Автореферат дисертації  
на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків–2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

- Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,  
Заслужений діяч науки і техніки України  
**Артюх Станіслав Федорович**,  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», м. Харків,  
професор кафедри електричних станцій.
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
Заслужений діяч науки і техніки України  
**Большаков Володимир Борисович**,  
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків,  
головний науковий співробітник
- доктор технічних наук, професор,  
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,  
**Кісіль Ігор Степанович**,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти  
і газу, м. Івано-Франківськ ,  
завідувач кафедри методів та приладів контролю  
якості і сертифікації продукції
- доктор технічних наук, професор  
**Стенцель Йосип Іванович**,  
Технологічний інститут Східноукраїнського національного  
університету ім. В. Даля,  
м. Сєвєродонецьк, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих  
систем управління

Захист відбудеться 26 березня 2015 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий

20 лютого

2015 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої  
ради Д 64.050.09



Глоба С. М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Контроль процесів забруднення навколишнього середовища відходами енергетичних та енергоємних підприємств є важливою частиною Державної системної організації управління захистом довкілля в Україні. Це знайшло своє відображення у національних програмах і законодавчих актах. Україна приєдналася до відповідних міжнародних угод, і вимоги міжнародних стандартів і регламентів стали для неї звичайною нормою.

Значний вклад у розвиток наукового підходу в цілому внесли Е. Т. Володарський, В. О. Поджаренко, В. В. Кухарчук, Ю. М. Туз, І. С. Кисіль, П. П. Орнатський, Е. М. Бромберг, В. Б. Большаков, В. В. Литвих, С. І. Кондрашов, В. А. Петрук, В. А. Порєв, В. І. Водотівка та інші. Отримані значні результати і рішення в підвищенні точності прямих і непрямих вимірів на етапі отримання достовірної первинної інформації про кількісне значення параметрів контролю. Великий внесок у наукові рішення на етапі перетворення вторинної інформації за рахунок удосконалення інформаційних технологій адаптивного планування контролю у вигляді логічних рішень про якісні стани об'єкта надали С. М. Масевський, В. П. Малайчук, О. М. Петренко, А. В. Мозговий, О. Д. Боличевцев, П. Ф. Щапов, М. Басевіль, М. П. Цапенко та інші.

Однак, поряд з цим, при організації контролю процесів промислового забруднення довкілля методи підвищення вірогідності контролю на енергетичних та енергоємних підприємствах впроваджуються не в повному обсязі, існує об'єктивна потреба для глибокої модернізації загальної концепції та окремих рішень в галузі контролю процесів промислового забруднення довкілля. Це дасть змогу також прогнозувати можливі технологічні порушення та діагностувати передаварійні стани технологічного обладнання підприємств. Вирішення цієї проблеми повинно підвищити, в першу чергу, ефективність технологічного та експлуатаційного контролю на підприємствах енергетичного комплексу, хімічної промисловості та в інших галузях господарства, розширити за рахунок науково обґрунтованого планування вимірів інформаційні можливості та достовірність екологічного контролю. Подальша модернізація контролю відходів за рахунок підвищення достовірності, чуттєвості, швидкодії, удосконалення інформаційного забезпечення на етапі подальшої обробки у вигляді логічних рішень про якісні стани об'єкта контролю, впровадження запропонованих рішень цієї проблеми у виробництво дозволить покращити економічні, технічні та технологічні показники підприємства в цілому.

У зв'язку із цим, є очевидною важливість та актуальність теми дисертаційної роботи, яка і спрямована на вирішення проблеми підвищення достовірності контролю процесів забруднення довкілля промисловими підприємствами, покращення показників ефективності технологічного та експлуатаційного контролю.

**Зв'язок роботи із науковими програмами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Здобувач, як виконавець, провела дослідження у рамках держбюджетної НДР МОН України «Розробка методів та макетів приладів для неруйнівного контролю якості виробів із

зменшеними втратами енергії і матеріалів» (№ ДР 0113 У 000444) та науково дослідної роботи «Складові системи технічного контролю і їх аналіз» Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків.

Мета та задачі досліджень. Метою дослідження є підвищення достовірності контролю багатокомпонентних процесів забруднення навколишнього середовища відходами енергетичних та енергоємних підприємств на основі планування, прогнозування та профілактики передаварійних станів технологічного обладнання.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлені *задачі*:

- проаналізувати сучасний стан проблеми підвищення достовірності контролю процесів технологічного забруднення навколишнього середовища;
- розвинути інформаційну теорію вимірів та контролю екстремальних викидів із врахуванням факторного впливу нестационарності;
- розробити теорію та методи планування контролю поодиноких викидів у випадкових процесах забруднення із стрибкоподібними порушеннями стаціонарності;
- розвинути теорію локальних регресійного та спектрального видів аналізу для контролю локалізованих прогресуючих зм ін нестационарності процесів забруднення;
- розробити оптимальні вимірювальні процедури при багатомірному прогнозуванні викидів;
- розробити теорію та методи планування активного контролю процесів забруднення для адаптивного корегування параметрів технологічних процесів;
- розвинути теорію та впровадити методи контролю якості технологічного процесу за результатами тестування параметрів комплексної нестационарності процесів забруднення довкілля (атмосфери та гідросфери) у виробництві.

*Об'єктом дослідження* є процеси контролю забруднення навколишнього середовища, які обумовлені недосконалістю технологічних процесів енергетичних та енергоємних підприємств.

*Предметом дослідження* є методи та засоби підвищення достовірності контролю параметрів процесів забруднення навколишнього середовища викидами та скидами енергетичних та енергоємних підприємств.

**Методи дослідження.** В основі теоретичних та прикладних досліджень роботи лежить системний підхід до вирішення проблеми підвищення достовірності контролю, коли на коректність рішень впливають випадкові технологічні фактори та невизначеність вірогіднісних властивостей процесів забруднення. Для теоретичного обґрунтування вибору статистично-вірогіднісних моделей процесів, що контролюються при обмеженнях об'ємів первинної вимірювальної інформації, використані методи теорії вірогідності, багатфакторного, дисперсійного, коваріаційного, регресійного аналізів, інформаційної теорії випадкових процесів; для теоретичного і експериментального обґрунтування результатів підвищення достовірності контролю – математичні методи планування експерименту в умовах неоднорідності факторного впливу, статистичного аналізу, теорії вимірювань.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

*вперше:*

- обґрунтований метод планування контролю серії випадкових екстремальних викидів на основі запропонованої інформаційної моделі при обмеженні на час спостереження, з врахуванням ризиків контролю, параметрів

нестационарності процесу та компонентів дисперсій при випадковому впливі технологічних факторів ;

– запропонований метод оцінювання апіорних вірогідностей викидів, на основі математичної моделі локалізованого спектрального аналізу (вейвлет-аналізу) із подальшим оцінюванням дисперсій вейвлет-коефіцієнтів у частотно-часовому просторі їх змін;

– доведена принципова можливість планування активного контролю технологічних порушень на енергетичних та енергоємних підприємствах за станом параметрів нестационарності процесів забруднення на основі запропонованих методів позиційного керування та оптимального корегування контрольних-попереджувальних меж за мінімумом середньої частоти викидів;

*подальший розвиток отримали:*

– інформаційна теорія вимірів для вибору моделей показників нестационарності процесів забруднення, а також методи планування контролю випадкового потоку екстремальних викидів в процесах забруднення на основі запропонованих методів тестування багатовимірних групованих результатів та моделей дисперсійного аналізу при порушеннях стаціонарності потоку та при заданих ризиках контролю 1-го та 2-го роду, що забезпечило фільтрацію не тільки випадкових, але і систематичних похибок результатів вимірювань;

– методи локалізації закономірних трендів у процесах забруднення на основі запропонованої моделі дисперсійного аналізу послідовних регресій із випадковими коефіцієнтами;

*удосконалені:*

– теорія прогнозування випадкових процесів, на основі запропонованого методу екстраполяції, який враховує нестационарність процесу забруднення;

– теорія планування контролю технічного стану технологічних процесів на основі запропонованого методу тестування параметрів нестационарності процесів забруднення.

**Практичне значення отриманих результатів** для охорони навколишнього середовища в розробленні методів екологічного контролю викидів та скидів енергетичних та енергоємних підприємств. Запропоновані технологічні схеми контролю та керування процесами очищення від забруднень димових газів та стічних вод забезпечують більш достовірне оцінювання параметрів технологічного процесу і дають змогу своєчасно корегувати виявлені порушення шляхом проведення превентивних заходів.

Розроблені в роботі методи та рішення впроваджені на підприємствах:

– «Старобешевська теплова електростанція» (м. Новий Світ, Донецька обл.) – методи параметричного тестування на нестационарність і прогнозування викидів, що дозволило підвищити достовірність багатопараметричного контролю процесів повітряного забруднення та проводити профілактику перед аварійних ситуацій;

– «Зміївська ТЕС» ПАТ «Центренерго» (п. Комсомольськ, Харківська обл.) – метод активного оптимального контролю технологічних режимів процесу повітряного забруднення дало змогу підвищити чуттєвість та точність процедур керування технологічними процесами скидів;

– «Харківський коксохімічний завод» (м. Харків) – методи для підвищення чутливості та достовірності контролю хімічного складу забруднень водної середовища в системах її біохімічного очищення: розроблена схема контролю та керування інформаційно-вимірювальною технологією попереджувального контролю біохімічного очищення скидів покращила профілактику параметричних порушень у функціонуванні цеху біохімічного очищення скидів;

– «Науково-технічна фірма ЛІТ» (м. Харків) – методи підвищення достовірності процедур позиційного керування процесами очищення водної середовища від хімічного забруднення;

– Український державний науково-дослідний інститут проблем водопостачання, водовідведення та охорони природної середовища «УкрВОДГЕО» (м. Харків) – спосіб видалення газоподібної композиції фенолу, формальдегіду та метанолу із викидів виробництв фізико-хімічними та біологічними методами, а також схема активного контролю при організації цієї технології.

Інформаційні та вірогіднісні моделі контролю і прогнозування нестационарних процесів забруднення навколишнього середовища впроваджені у навчальні дисципліни: «Надійність та технічна діагностика в енергетиці», «Екологія», «Охорона праці в галузі», «Охорона праці», «Безпека життєдіяльності» (НТУ «ХП»), «Охорона праці» (Харківський національний університет ім. В. В. Докучаєва), а також в навчальну дисципліну «Надійність, контроль та випробування РЕА» (Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків).

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, одержані здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування плану і програми дослідження при контролі викидів Старобешевської та Зміївської теплоелектростанцій, скидів Зміївської ТЕС та Харківського коксохімічного заводу, обробка отриманих статистичних даних, розробка математичних моделей із подальшим плануванням експерименту, обробка та узагальнення результатів дослідження із подальшим впровадженням на підприємстві запропонованих методів та рішень. Із співавторами розроблена технологічна схема повітроочищення від фенолу, метанолу та формальдегіду. Проведені лабораторні дослідження для виявлення оптимального співвідношення компонентів композиції фенолу, формальдегіду та метанолу повітряного забруднення аспіраційного повітря для ефективного протікання процесу біоочищення на базі Українського державного науково-дослідного інституту проблем водопостачання, водовідведення та охорони природної середовища «УкрВОДГЕО», розроблено схему контролю та керування цим процесом на коксохімічному заводі та під час лабораторного експерименту.

Апробація результатів дисертації. Наведені у роботі результати досліджень було викладено на 7 Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» (Вінниця, 2003); Международной конференции по вычислительной математике (МКВМ-2004) (Новосибирск, 2004); 12, 13, 17, 18, 20, 21 Міжнародних науково-практичних конференціях «Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов» (Харків, Бердянськ 2004, 2005, 2009, 2010, 2012, 2013); 4, 6 Міжнародних наукових конференціях «Метрологія та вимірювальна техніка» (Харків, 2004, 2008); 2 Міжнародній

науково-технічній конференції «Співробітництво для вирішення проблеми відходів» (Харків, 2005); Materiale 4 Mezinarodni Vedeco-practicka conference «Vedecko promysl evropskeho kontinentu-2007», (Praga, 2007); Materiale 4 Mezinarodni Vedeco-practicka conference «Vedecko myslene inflachino-2008. 15–31 brezen-2008 r.» , (Praga, 2008); 2, 3, 5 Міжнародних науково-технічних конференціях «Безпека людини в сучасних умовах» (НТУ «ХПІ», Харків, 2010, 2011, 2012, 2013); 2 Международной научно-технической конференция «Информационно-измерительные диагностические системы. Диагностика» (Курск, Россия, 2011).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 46 наукових роботах, у тому числі: 1 монографія (одноосібна), 19 – у періодичних фахових виданнях України (11 одноосібних), 8 – в іноземних періодичних наукових виданнях(6 одноосібних), 1 патент України на корисну модель, 17 – у матеріалах конференцій (9 одноосібних).

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації становить 277 сторінок друкованого тексту, з них 38 рисунків по тексту; 5 рисунків на 5 окремих сторінках; 26 таблиць по тексту; списку використаних джерел з 280 найменувань на 28 сторінках та 8 додатків на 57 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено зв'язок дисертації з науковими програмами та темами, визначено об'єкт і предмет дослідження, висвітлені положення, які визначають наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в одержаних результатах, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведений аналіз сучасного стану проблеми підвищення достовірності контролю багатокомпонентних процесів технологічного забруднення навколишнього середовища та основні результати дослідження цієї проблеми провідними вченими.

Встановлено, що проблема підвищення достовірності контролю забруднення є частиною загальної проблеми зниження ризиків параметрів контролю, які мають не тільки динамічні властивості, але й апріорну невизначеність вірогіднісних моделей їх можливих змін. Екологічний контроль пов'язаний із об'єктами, що мають багатоступеневе перетворення енергії та стохастичні параметри, які залежать від багатьох факторів, нестаціонарні у часі. Це впливає на планування контролю та прогнозування можливих порушень норм природокористування, як наслідок появи технологічних відходів як залпових, так і параметричних, прихованих.

Показано, що поява порушень режимів викидів та скидів у вигляді змін стаціонарності процесів забруднення є додатковою інформацією для виробничого активного контролю, керування технологічними процесами та регулювання їх параметрів на основі отриманих достовірних даних контролю викидів повинно бути елементами виробництва.

Проаналізовано основні чинники, що провокують зниження достовірності контролю забруднення навколишнього середовища, а саме: підвищена невизначеність параметрів контролю через наявність складових систематичних похибок, включно із методичними складовими; недосконалість інформаційних технологій вимірювального контролю, який практично не враховує складну динаміку нестационарних процесів забруднення на локальних інтервалах часу їх спостереження; складність вірогіднісних моделей динамічних властивостей процесів забруднення як динамічних дифузійних об'єктів; недосконалість формалізованих моделей прийняття рішень під час контролю процесів забруднення з обмеженням об'ємів первинної вимірювальної інформації або часу спостереження.

Визначені основні причини, які обумовлюють доцільність підвищення достовірності процедур екологічного контролю.

**Другий розділ** присвячений плануванню процедур контролю потоку екстремальних викидів в процесах забруднення навколишнього середовища.

Наведено типові реалізації забруднення атмосфери димовими газами із фізико-хімічними компонентами, які надходять із димових труб теплоелектростанцій та у забруднених скидових водах. Визначені їх особливості, які мають складні види нестационарності одночасно за математичним очікуванням, спектром та законом розподілу вірогідності. Доведено, що головним для планування контролю скидів та викидів є вибір правила прийняття рішення на основі критерію, що забезпечує задану достовірність контролю та гарантує мінімізацію тих його ризиків, які визначають рівень економічних втрат під час появи екологічних порушень.

Проведено теоретичні дослідження інформаційних властивостей процедури вимірювального контролю потоку екстремальних викидів у випадковому процесі забруднення, що дозволило отримати загальний ( $I_1$ ) та частковий ( $I_2$ ) вирази рівнянь для розрахунку кількості очікуваної інформації про появу випадкових викидів

$$I_1 = \log_2 \sqrt{1 + \frac{e^{-\lambda T} (1 - e^{-\lambda T}) + \sigma^2 / \Delta^2}{\alpha(1 - \alpha) + \beta(1 - \beta)}}, \quad (1)$$

$$I_2 = \log_2 \sqrt{1 + \frac{0,25 + \sigma^2 / \Delta^2}{\alpha(1 - \alpha) + \beta(1 - \beta)}}, \quad (2)$$

де  $\Delta$  – параметр нестационарності за математичним очікуванням;  $\sigma^2$  – дисперсія процесу забруднення  $x(t)$ ;  $\alpha, \beta$  – ризики 1-го та 2-го роду.

Показано, що кількість контрольованої інформації при короткочасних екстремальних викидах залежить від параметра нестационарності. При цьому необхідно зменшувати ризики  $\alpha, \beta$  контролю, які безпосередньо залежать від похибок вимірювань. Показано, що зменшення похибок призводить до зниження ризиків контролю та збільшення кількості інформації, яка очікується. Для забезпечення максимуму кількості інформації необхідно планувати загальний час спостереження при фіксованій чисельності підрахунків.



Максимальна інформація  $I_{\max}$  отримується на основі (2) за умови, що  $e^{-\lambda T} = 0,5$  ( $p_0 = p_1 \cdot$ ), де  $p_0$  – вірогідність відсутності викидів, а  $p_1$  – вірогідність наявності хоча б одного викиду. Установлено, що кількість інформації збільшується при зменшенні параметра нестационарності  $\Delta$  (стрибка математичного очікування процесу  $x(t)$ ).

Запропонована методика оцінювання середнього значення параметра нестационарності за рахунок введення системи контрольно-попереджувальних інтервалів ( $\bar{m}_\Delta$ ). Вона дозволила знайти оцінки середнього значення параметра нестационарності окремо для кожного із компонентів багатокомпонентного забруднення

$$\bar{m}_\Delta = \left( \sum_{i=1}^k \bar{u}_i \cdot \hat{p}_i \right) - m, \quad (3)$$

де  $\hat{p}_i$  – оцінка вірогідності потрапляння процесу  $x(\Delta t_j)$ ,  $j = \overline{1, N}$ , на інтервалі часу  $\Delta t_j$  для  $j$ -го інтервалу дискретизації та  $\bar{u}_j = 0,5(u_{i-1} + u_i)$  – середнє значення  $i$ -го інтервалу  $\Delta u_i$ . Такий підхід був експериментально використаний у послідовному контролі (6 розділ) та дозволив ранжувати компоненти забруднення за ступенем зменшення небезпеки їх появи в процесі поодиноких викидів (через зменшення їх параметра нестационарності). Також проведено дослідження дисперсії оцінювання параметра нестационарності процесу

$$\begin{aligned} \sigma_m^2 &= \sum_{i=1}^k \left\{ \left( \frac{d\bar{m}_\Delta}{d\bar{u}_i} \right)^2 \sigma_{\bar{u}_i}^2 + \left( \frac{d\bar{m}_\Delta}{d\hat{p}_i} \right)^2 \cdot \sigma_{\hat{p}_i}^2 \right\} = \\ &= \left( \frac{\gamma}{2} \right) \cdot 10^{-4} \sum_{i=1}^k u_i p_i^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \bar{u}_i^2 p_i (1 - p_i) \end{aligned} \quad (4)$$

та визначені умови забезпечення максимуму точності їх отримання.

Показано, що дисперсія  $\sigma_m^2$  оцінювання середнього значення зміщення (параметр нестационарності  $\Delta$ ) зменшиться, якщо зменшиться похибка  $\gamma$  вимірювань значення процесу забруднення  $x(t)$  або збільшиться число  $k$  контрольно-попереджувальних інтервалів (границь додаткових допустових інтервалів).

Крім того, досліджені моделі процедур планування контролю потоку викидів при постійному часі спостереження процесу, який контролюється, та отримані моделі умови прийняття рішень

$$\text{а) } \begin{cases} \gamma_0 : K < (\lambda_1 - \lambda_0) \cdot T [\ln(\lambda_1 / \lambda_0)]^{-1}, \\ \gamma_1 : K \geq (\lambda_1 - \lambda_0) \cdot T [\ln(\lambda_1 / \lambda_0)]^{-1}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{б) } \begin{cases} \gamma_0 : T > K [\ln(\lambda_1 / \lambda_0)] (\lambda_1 - \lambda_0)^{-1}, \\ \gamma_1 : T \leq K [\ln(\lambda_1 / \lambda_0)] (\lambda_1 - \lambda_0)^{-1}, \end{cases} \quad (6)$$

де  $\gamma_0$  – означає рішення, що «процес стаціонарний»;  $\gamma_1$  – рішення, що «процес нестаціонарний».

Норма  $\lambda_1$  порушення стаціонарності визначається як лінійна функція відношення відсоткових точок  $\chi^2$  – розподілу із  $2K$  ступенями свободи

$$\lambda_1 = \lambda_0 \frac{\chi_{K,1-\beta}^2}{\chi_{K,\alpha}^2}, \quad (7)$$

де  $K \gamma_0$  – число подій у потоці за час  $T$ .

Розроблено моделі прийняття рішення контролю при випадковому часі спостереження без обмеження часу спостереження

$$\begin{cases} \gamma_0 : K < T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} - \frac{\ln[(1 - \alpha) / \beta]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)}; \\ \gamma_1 : K \geq T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} + \frac{\ln[(1 - \beta) / \alpha]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)}; \\ \gamma_{01} : T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} - \frac{\ln[(1 - \alpha) / \beta]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} < K \leq T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} + \frac{\ln[(1 - \beta) / \alpha]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} \end{cases} \quad (8)$$

та із обмеженням часу спостереження

$$\begin{cases} \gamma_0 : K_{\max} < Q, \\ \gamma_1 : K_{\max} \geq Q, \end{cases} \quad (9)$$

де  $Q = T(\lambda_1 - \lambda_0) + 0,5 \{ \ln[(1 - \beta) / \alpha] - \ln[(1 - \alpha) / \beta] \} / \ln(\lambda_1 / \lambda_0)$ .

Оскільки фактичний час контролю  $T$  – величина випадкова, то можливо використання усіченого плану контролю, при якому задають гранично можливе число випадкових подій  $K_{\max}$ . Якщо значення  $K_{\max}$  досягнуто, то рішення  $\gamma_0$  та  $\gamma_1$  обирають за моделлю (9).

Досліджено статистичну модель часової дискретизації процесу забруднення та надано рекомендації для вибору інтервалу дискретизації. При цьому процес забруднення розглядається як композиція безперервної центрованої  $\overset{\circ}{x}(\Delta t)$  та дискретної  $Z$  випадкових величин, які змінюються в часі.

Наявність нестаціонарності за математичним очікуванням не дозволяє використання теореми Котельнікова для вибору інтервалу дискретизації  $\Delta t$ . Проблемним також є питання оптимізації розміру цього інтервалу за сумарною похибкою дискретизації або за інтервалом кореляції, оскільки автокореляційна функція  $R(\tau)$  процесу  $x(\Delta t) = \overset{\circ}{x}(\Delta t) + Z$  наближується до дисперсії випадкової дискретної величини  $Z$  при збільшенні часового зсуву  $\tau$ .

Доведено, що вибір інтервалу дискретизації  $\Delta t$  повинен здійснюватися на основі статистичних вимог до представництва та достатності вибірки

вимірюваних  $\{x(t_1), \dots, x(t_N)\}$  значень процесу  $x(t)$  на інтервалі його спостереження  $T$ . Виконання цих вимог гарантує, з одного боку, адекватність інформаційно-статистичної моделі значень, що виміряні, вірогіднісним яkostям процесу  $x(t)$ , з другого – забезпечує мінімізацію ризику другого роду ( $\beta$ ), знижуючи вірогідність пропуску короткочасного екстремального викиду.

Слід врахувати, що збільшення об'єму  $N$  вибірки за рахунок зменшення інтервалу дискретизації  $\Delta t$ , за умовою  $T = \text{const}$ , має свої межі, тому, що призводить до збільшення статистичної кореляційної залежності між сусідніми вимірюваннями (результатами вимірювань процесу, що контролюється).

Така кореляція погіршує інформаційні якости дискретизованих відліків  $\{x(t_i)\}_1^N$ . Крім цього зростає і собівартість контролю, витрачається технічний ресурс відповідних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Показано, що достатність та представництво вибірки визначається не тільки її об'ємом, але і кількістю інформації, яка міститься у кожному із  $N$  відліків, та інтервалом дискретизації  $\Delta t = T / N$  за умови незмінності періоду спостереження  $T$ .

Розроблено модель кількості інформації  $I$ , яка отримується при контролі процесу, що багатопов'язаний, а  $R^2(\Delta t)$  – квадрат нормованого коефіцієнта кореляції між сусідніми відліками

$$I = h_x - h_{x|\Delta x} = \log_2 \sqrt{1 + \frac{\sigma^2 [1 - R^2(\Delta t)]}{\sigma_{\Delta x}^2}}, \quad (10)$$

яка, із урахуванням відносної похибки вимірювань  $\delta$  (%), має вид

$$I = \log_2 \sqrt{1 + \frac{\sigma^2 [1 - R^2(\Delta t)] \cdot 10^4}{[\delta(\%)]^2}}. \quad (11)$$

Встановлено, що максимально можливе значення нормованої автокореляційної функції визначається таким чином

$$R(\Delta t) \leq \sqrt{1 - (2^{2n} - 1)[\delta(\%)]^2 \cdot 10^4}, \quad (12)$$

а її залежність від величини похибки  $\delta$  (%), ( $n=10$ ) наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта кореляції від величини похибки

| $\delta$ (%), | 0,5   | 1,0   | 1,5   | 2,0   | 2,5    | 3,0   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| $R(\Delta t)$ | 0,987 | 0,947 | 0,877 | 0,768 | 0,6005 | 0,281 |

З табл. 1 видно, що кореляція  $R(\Delta t)$  між сусідніми відліками  $x'_i$  і  $x'_{i+1}$  зменшується із зростанням похибки вимірювань  $\delta$  (%) за рахунок зросту невизначеності значень цих відліків.

Визначена пов'язаність процесу забруднення таким чином

$$r < \frac{R(\Delta t)}{R(\tau_0)}, \quad (13)$$

де  $R(\tau_0)$  – функція аргументу  $\tau_0$ ; формально, для практичних цілей величина  $R(\tau_0)$  може бути задана в межах  $R(\tau_0) \leq (0,5 - 0,1)$ .

Залежність максимальної пов'язаності ( $r$ ) дискретних вимірювань від їх похибки при заданих значеннях  $R(\tau_0)$  наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність пов'язаності відліків від похибки їх виміру

| $\delta(\%)$               | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $r_{\max}, R(\tau_0)=0,1$  | 9   | 9   | 8   | 7   | 6   | 2   |
| $r_{\max}, R(\tau_0)=0,05$ | 19  | 18  | 17  | 15  | 12  | 5   |

Результати табл. 2 свідчать, що для автокореляційних функцій, що швидко зменшуються із малим значенням  $R(\tau_0)$ , наприклад,  $R(\tau_0)=0,05$ , коефіцієнт пов'язаності  $r$  повинен бути великим (останній рядок). Такі автокореляційні функції (що швидко зменшуються) відповідають випадковому процесу із широким енергетичним спектром, який містить багато високочастотних складових.

Отриманий вираз (10) для кількості інформації, яка міститься в поодинокому відліку, що корелюється із попереднім відліком, дозволяє знайти нижню межу інтервалу дискретизації  $\Delta t_H$

$$\Delta t_H > \frac{\tau_0}{r_{\max}}, \quad (14)$$

де  $\tau_0$  – інтервал кореляції,  $r_{\max}$  – коефіцієнт пов'язаності, та розрахувати мінімальне значення інтервалу дискретизації з урахуванням відносної похибки вимірювань значень параметрів, які контролюються, кореляційних властивостей цього процесу та коефіцієнта пов'язаності його відліків на кінцевому інтервалі спостереження.

Отримав подальший розвиток метод оптимального вибору інтервалу дискретизації випадкового процесу, який контролюється з урахуванням похибки квантування його рівня. Запропоновано новий більш ефективний вірогіднісний критерій оптимізації

$$s = \frac{\Delta x}{2\sigma\sqrt{1-r^2(\Delta t)}}. \quad (15)$$

Показано, що максимум цієї функції ( $s_{\max}$ ) сягає значення

$$s_{\max} = s_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\lg 3} = 0,524. \quad (16)$$

Це дало змогу пов'язати оптимальний крок дискретизації  $\Delta t_0$  процесу вимірювання із кроком його квантування  $\Delta x$ . Отримане співвідношення

$$r(\Delta t_0) = \sqrt{1 - 0,91(\Delta x / \sigma)^2}, \quad (17)$$

яке дозволяє безпосередньо на графіку  $r(\tau)$  отримати оптимальне значення  $\Delta t_0$  кроку дискретизації  $\Delta t$ .

Доведено, що удосконалений вірогіднісний критерій оптимізації (15) та визначені за формулою (17) значення оптимального кроку дискретизації дозволяють суттєво зменшити похибки перетворення в системах контролю процесів забруднення, що сприяє підвищенню достовірності такого контролю.

У **третьому розділі** досліджуються методи підвищення достовірності контролю спектрально-нестационарних процесів забруднення.

Показано, що зниження невизначеності в оцінюванні вірогіднісних властивостей такого складного дифузного об'єкта контролю як багатоконпонентні, апіорі нестационарні процеси забруднення, досягається, в першу чергу, за рахунок вивчення їх спектральних особливостей. Останні виявляються не тільки у випадковості моментів часу появи екстремальних викидів, але і в випадковості їх тривалості та інтенсивності. Адекватність математичної моделі первинних перетворень даних контролю повинна забезпечити відсутність методичної складової повної вірогідності похибки контролю. Досліджено основні причини, які повинні бути враховані, при плануванні контролю багатоконпонентних нестационарних процесів забруднення.

Проаналізовані можливості планування об'ємів вимірювань із урахуванням заданих вірогідностей помилок контролю 1-го та 2-го роду при використанні однофакторного дисперсійного аналізу групованої реалізації нестационарного процесу, коли останній представлений за допомогою моделі компонентів дисперсій (моделлю із випадковими факторами).

Модель групованих результатів представлялась у вигляді

$$x_{ji} = \bar{x} + U_j + Z_{ji}, \quad (18)$$

де  $U_j$  – відхилення  $x_{ji}$  від загального середнього  $\bar{x}$ , яке обумовлене впливом технологічного чинника  $A$ ;  $Z_{ji}$  – випадкове залишкове відхилення;  $j = \overline{1, K}$ ;  $i = \overline{1, n}$ .

Прийнята модель дисперсійного розкладання

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (19)$$

дозволяє оцінити середнє квадратичне відхилення (СКВ) між групами

$$\overline{Q_1} = \frac{n}{(K-1)} \sum_{j=1}^K (\bar{x}_j - \bar{x}_j)^2 \quad (20)$$

а також – СКВ усередині групи

$$\overline{Q_2} = \frac{n}{(N-K)} \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^2, \quad (21)$$

де  $\bar{x}_j$  – середнє значення в  $j$ -й групі);  $N = n \cdot K$ .

Критеріальна статистика контролю визначається в такому вигляді

$$F_{(k-1)(N-k)} = \bar{Q}_1 / \bar{Q}_2. \quad (22)$$

Для вибору параметрів плану контролю досліджено реальний випадок, коли процес є нестационарним за математичним очікуванням на всьому періоді спостереження, і при цьому рівень нестационарності може змінюватися у межах періоду ( $U_j \neq 0$  для всіх  $j = \overline{1, K}$ ) (18).

Розроблена процедура вимірювального контролю на основі нерівності

$$F_{(k-1)(N-k)} < F_{кр}. \quad (23)$$

Запропонована базова умова планування числа груп вимірів. Для цього введені основна  $H_0$  та альтернативна  $H_1$  гіпотези

$$H_0 : \sigma_U^2 = \sigma_{U_0}^2 ; \quad H_1 : \sigma_U^2 = \sigma_{U_1}^2 > \sigma_{U_0}^2 .$$

Критеріальна статистика Фішера  $F = F_{(K-1), (N-K)}$  дозволяє перевірити достовірність гіпотези  $H_0$

$$F = F_{(K-1); (N-K)} \cdot (1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2)) < F_{KR}. \quad (24)$$

Тоді умовою вибору мінімального числа груп вимірювань є співвідношення

$$\frac{F_{(K-1); (N-K); (1-\alpha)}}{F_{(K-1); (N-K); \beta}} \leq \left[ \frac{1 + n(\sigma_{U_1}^2 / \sigma_Z^2)}{1 + n(\sigma_{U_0}^2 / \sigma_Z^2)} \right], \quad (25)$$

яке при збільшенні  $n$  перетворюється в базову умову планування числа груп вимірювань і записується таким чином

$$\frac{\chi^2_{(K-1); (1-\alpha)}}{\chi^2_{(K-1); \beta}} \leq \frac{\sigma_{U_1}^2}{\sigma_{U_0}^2}. \quad (26)$$

Ця умова задовольняє мінімально можливе число груп  $K_{\min}$ , для якого відношення відповідних відсоткових точок  $\chi^2$  – розподілу не перевищує відношення

$$\frac{\sigma_{U_1}^2}{\sigma_{U_0}^2} = \delta^2, \quad (27)$$

де  $\sigma_{U_1}^2$  – дисперсія викидів,  $\sigma_{U_0}^2$  – дисперсія залишкової похибки моделі.

Вирази (26) та (27) дозволяють при заданих ризиках  $\alpha$  та  $\beta$  і відношенні  $\delta$  обирати мінімально можливе  $K_{\min}$  – число груп результатів вимірювань, які відповідають тривалості вікна спостереження при контролі локальних змін

стабільності процесу, який змінюється. Знаходження  $K_{\min}$  проводиться, наприклад, за таблицею відсоткових точок  $\chi^2$ -розподілу.

Проведено експериментальні дослідження (розділ 6) локальних змін нестационарності процесів забруднення, що прогресує, а також контроль стану складних технічних об'єктів за випадковими вимірювальними сигналами та динаміка яких визначається перехідними технологічними режимами (розділ 6). В експерименті при багатокомпонентному контролі викидів речовин, що забруднюють довкілля, особливу увагу приділено нестационарним викидам та скидам на різних стадіях технологічних процесів. Показано, що контроль є основою удосконалення елементів активного допустового контролю та контролю за дотриманням регламентних технологічних нормативів.

Досліджено на практиці (розділ 6) можливість застосування багатофакторного дисперсійного аналізу кусково-лінійних регресійних моделей нестационарності при реалізації випадкових процесів, які контролюються, для виявлення одночасно стрибкоподібних та прогресуючих змін в викидах забруднюючих речовин теплоелектростанцій як найбільш вагомому забруднювача атмосфери.

Розроблена математична модель такої реалізації, коли нестационарність за математичним очікуванням містить два тренда: загальний лінійний у вигляді регресії та локальний тренд, який являє послідовність  $k$  часткових групових регресій із випадковими коефіцієнтами і наведений у вигляді

$$x(t_{ji}) = \bar{X} + B(t_{ji} - \bar{t}) + \Delta_{a,j} + \Delta_{bj} \cdot t_{ji} + \varepsilon_{ji}, \quad (28)$$

де  $\bar{X}$  – загальне осереднене значення усіх результатів вимірювань;  $j$  – номер групи (часткової регресії);  $i$  – номер результату вимірювань процесу  $x(t)$  усередині  $j$ -ї групи;  $i = \overline{1, n_j}$ ;  $n_j$  – число результатів вимірювань усередині  $j$ -ї групи;  $\bar{t}$  загальний середній час спостереження;  $\Delta_{aj}$  – адитивне зміщення усередині  $j$ -ї групи,  $\Delta_{aj} = A - a_j$ ;  $\Delta_{bj}$  – мультиплікативне зміщення усередині  $j$ -групи,  $\Delta_{bj} = B - b_j$ ;  $\varepsilon_{ji}$  – залишкова похибка моделі.

Для  $x(t_{ij})$  мають місце три складових систематичних відхилень від загального середнього  $\bar{X}$ , а саме: 1)  $B(t_{ji} - \bar{t})$  – загальне лінійне відхилення (загальний лінійний тренд); 2)  $\Delta_{aj}$  – часткові стрибкоподібні адитивні відхилення (локальний адитивний тренд); 3)  $\Delta_{bj} \cdot t_{ji}$  – часткові відхилення, які прогресують (локальний мультиплікативний тренд).

Натурні дослідження показали (розділ 6), що в окремих випадках деякі із зазначених трендів можуть бути відсутніми. Тоді часткові локальні тренди провокують локальні викиди, які, за наявності загального лінійного тренду, підвищують забруднення окремим видом забруднювача вище допустимого.

Таким чином, своєчасне виявлення цих трендів дозволяє підвищити достовірність контролю за рахунок адаптації процедур його планування та керування процесом. У цьому випадку будь яка зміна плану контролю повинна здійснюватися на основі статистичних рішень при тестуванні моделі (28) за реальними групованими результатами

$$\left\{ \left\{ x_{1i} \right\}_1^{n_1}, \dots, \left\{ x_{ji} \right\}_1^{n_j}, \dots, \left\{ x_{ki} \right\}_1^{n_k} \right\} \text{ показника } X$$

на інтервалі спостереження  $[0, t_{kn_k}]$ . Отримані результати дисперсійного аналізу математичної моделі контролю (28) наведені у табл. 3 та сформульовані правила вибору рішень відносно справедливості гіпотез про наявність чи відсутності лінійного, адитивного чи мультиплікативного тренду. У розділі 6 експериментально підтверджена доцільність використання моделі.

Показано, що для урахування обмеженості періодів дискретизації та кінцевості інтервалів дискретизації реалізації фізико-хімічних показників забруднення (дискретизовані у часі випадкові процеси), раціонально представити статистичними моделями часових рядів із частотно-фазовою нестационарністю.

Встановлено, що через присутність в таких реалізаціях локальних спектральних збуджень, які викликають порушення стабільності часового ряду та перевищення норм гранично допустимих викидів та скидів (ГДВ, ГДС), більш доцільно використовувати вейвлет-аналіз, а не класичний спектральний аналіз, який заснований на перетвореннях Фур'є.

Таблиця 3 – Результати дисперсійного аналізу моделі (28)

| Джерело змін значень моделі $x(t_{ji})$             | Сума квадратів відхилень   | Число ступенів свободи   | Середній квадрат  |
|---|--|--------------------------|---|
| Загальний лінійний ( $B \neq 0$ )                   | $Q_1 = B^2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t})^2$                   | $W_1 = 1$                | $\bar{Q}_1 = \frac{Q_1}{W_1}$                               |
| Локальний адитивний ( $\Delta a; \neq 0$ )          | $Q_2 = Q - Q_1 - Q_3 - Q_\varepsilon$  | $W_2 = k - 1$            | $\bar{Q}_2 = \frac{Q_2}{W_2}$                               |
| Локальний мультиплікативний ( $\Delta b; \neq 0$ )  | $Q_3 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t}_j)^2 (b_i - \bar{b})^2$   | $W_3 = k - 1$            | $\bar{Q}_3 = \frac{Q_3}{W_3}$                               |
| Випадковий залишковий ( $\varepsilon_{ji} \neq 0$ ) | $Q_\varepsilon = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} [x(t_{ji}) - a_j - b_j t_{ji}]^2$ | $W_\varepsilon = N - 2k$ | $\bar{Q}_\varepsilon = \frac{Q_\varepsilon}{W_\varepsilon}$ |
| Сумарний загальний                                  | $Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} [x(t_{ji}) - \bar{X}]^2$                      | $W = N - 1$              | $\bar{Q} = \frac{Q}{W}$                                     |

Експериментальні дослідження показали (розділ 6), що запропонований вид аналізу дозволяє: по-перше, виявити регулярні частотні та фазові особливості кінцевих (добових, тижневих...) рядів спостережень, по-друге – оцінити за дисперсією вейвлет-коефіцієнтів амплітудні стрибкоподібні зміни регулярних локальних трендів різних частот. Виконані дослідження дали можливість через структуру моделі нестационарності часового ряду оцінити апіорні вірогідності перевищення норм природокористування (ГДВ, ГДС) на локалізованих інтервалах часу в межах нормативно заданих періодів спостереження. Знання такої вірогідності дозволяє не тільки адаптувати план контролю викидів до реальних умов протікання технологічних процесів енергоустановок, але і знизити вірогідність похибок контролю, особливо похибки 2-го роду.



При дослідженні та синтезі спектральних показників екологічного контролю викидів та їх гармонійних компонентів при локальних порушеннях стаціонарності процесів виробництва розроблена модель порушення стаціонарності, яка враховує в структурі часового ряду  $x(t)$  частотну (спектральну) та амплітудну (за математичним очікуванням) складову нестаціонарності

$$x(t) = S(t, \omega(t)) + e(t, \lambda(t)) + \eta(t), \quad (29)$$

де  $S(t, \omega(t))$  – систематична трендова складова  $x(t)$ , яка залежить від часу  $t$  та вектора  $\omega$  частотних параметрів;  $e(t, \lambda(t))$  – систематична трендова складова реалізації  $x(t)$ , яка залежить від  $t$  та вектора амплітудних параметрів;  $\eta(t)$  – випадкова, центрована, відносно  $e(t, \lambda(t))$ , складова реалізації  $x(t)$ , яка має постійні спектр та дисперсію.

Пряме безперервне вейвлет-перетворення процесу спостереження  $x(t)$  здійснювалось відповідно до формального правила

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_\psi |a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (30)$$

де  $a, b$  – параметри масштабу та зсуву;  $C_\psi$  – нормуючий множувач;  $\psi \left( \frac{t-b}{a} \right)$  – аналізуючий вейвлет (базовий).

При представленні значення інтегралу у вигляді різниці вейвлетів на одиницю меншого порядку при фіксованих  $a_j$  та  $b_e$  можна записати

$$W(a_j, b_e) = \frac{a_j}{\sqrt{C_\psi |a_j|}} \sum_{i=1}^N x(t_i) \left[ g_K \left( \frac{x_i - b_e}{a_j} \right) - g_{K-1} \left( \frac{x_i - b_e}{a_j} \right) \right]. \quad (31)$$

Ця модель (31) являє собою дискретизовану модель безперервного вейвлет-відображення.

На рис. 1 наведені реалізації процесів забруднення за компонентами «пил» та «NO<sub>x</sub>» у димових газах електростанції, які побудовані на основі отриманих експериментальних даних (розділ 6). Реалізації рис. 1 а), б) наведені на обмеженому інтервалі часу спостереження та відрізняються локальною спектральною нестаціонарністю.

На рис. 2 а), б) наведені тривимірні вейвлет-відображення процесів забруднення «пил» та «NO<sub>x</sub>», які відповідають наведеним реалізаціям.

Аналіз отриманих експериментальних результатів показав, що реалізація компонента «пил» відповідає моделі широкосмугового малопов'язаного процесу, що містить у своєму спектрі обмежену кількість низькочастотних трендів, а модель компонента «NO<sub>x</sub>» характеризує сильно пов'язаний процес із більшим числом низькочастотних трендів (розділ 6).

Вейвлет-зображення процесів забруднення наочно показують зміни потужності спектральних компонентів (трендів) вздовж осі зсуву на інтервалі спостереження.

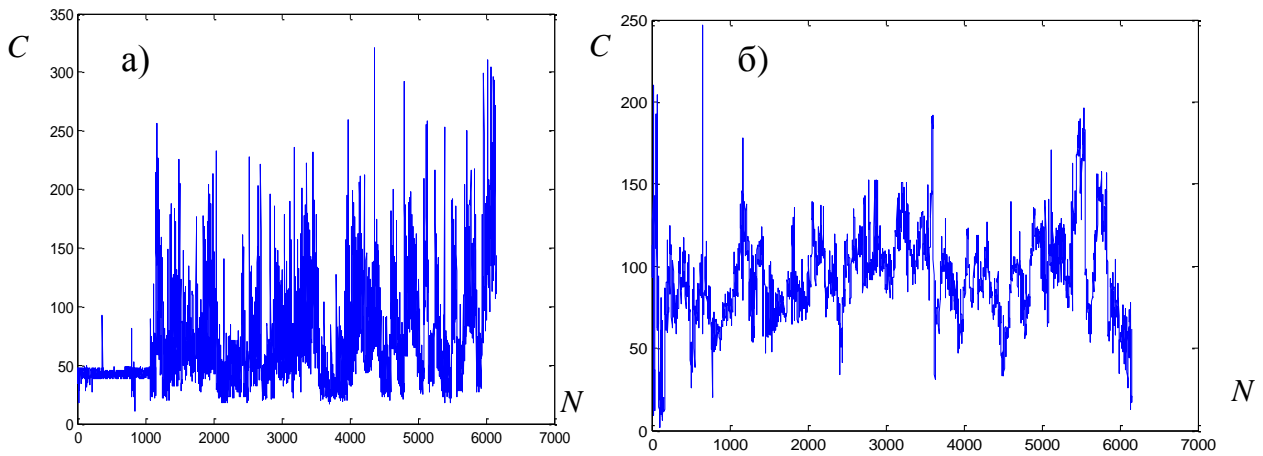


Рисунок 1 – Реалізації типових нестационарних процесів забруднення атмосфери викидами теплоелектростанції а) пил, б)  $\text{NO}_x$ ;  $C$  – концентрація забруднювача атмосфери ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );  $N$  – номер вимірювання

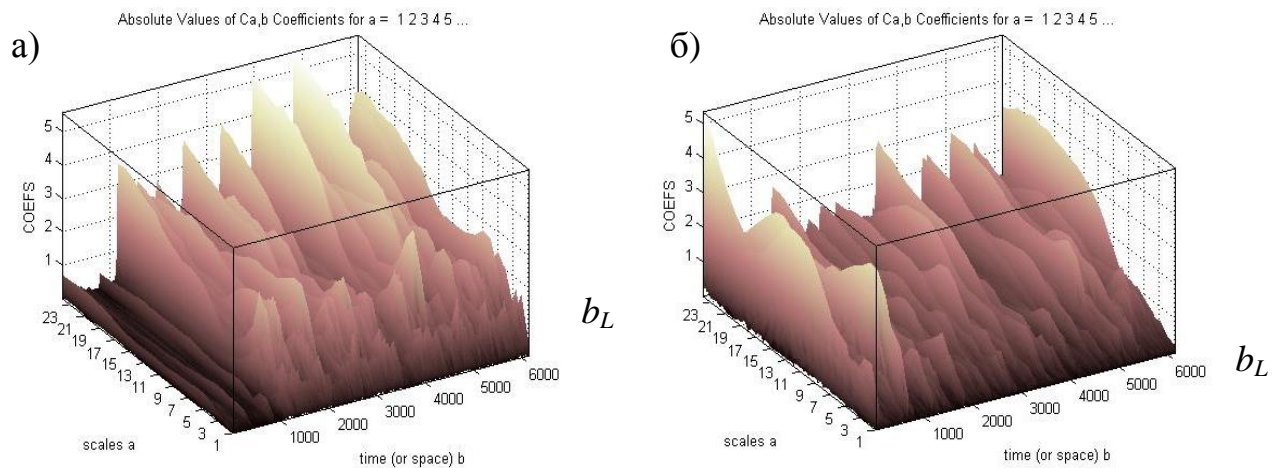


Рисунок 2 – Тривимірні вейвлет-перетворення випадкових процесів забруднення: а) пил, б)  $\text{NO}_x$  (а – вісь збільшення масштабу (зменшення частоти), де  $b_L$  – вісь часового зсуву,  $s$  – вісь потужності процесу, амплітуда вейвлет-коефіцієнтів)

Із наведеного рисунку видно, що локальні спектри компонентів сильно відрізняються один від одного, а це викликає необхідність урахування індивідуальних локальних спектральних властивостей компонентів при плануванні контролю їх викидів.

Доведено, що найбільш ефективним для такого контролю є оцінювання дисперсій вейвлет-коефіцієнтів для різних масштабів вейвлет-зображень.

Отримані моделі для розрахунку дисперсій вейвлет-коефіцієнтів вдовж часової осі зсуву  $b_L$  для двох варіантів аналізу:

а) для одного масштабу  $a_j, j = \overline{1, J}$  для  $k$ -го компонента

$$D_{w^{(k)}} = (L-1)^{-1} \sum_{n=1}^L [W^{(k)}(a_j, b_n) - \bar{W}^{(k)}]^2, \quad (32)$$

де  $e = \overline{1+L}$  ;

$$\bar{W}^{(k)} = L^{-1} \sum_{n=1}^L W^{(k)}(a_j, b_n); \quad (33)$$

б) для всіх масштабів  $a_1, \dots, a_j$ . дисперсія всіх вейвлет-коефіцієнтів знаходиться у вигляді несуміщеної оцінки для  $k$ -го компонента

$$D_{w^{(k)}} = (LS - 1)^{-1} \sum_{j=1}^j \sum_{n=1}^L \left[ W^{(k)}(a_j, b_n) - \bar{W}^{(k)} \right]^2, \quad (34)$$

де

$$\bar{W}^{(k)} = (LS)^{-1} \sum_{j=1}^j \sum_{n=1}^L W^{(k)}(a_j, b_n). \quad (35)$$

Показано, якщо  $D_w$  – сумарна дисперсія для  $S$  компонентів

$$D_w = \sum_{k=1}^S D_w^{(k)}, \quad (36)$$

то верхня межа оцінювання вірогідності появи поодинокого викиду в процесі  $x_k(t)$  для  $k$ -го компоненту дорівнює

$$P^{(k)} = D_w^{(k)} / D_w. \quad (37)$$

Доведено, що якщо оцінка у вигляді верхньої межі апіорної вірогідності появи поодинокого викиду проводиться для  $j$ -го масштабу  $a_j$ , то загальна дисперсія дорівнює

$$D_{wj} = \sum_{k=1}^S D_{wj}^{(k)}, \quad (38)$$

а оцінка вірогідності визначається виразом

$$P_j^{(k)} = D_{wj}^{(k)} / D_{wj}. \quad (39)$$

Оцінка апіорних вірогідностей викидів розраховується як відношення дисперсій вейвлет-коефіцієнтів для необхідного компонента контролю сумарної дисперсії вейвлет-коефіцієнтів для всіх компонентів забруднення. Для виключення впливу розмірностей компонентів, які аналізуються, на оцінки вірогідностей їх викидів, усі процеси пройшли операцію нормування: із кількісних показників експериментально отриманих забруднень відраховувалось загальне середнє (математичне очікування), результат поділено на оцінку його СКВ, вже потім проводилось вейвлет-перетворення.

Досліджено можливість статистичного прогнозування (екстраполяції) випадкових процесів, коли випадкові процеси вузькосмугові та мають широкі автокореляційні функції. Показано, що дискретизовані відліки таких процесів відрізняються великою пов'язаністю, що дозволяє при використанні регресійних моделей екстраполяції здійснювати прогнозування відмов, працездатності та ресурсу промислових об'єктів. Отримали подальший розвиток методи підвищення достовірності багатовимірного контролю багатоконтактних процесів забруднення за рахунок інформаційно-структурної надлишковості, що реалізована у формі процедури лінійної скорегованої екстраполяції другого порядку. Урахування такої корекції представлено математичною моделлю

$$\hat{x}(t_0 + \Theta) = m + \Delta + \rho(\Theta) [x(t_0) - m], \quad (40)$$

де  $\Theta$  – інтервал прогнозу;  $\rho(\Theta)$  – нормована автокореляційна функція;  $m$  – математичне очікування;  $\Delta$  – параметр нестационарності.

Доведено, що оптимальною за мінімумом дисперсії помилки прогнозу є процедура попередньо скорегованої екстраполяції значень кожного із компонентів забруднення та сумарного їхнього перетворення у формі критеріальної статистики Стюдента. Використання в моделі скорегованого прогнозування параметрів нестационарності хоча і підвищує деякою мірою ризик контролю 1-го роду, однак різко зменшує ризик контролю 2-го роду, що в цілому збільшує потужність правила вибору рішень при контролі викидів. Це експериментально підтверджено у розділі 6. Доведено, що викиди жорстко пов'язані з якістю технологічного процесу енергетичних підприємств та можуть бути оцінкою його стану.

У **четвертому розділі** проводився вірогіднісний аналіз моделей корекції контрольно-попереджувальних меж із урахуванням динамічних властивостей процесу забруднення. Характерною особливістю динамічного активного контролю є запізнення моменту часу в прийнятті рішення  $\gamma_1$ .

В основу покладена часова вірогіднісна характеристика процесу, а саме – перевищення його умовної щільності викидів зверх допустимого рівня. Розроблені рекомендації побудови графіку умовної щільності викидів (УЩВ) та його використання для корекції контрольно-попереджувальної межі в широкому інтервалі змін часу контролю. Під УЩВ розуміємо віднесену до одиниці часу вірогідність того, що випадковий процес, який знаходився в початковий момент часу на допустимому рівні, змінюється та перетинає рівень знизу догори (або навпаки), в будь-який вільно обраний момент часу буде знаходитися на іншому рівні, перетинаючи його в тому ж напрямку. На рис. 3 наведено графічні пояснення для моделі УЩВ технологічного процесу.

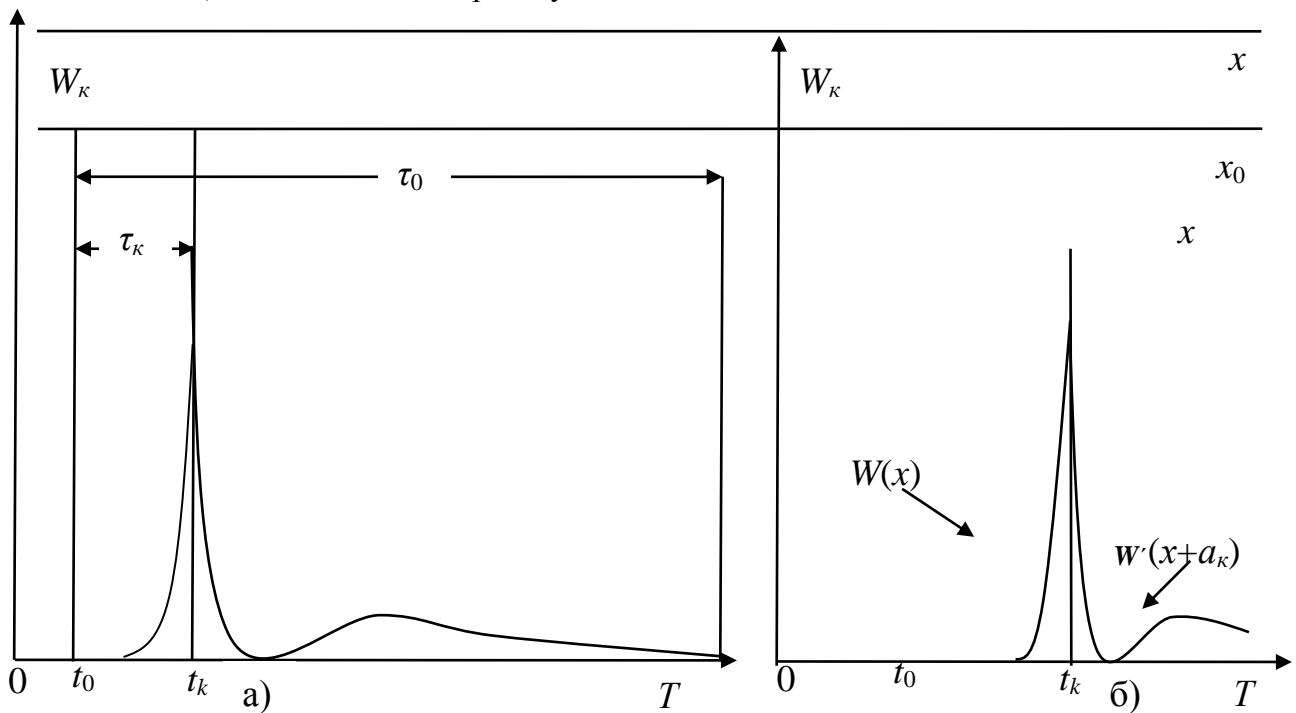


Рисунок 3 – Графічна модель появи впливів, що збуджують процес  
( а ) – до керування, б) – після керування)

Запропоновано порядок аналізу моделей УЩВ, який дозволив використати отримані експериментально результати для практичних висновків про роботу енергетичних та енергоємних підприємств. Це, в свою чергу, дало можливість вибрати необхідну структуру та параметри активного контролю для керування процесом забруднення довкілля. Але при цьому слід вирішити в аналітичному вигляді задачу про середню частоту екстремальних викидів процесу забруднення та отримати необхідні результати для виявлення оптимальної структури системи адаптивного динамічного контролю.

Розроблено математичну модель УЩВ, доведено, що її можна поширити і на нестационарний випадок апіорного процесу  $x(t)$  забруднення. Модифікований вираз для УЩВ із урахуванням ризику контролю 1-го роду  $-\alpha$ , та круговою частотою процесу  $-\omega$  наведений у вигляді

$$W(\xi_1 / \xi_2) = \frac{\omega}{\sqrt{2\pi}} k_1 \frac{1-\alpha}{y} \xi_1 \exp \left\{ -\frac{(1-\alpha)^2}{4y} \xi_1^2 \right\}, \quad (41)$$

$$y = 1 - R_x(\tau), \quad \xi_1 = \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1}.$$

Виявлено, що УЩВ корегованого процесу є функцією часу, що має два різних види (рис. 3): а) на інтервалі до корегування співпадає із некорегованою УЩВ; б) за точкою корекції (після закінчення перехідного процесу в лінійних ланках системи) являє собою некореговану УЩВ за деякий «фіктивний рівень», що зміщений відносно дійсного на величину корекції, що приведена до вихідного параметра.

Розроблені аналітичні вирази УЩВ, одне (41) з яких прийнято як розрахункове на інтервалі запізнення при корекції контрольно-попереджувальних меж багатокомпонентного забруднення навколишнього середовища відходами енергетичних та енергоємних підприємств.

**П'ятий розділ** дисертаційної роботи присвячений активному контролю та розробці засад з керування процесом забруднення із використанням критерію мінімуму середньої частоти. Акцентовано увагу на те, що для ефективного вивчення стану навколишнього середовища та прийняття відповідних рішень необхідна адекватна інформація про вихідні параметри і їх відповідність вимогам стандартів, регламентів. Це вимагає значного числа вимірювань і пов'язане із великими матеріальними витратами. Саме тому вибір необхідних критеріїв оцінки якості об'єкту є однією з основних задач контролю викидів і скидів енергетичних та енергоємних об'єктів.

Виконано синтез систем багатоточкового позиційного керування, в основу якого покладено критерій мінімуму середньої частоти викидів (СЧВ) за технологічні межі процесу. Цей критерій особливо важливий, коли регулюються параметри, відхилення яких від норми, призводять до суттєвих незворотних змін технологічного процесу. Виведено аналітичні вирази для СЧВ, що пов'язані із аналітичними виразами УЩВ, сформульовано загальні вимоги до вибору параметрів керування та розроблено загальну математичну модель середньої частоти викидів

$$n = n(x_0) \int_0^{\infty} f(\Theta) \left[ \int_0^{\Theta} W_k(\tau) d\tau \right] d\Theta, \quad (42)$$

де  $n(x_0)$  – середня частота викидів процесу за рівень  $x_0$ ;  $W_k(i...)$  – умовна щільність викидів (модель УЩВ (41));  $\tau = t - t_0$ ;  $f(\Theta)$  – щільність розподілу тривалості викиду  $\Theta$  за контрольно-попереджувальний рівень  $x_0$ ,

$a_k$  – час керування процесом (рис. 3, б).

Доведена доцільність розподілу СЧВ на дві складові

$$n = n_1 + n_2. \quad (43)$$

Перша складова  $n_1$  – амплітудна складова, яка являє собою середню частоту викидів процесу, за деякий «фіктивний» рівень  $x+a_k$  за відсутності зворотного зв'язку. Вона залежить від амплітуди сигналу  $a_k$ , а також від рівня, на якому здійснюється порівняння  $x_0$ , та від технологічної межі  $x$

$$n_1 = \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_x^2} (x + a_k - M[x]) \right\}, \quad (44)$$

де  $M[x]$  – математичне очікування процесу, а  $\sigma_x^2$  – його дисперсія.

Друга складова  $n_2$  – є фазовою складовою, яка залежить від тривалості запізнення сигналу керування  $\tau_k$  (а також від рівнів  $x_0$  та  $x$ )

$$n_2 = \int_0^{\infty} \nu f(x_0, \nu) d\nu \int_0^{\tau_k} W(x, \tau) d\tau. \quad (45)$$

Графічне зображення прийнятих амплітудної та фазової складових СЧВ наведено на рис. 4. Графік відповідної загальної СЧВ наведений на рис. 5.

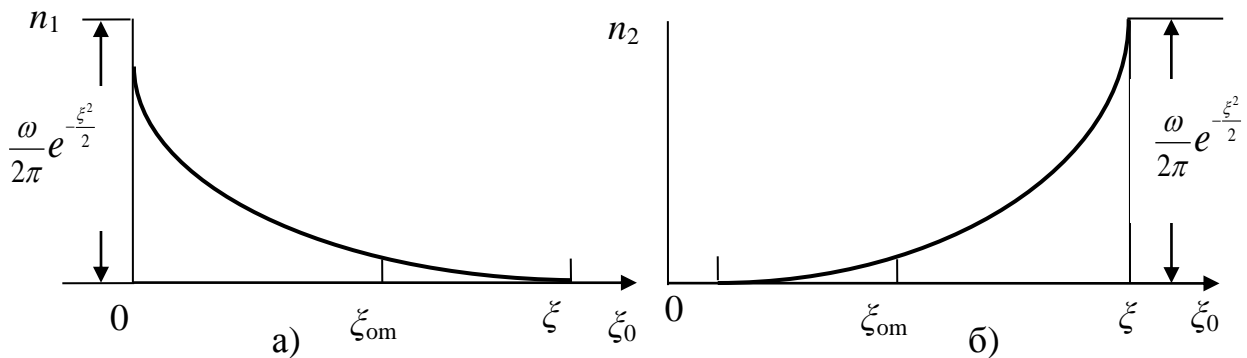


Рисунок 4 – Графіки складових СЧВ: а) – амплітудної; б) – фазової

Застосування в процесі проведеного експерименту вірогіднішої моделі порушень стабільності технологічного процесу та введення в план контролю викидів контрольно-попереджувальних інтервалів дозволило скоротити час запізнення виявлення забруднень та підвищити достовірність виявлення викидів, які перевищують встановлену нормами їх межу. Як видно із рис. 5, мінімум функції загальної СЧВ, яка в цьому випадку може трактуватись як цільова функція, пов'язана із оптимальним значенням нормованої контрольно-

попереджувальної межі, яка в нашому експерименті дорівнює 1,655. Для нормування використовувалось середнє значення та СКВ контрольованого процесу. Подальші дослідження багатокомпонентного забруднення докїлля електростанції, які наведені у 6 розділі, підтвердили доцїльність використання теоретичної моделї загальної СЧВ як цїльової функції для знаходження оптимальної контрольнo-попереджувальної межї для підвищення достовірностї та швидкодїї контролю.

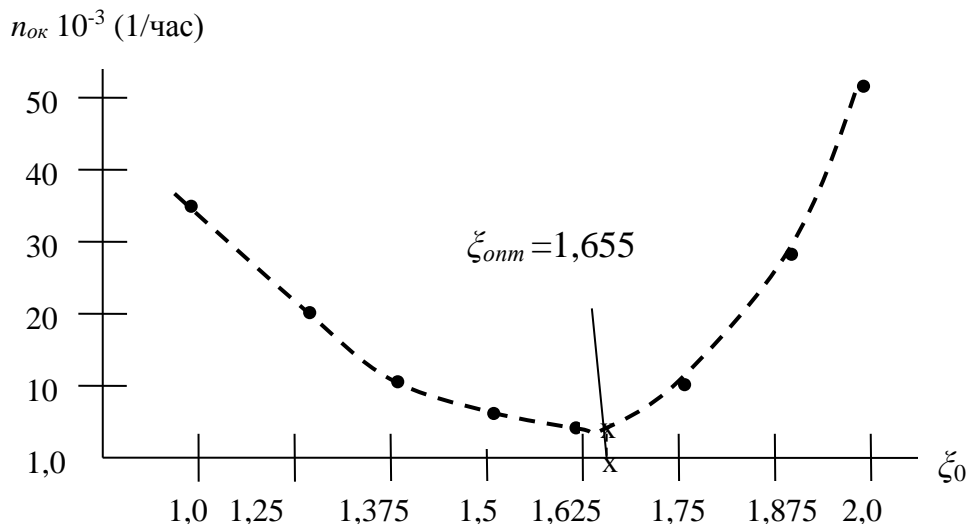


Рисунок 5 – Залежність середньої частоти аварійних викидів від скорегованої контрольнo-попереджувальної нормованої межї  $\xi_0$

У шостому розділі наведені результати практичного використання в натурних умовах розроблених методів отримання інформації для підвищення достовірностї контролю нестационарних багатокомпонентних процесів забруднення повітряної та водної середи відходами енергетичних та енергоємних підприємств.

Перевїрка теоретичних положень проведених досліджень проводилась шляхом втілення системи активного контролю процесів повітряного забруднення викидами Старобешевської теплової електростанції «Донбассенерго» НАК «Енергетична компанія України»; системи активного контролю викидів технологїчного режиму Зміївської ТЕС ПАТ «Центренерго»; системи активного контролю процесу біохїмічного очищення скидів Харківського коксохїмічного заводу.

При проведенні експериментальних досліджень на Старобешевській ТЕС для контролю концентрації складових димових газів використовувався безперервний газоаналїзатор ULTROMAT 23. Згідно з регламентом вимїрювалася концентрація п'ятьох складових, а саме: пилу,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $O_2$ . Проаналїзовані дані контрольних вимїрювань за 22 доби із п'ятихвилинним кроком опитування (виконано усього 30750 вимїрювань). Приклад реалїзацій отриманих даних наведений на рис. 1.

Для планування контролю поодиноких викидів при ризиках 1-го та 2-го роду ( $\alpha = \beta = 0,1$ ) використана однофакторна модель компонентів дисперсій (розділ 3). У табл. 4 наведені результати оцїнювання  $\delta$ ,  $k_{min}$ , а також  $F$ -статистик

за відсутності ( $H_0$ ) або наявності ( $H_1$ ) викидів в одній із груп, якщо число вимірів в кожній із груп однакове та дорівнює 24 ( $n = 24$ ), із використанням моделей, які розроблені у третьому розділі (18-27).

Таблиця 4 – Оцінки параметрів плану контролю викидів

| Компоненти забруднення | Середнє значення $\delta$ | $k_{\min}$<br>$\alpha = \beta = 0,1$ | $F$ -статистика (2) |                  |
|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|
|                        |                           |                                      | відсутність викиду  | наявність викиду |
| Пил                    | 3,5                       | 4                                    | 12,504              | 21,041           |
| NO <sub>x</sub>        | 3,6                       | 4                                    | 12,732              | 30,253           |
| SO <sub>2</sub>        | 7,8                       | 3                                    | 60,963              | 214,845          |
| CO                     | 2,6                       | 6                                    | 6,661               | 19,011           |
| O <sub>2</sub>         | 1,5                       | 22                                   | 2,249               | 10,154           |

З табл. 4 видно, що при використанні моделі компонент дисперсій, запропонований контроль найбільш чуттєвий та ефективний при виявленні стрибкоподібних викидів, особливо SO<sub>2</sub> та NO<sub>x</sub>.

Планування контролю для усіх компонентів різне, відрізняються різним значенням параметра  $k_{\min}$ , величина його повинна бути чітко обґрунтована та лежати у широких межах (від 4 до 22).

Для виявлення нестационарних викидів за математичним очікуванням, яке прогресує, з накладанням стрибкоподібних викидів, використана модель багатофакторного дисперсійного аналізу кусково-лінійних регресій із випадковими компонентами, яка розроблена у третьому розділі (28).

У табл. 5 наведені результати експерименту та розрахунку значень  $F$ -статистик для добових локальних та загального трендів процесів для різних значень  $K$ , а також рішення при рівні значущості  $\alpha = 0,05$ . Із табл. 5 видно, що найбільше число локальних трендів містять процеси NO<sub>x</sub> (8 рішень ( $\gamma_1$ )) та SO<sub>2</sub> (7 рішень ( $\gamma_1$ )), із періодами змін від 8 до  $\sim 3,5$  год ( $K = \overline{3,7}$ ).

Таблиця 5 – Значення критеріальних статистик та рішення про відсутність ( $\gamma_0$ ) або наявність ( $\gamma_1$ ) тренду в процесі  $x(t)$

| $K$                  | $F, F^{(2)}, F^{(3)}$ -статистика | Значення $F$ -статистик та рішення $\gamma_0$ або $\gamma_1$ |                       |                      |                      |                      |
|----------------------|-----------------------------------|--|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                      |                                   | пил  | NO <sub>x</sub>       | SO <sub>2</sub>      | CO                   | O <sub>2</sub>       |
|                      |                                   | 1  | 2                     | 3                    | 4                    | 5                    |
| 3                    | $F^{(2)}$                         | 0,5542( $\gamma_0$ )   | 14,4815( $\gamma_1$ ) | 1,670( $\gamma_0$ )  | 0,2973( $\gamma_0$ ) | 1,1762( $\gamma_0$ ) |
|                      | $F^{(3)}$                         | 0,9301( $\gamma_0$ )   | 0,1263( $\gamma_0$ )  | 2,4998( $\gamma_0$ ) | 2,1363( $\gamma_0$ ) | 0,4375( $\gamma_0$ ) |
| 4                    | $F^{(2)}$                         | 0,1203( $\gamma_0$ )   | 31,278( $\gamma_1$ )  | 26,975( $\gamma_1$ ) | 1,4452( $\gamma_0$ ) | 2,059( $\gamma_0$ )  |
|                      | $F^{(3)}$                         | 0,5555( $\gamma_0$ )   | 5,9624( $\gamma_1$ )  | 27,937( $\gamma_1$ ) | 1,4664( $\gamma_0$ ) | 0,6873( $\gamma_0$ ) |
| 5                    | $F^{(2)}$                         | 0,8722( $\gamma_0$ )   | 21,321( $\gamma_1$ )  | 44,448( $\gamma_1$ ) | 0,0951( $\gamma_0$ ) | 3,0374( $\gamma_0$ ) |
|                      | $F^{(3)}$                         | 0,2389( $\gamma_0$ )   | 5,4653( $\gamma_1$ )  | 9,110( $\gamma_1$ )  | 2,7703( $\gamma_0$ ) | 0,9016( $\gamma_0$ ) |
| 6                    | $F^{(2)}$                         | 0,9826( $\gamma_0$ )   | 24,523( $\gamma_1$ )  | 24,691( $\gamma_1$ ) | 1,5699( $\gamma_0$ ) | 2,243( $\gamma_0$ )  |
|                      | $F^{(3)}$                         | 0,7159( $\gamma_0$ )   | 16,7536( $\gamma_1$ ) | 5,0655( $\gamma_1$ ) | 0,4453( $\gamma_0$ ) | 0,685( $\gamma_0$ )  |
| 7                    | $F^{(2)}$                         | 7,294( $\gamma_0$ )  | 31,537( $\gamma_1$ )  | 1,6128( $\gamma_0$ ) | 15,964( $\gamma_1$ ) | 0,6184( $\gamma_0$ ) |
|                      | $F^{(3)}$                         | 1,7849( $\gamma_0$ )   | 2,3756( $\gamma_0$ )  | 4,3516( $\gamma_1$ ) | 4,599( $\gamma_1$ )  | 0,6402( $\gamma_0$ ) |
| Статистика $F^{(0)}$ |                                   | 0,0017( $\gamma_0$ )   | 16,283( $\gamma_1$ )  | 3,886( $\gamma_0$ )  | 15,069( $\gamma_1$ ) | 4,175( $\gamma_0$ )  |

Дисперсійний аналіз кусково-лінійних регресійних апроксимацій нестационарних випадкових процесів забруднення із вірогідністю 0,95 дозволив встановити факт наявності в



таких однокомпонентних процесах адитивно-мільтиплікативних змін математичного очікування, що вказує на додаткову спектральну нестационарність, урахування якої надає додаткову інформацію про динамічні властивості процесу забруднення та підвищує достовірність контролю. Це експериментально підтвердило доцільність застосування моделі.

Для виявлення локальних спектральних змін в процесах проведений вейвлет-аналіз. Отримані вейвлет-зображення наведені на рис. 2 та 6 після проведеного нормування за середнім значенням та дисперсією. Таке нормування ліквідує різницю в розмірності компонентів процесу забруднення та забезпечує рівність їх загальних дисперсій. На цьому фоні можливо виявити різницю в дисперсіях, які локалізовані за масштабом (частотою) процесу. Наведені вейвлет-зображення рис. 2 та 6 підтвердили отримані теоретичні результати третього розділу та показали на базі проведеного експерименту, що:

- більш високі амплітуди значення викидів відповідають більш низькочастотним трендам;
- найбільша дисперсія характерна для показника  $\text{CO}$ ;
- стаціонарність дисперсії характерна тільки для показника  $\text{O}_2$ ;
- відмічається сумісність кореляції показників  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  та  $\text{CO}$ , а у показника «пил» відмічається чітке збурення потужності при високочастотних складових.

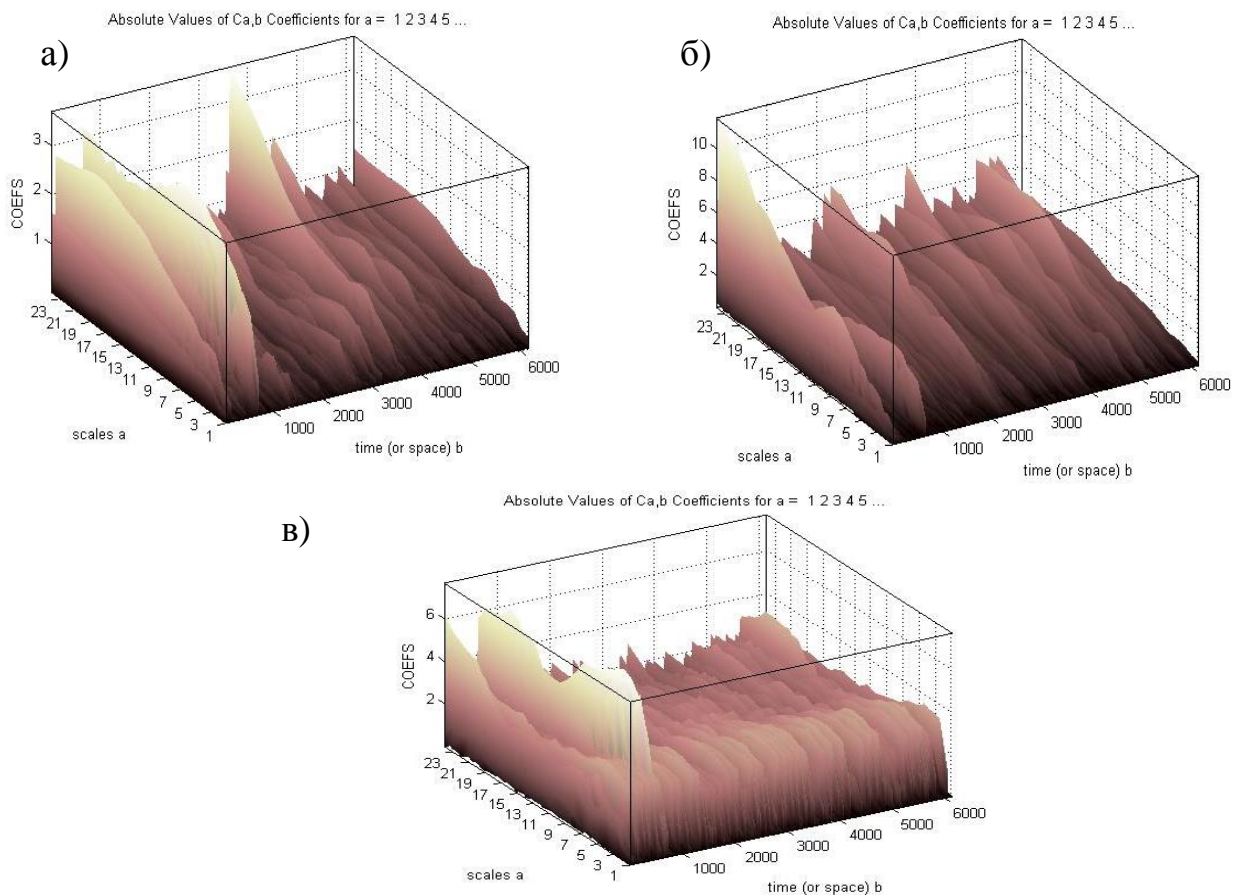


Рисунок 6 – Тривимірні вейвлет-зображення випадкових процесів забруднення у викидах димових газів теплоелектростанції а) –  $\text{SO}_2$ ; б) –  $\text{CO}$ ; в) –  $\text{O}_2$

Для порівняльного оцінювання вірогідності викидів поодиночі для кожної із компонент забруднення розраховані дисперсії за моделлю, яка розроблена у третьому розділі (35)

вейвлет-коефіцієнтів у функції масштабу  $a_j$  для максимально повного (22 доби) періоду спостереження. Враховано, що дисперсія вейвлет-коефіцієнтів для тренду, що має фіксовану частоту та випадкову амплітуду, це потужність змінної складової. А максимальне значення цієї складової тим більше, чим вища потужність процесу, що підтверджує результати розрахунків експерименту. У табл. 6 наведені дисперсії вейвлет-коефіцієнтів та оцінки вірогідності викидів, коли разом із високочастотними трендами враховуються й тренди низькочастотні.

Таблиця 6 – Дисперсії вейвлет-коефіцієнтів та вірогідність викидів (із урахуванням високочастотних трендів)

| Компонент забруднення | Дисперсії вейвлет-коефіцієнтів<br>(для локальних трендів с періодом<br>$T$ (в хвиликах)) |        |        |        | Сумарна дисперсія по стрічці | Вірогідність викиду |
|-----------------------|--|--------|--------|--------|------------------------------|---------------------|
|                       | $T=10$   | $T=20$ | $T=30$ | $T=40$ |                              |                     |
| Пыль                  | 0,017  | 0,216  | 0,086  | 0,271  | 0,059                        | 0,230               |
| NO <sub>x</sub>       | 0,003  | 0,016  | 0,041  | 0,066  | 0,126                        | 0,049               |
| SO <sub>2</sub>       | 0,0008   | 0,004  | 0,009  | 0,015  | 0,134                        | 0,052               |
| CO                    | 0,004  | 0,014  | 0,042  | 0,077  | 0,137                        | 0,053               |
| O <sub>2</sub>        | 0,046  | 0,329  | 0,558  | 0,657  | 1,587                        | 0,616               |

На рис. 7 наведені залежності цих дисперсій від масштабу, окремо для кожної компоненти забруднення для повного періоду спостереження.

Розподіл вірогідностей викидів в цьому випадку суттєво змінюється, особливо для SO<sub>2</sub> та CO. Проведений аналіз ранжованих за зменшенням вірогідності викидів компонентів забруднення представлений рядом

{O<sub>2</sub>, CO, пил, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>}.

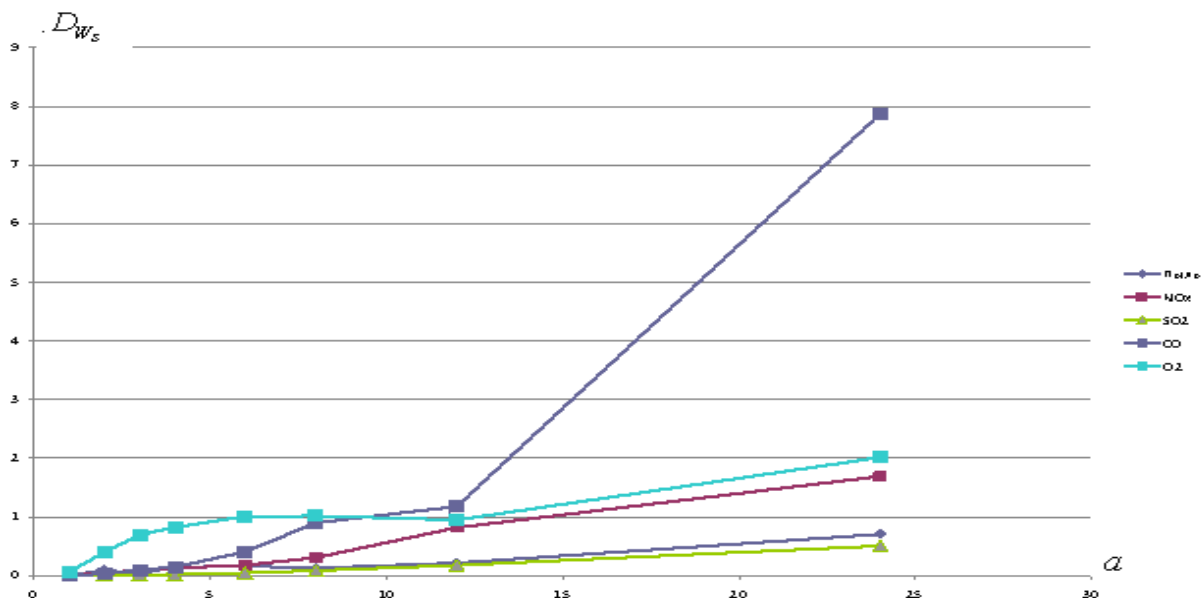


Рисунок 7 – Дисперсії  $D_{ws}$  вейвлет-коефіцієнтів залежно від масштабу  $a$  вейвлет-перетворення ( $T_H = 22$  доби)

Дослідження нестационарності дозволило використати розраховані параметри для підвищення достовірності контролю багатокомпонентного процесу повітряного забруднення

на базі скорегованої моделі екстраполяції, згідно із розробленою моделлю у третьому розділі.

Результати контролю при використанні моделі екстраполяції, що наведені у табл. 7, дали підвищення достовірності контролю майже на 7 % (з 0,742 до 0,810), що підтвердило результати дослідження.

Таблиця 7 – Результати контролю багатокомпонентного процесу повітряного забруднення (похибка виміру 20 %)

| Вид контролю   | Число виявлених викидів $n_B$<br>( $n = 619$ ) | Ризик контролю 2-го роду $\beta$ | Достовірність контролю $P$<br>( $\alpha = 0,05$ ) |
|--|--|----------------------------------|---|
| Традиційний(без параметричної корекції)                | 320  | 0,466                            | 0,742   |
| З екстраполяцією на параметр нестационарності $\Delta$ | 489  | 0,21                             | 0,810   |

При проведенні експериментальних досліджень моделей активного контролю із використанням процедур керування за критерієм середньої частоти викидів на Зміївській ТЕС, для керування витратами води, що використовувався при абсорбції забруднення димових газів, був заданий верхній контрольно-попереджувальний рівень

$$U = m + 3\sigma . \quad (46)$$

Допоміжний контрольно-попереджувальний рівень  $U_k$  визначався за мінімумом середньої частоти викидів, згідно з методикою, що запропонована у 4, 5 розділах дисертації. Значення  $\xi$  та розраховані величини  $n_1$  та  $n_2$ ,  $n_{ок} = n_1 + n_2$  для СЧВ процесу забруднення води наведені в табл. 8.

Таблиця 8 – Результати розрахунку складових СЧВ при оптимізації контрольно-попереджувальної межі

| Нормоване значення межі $\xi$ | Складові СЧВ             |                         | Сумарна СЧВ $n_{ок}$ (1/год) |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
|                               | амплітудна $n_1$ (1/год) | фазова $n_2$ (1/год)    |                              |
| 2,0                           | $0,76 \cdot 10^{-3}$     | $152 \cdot 10^{-3}$     | $152,76 \cdot 10^{-3}$       |
| 1,875                         | $1,36 \cdot 10^{-3}$     | $44 \cdot 10^{-3}$      | $45,36 \cdot 10^{-3}$        |
| 1,75                          | $2,04 \cdot 10^{-3}$     | $10 \cdot 10^{-3}$      | $12,04 \cdot 10^{-3}$        |
| 1,625                         | $4,4 \cdot 10^{-3}$      | $2,16 \cdot 10^{-3}$    | $6,56 \cdot 10^{-3}$         |
| 1,5                           | $7,2 \cdot 10^{-3}$      | $0,44 \cdot 10^{-3}$    | $7,64 \cdot 10^{-3}$         |
| 1,375                         | $12,4 \cdot 10^{-3}$     | $0,072 \cdot 10^{-3}$   | $12,472 \cdot 10^{-3}$       |
| 1,25                          | $20,0 \cdot 10^{-3}$     | $0,0112 \cdot 10^{-3}$  | $20,011 \cdot 10^{-3}$       |
| 1,125                         | $34,0 \cdot 10^{-3}$     | $0,00148 \cdot 10^{-3}$ | $34,001 \cdot 10^{-3}$       |

З табл. 8 видно, що мінімум сумарної СЧВ, що дорівнює  $6,56 \cdot 10^{-3}$  (1/год), відповідає нормованому значенню допоміжної (скорегованої) контрольно-попереджувальної межі  $\xi = 1,625$ . Більш точна параболічна апроксимація дала оптимальне значення  $\xi_{opt} = 1,655$ , що відповідає величині  $U_k = 2263,12$  (мг/м<sup>3</sup>). Залежність  $\xi$  в функції  $n_{ок}$  наведена на рис. 5. Отримане значення оптимальної контрольно-попереджувальної межі забезпечила мінімум СЧВ на рівні  $6,6 \cdot 10^{-3}$ , що відповідає появі одного технологічного порушення за час  $T_k = 15,15$  (год) та значно підвищує технологічну стійкість об'єкта контролю.

Для порівняння слід відмітити, що за відсутності оптимального керування за скорегованою межею  $U_k$  значення СЧВ визначається виразом

$$n_0 = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{U - m}{\sigma} \right)^2 \right\} = 0,44 \text{ (1/год)}, \quad (46)$$

де  $U_0 = 3102,08$  (мг/м<sup>3</sup>), що відповідає появі одного технологічного порушення за час  $T_0 = 2,27$  (година). Порівняння трендів послідовності порушень  $T_k$  та  $T_0$  наочно демонструє ефективність активного контролю з корекцією контрольно-попереджувальних меж ( $n_{ок} \ll n_0$  або  $T_k \gg T_0$ ), які були розраховані із використанням критерію СЧВ за теоретичними дослідженнями п'ятого розділу. При використанні моделі (43–45) частота викидів зменшується майже в 6,7 разів.

На основі розроблених теоретичних рішень другого розділу запропоновано планування активного контролю в рамках послідовного аналізу випадкового потоку фенольних скидів біохімічного цеху коксохімічного заводу, який здійснювався експериментально в два етапи:

1. Визначалася норма  $\lambda_1$  (7), при заданій нормі  $\lambda_0 = 0,324$  (доба<sup>-1</sup>), заданих ризиках контролю 1-го ( $\alpha$ ) та 2-го ( $\beta$ ) роду та об'ємі вибірки  $N$  за викидами.

2. Розраховувались коефіцієнти прийому  $K_{пр}$  та браку  $K_{бр}$  приймальних прямих як лінійно функціональних меж зони допуску (рішення  $\gamma_0$ ), критичної зони (рішення  $\gamma_1$ ) та проміжної зони невизначеності (рішення  $\gamma_{01}$ ), згідно із (8).

Результати розрахунку для першого етапу при ризиках контролю  $\alpha = \beta = 0,1$  та об'ємі вибірки  $N = 5$  склали

$$\chi_{10;1-\beta}^2 = 15,99, \quad \chi_{10;\alpha}^2 = 4,87, \quad \lambda_1 = 1,0638 \text{ доба}^{-1}. \quad (47)$$

Результати розрахунку параметрів для другого етапу  $\alpha = 0,622$ ,  $\beta = 1,848$ .

Контрольно-попереджувальна межа  $x_0$  обрана згідно із моделлю (3)

$$x_0 = m + \Delta, \quad \text{де } m = 1166,2. \quad (48)$$

У табл. 9 наведені результати послідовного попереджувального контролю фенольних викидів на виході аміачної (амонійної) колони коксохімічного заводу.

Треба визначити, що максимальне значення фенольного викиду (1931 мг/м<sup>3</sup>) спостерігалось в циклі № 39. Використання контрольно-попереджувального інтервалу ( $x_0 = 1181$  мг/дм<sup>3</sup>) дозволило прийняти рішення про величину  $\gamma_1$  вже на трьох попередніх циклах спостереження (№ 36, № 37, № 38), що значно знизило ризик контролю 2-го роду та підвищило фактичну достовірність контролю з 0,9 до значення 0,925.

Таблиця 9 – Результати послідовного контролю фенолу в стічних водах цеху біохімічного очищення ( $\alpha = \beta = 0,1$ )

| № групи спостереження (цикл спостереження) | Число вимірів у виборці | Загальна тривалість спостережень (доба) | Число виявлених викидів ( $N$ ) у виборці | Межі зони невизначеності |          | Рішення                           |
|--|-------------------------|---|---|--------------------------|----------|-----------------------------------|
|  |                         |   |   | $K_{Pr}$                 | $K_{Br}$ |                                   |
| с 1 до 14                                  | 3                       | 42                                      | 0   | 0,018                    |          | $\gamma_0$<br>( $K \leq K_{Pr}$ ) |
| 15   | 5                       | 5                                       | 1   | 1,262                    |          |                                   |
| 16   | 7                       | 7                                       | 2   | 2,506                    |          |                                   |
| 17   | 7                       | 7                                       | 2   | 2,506                    |          |                                   |
| с 18 до 22                                 | 3                       | 15                                      | 0   | 0,018                    |          |                                   |
| 23   | 5                       | 5                                       | 1   | 1,262                    |          |                                   |
| с 24 до 25                                 | 3                       | 6                                       | 0   | 0,018                    |          |                                   |
| 26   | 7                       | 7                                       | 2   | 2,506                    |          |                                   |
| с 27 до 28                                 | 3                       | 6                                       | 0   | 0,018                    |          |                                   |
| 29   | 12                      | 12                                      | 5   | 5,616                    |          |                                   |
| 30   | 7                       | 7                                       | 2   | 2,506                    |          |                                   |
| 31   | 10                      | 10                                      | 4   | 4,372                    |          |                                   |
| с 32 до 34                                 | 3                       | 9                                       | 0   | 0,018                    |          |                                   |
| 35   | 14                      | 14                                      | 6   | 6,860                    |          |                                   |
| 36   | 5                       | 5                                       | 5   |                          | 4,958    | $\gamma_1$<br>( $K \geq K_{Br}$ ) |
| 37   | 5                       | 5                                       | 5   |                          | 4,958    |                                   |
| 38   | 8                       | 8                                       | 7   |                          | 6,824    |                                   |
| 39   | 8                       | 8                                       | 7   |                          | 6,824    |                                   |
| 40   | 24                      | 24                                      | 13  | 13,081                   |          | $\gamma_0$<br>( $K \leq K_{Pr}$ ) |
| 41   | 16                      | 16                                      | 7   | 8,104                    |          |                                   |
| С 42 до 45                                 | 3                       | 12                                      | 0   | 0,018                    |          |                                   |

Таким чином, використання розробленої моделі планування контролю для прийняття рішень при випадковому часі спостереження, яка розроблена у другому розділі, використання критерію СЧВ, що розроблений у п'ятому розділі із подальшим розрахунком величини оптимального контрольного-попереджувального інтервалу дозволили підвищити достовірність контролю на 2,5%, підвищити технологічну стійкість об'єкта, попередити порушення вимог природокористування.

Запропонована у шостому розділі технологічна схема абсорбційно-десорбційного очищення аспіраційного повітря литкового та подібних виробництв одночасно від фенолу, формальдегіду та метанолу із подальшим двоступеневим біоочищенням. надає змогу одночасно видаляти вказану композицію токсикантів. Згідно із розробленими рекомендаціями, аспіраційне повітря зрошується водою, водневий розчин сорбованих компонентів біоокислюється різними бактеріями в аеротенках у два етапи. У технології розраховано відношення компонентів у розчині для оптимального біоочищення. Таке співвідношення пропонується підтримувати за рахунок активного контролю та керуванню процесом, шляхом регулювання води та зміни потужності насосів. У розробленій схемі контролю та керування процесом

використаний замкнутий цикл водопостачання. Такий підхід дозволяє виконувати екологічні вимоги по забрудненню довкілля скидами та викидами. Проведені лабораторні та натурні дослідження впродовж року урахували сезонні сукцесії об'єкта контролю, показали економічний, технологічний та екологічний ефект запропонованого рішення. За результатами дослідження отриманий патент на корисну модель «Спосіб видалення із аспіраційного повітря метилового спирту, формальдегіду та метанолу». Результати цих досліджень впроваджені на коксохімічному заводі (м. Харків) та НДІ УкрВОДГЕО (м. Харків).

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаних в дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних досліджень вирішено науково-прикладну проблему підвищення достовірності багатокомпонентного контролю нестационарних процесів забруднення навколишнього середовища відходами енергетичних та енергоємних підприємств та отримані наступні нові наукові результати:

1. За аналітичним оглядом наукових публікацій з'ясована доцільність подальшого розвитку науково обґрунтованої методології стохастичних, нестационарних процесів забруднення довкілля та виявлені основні фактори, що знижують достовірності екологічного контролю:

– підвищена невизначеність параметрів контролю, які кількісно визначаються в наявності систематичних похибок вимірів, включно із методичними;

– недосконалість інформаційних технологій вимірювального контролю, який не враховує складну динаміку нестационарних процесів забруднення на локальних інтервалах їх спостереження;

– складність вірогіднісного опису динамічних властивостей дифузних об'єктів контролю особливо із урахуванням багатofакторного впливу параметричних та раптових технологічних порушень;

– недосконалість формалізованих моделей прийняття рішень контролю із урахуванням обмеження на об'єми первинної інформації та практичної відсутності статистично обґрунтованих моделей планування контролю;

– об'єктивні труднощі в організації та плануванні багатовимірних вимірювальних експериментів при контролі просторово розподілених компонентів забруднення із випадковими динамічними властивостями.

2. Обґрунтовано теорію інформаційного забезпечення контролю підвищеної достовірності багаторазових та групованих екстремальних викидів на основі моделей прогнозування з корекцією на апіорну факторну нестационарність процесів, які контролюються.

3. Розроблено метод планування контролю серії випадкових викидів із стрибкоподібними порушеннями на основі запропонованої інформаційної моделі при обмеженні на час спостереження, урахуванням ризиків контролю, параметрів нестационарності процесу та компонентів дисперсії при випадковому впливі технологічних факторів.

4. Обґрунтовано методологію порівняльного оцінювання апіорних вірогідностей викидів для контролю прогресуючих та локалізованих змін за

компонентами процесу забруднення на основі локального регресійного та локального спектрального видів аналізу. Порівняння дисперсій вейвлет-коефіцієнтів локалізованого спектрального розкладання (вейвлет-аналізу) однокомпонентних процесів на обмежених інтервалах їх спостереження дозволило оцінити вірогідності викидів та ранжувати компоненти забруднення за ступенем зменшення ризику їх появи в ході контролю. Це забезпечило підвищення чуттєвості та адаптацію планів контролю фізико-хімічного складу компонентів процесу забруднення.

5. Розроблено моделі оптимальних вимірювальних процедур при багатокомпонентному прогнозуванні викидів на основі дисперсійного аналізу при порушеннях стаціонарності потоку та при заданих ризиках контролю 1-го та 2-го роду забезпечили фільтрацію не тільки випадкових, але і систематичних похибок засобів виміру. Удосконалено теорію прогнозування випадкових процесів, на основі запропонованого методу екстраполяції, який враховує нестационарність процесу забруднення та порушення норм гранично допустимих викидів для нестационарних процесів забруднення.

6. Розроблено теорію та методи планування активного контролю процесів забруднення для адаптивного корегування та тестування параметрів нестационарності багатокомпонентних викидів. Розроблені методи позиційного керування та оптимального корегування контрольно-попереджувальних інтервалів при понижених вимогах до точності засобів вимірювального контролю із застосуванням критерію мінімуму середньої частоти викидів дозволили зменшити, майже в 6,7 раз, число технологічних порушень, збільшити середнє напрацювання на параметричну відмову із 2,27 до 15,15 часу. Розроблений прогнозуючий фільтр 2-го порядку із параметричним корегуванням на апріорну нестационарність, дозволив підвищити достовірність контролю повітряних викидів із 0,742 % до 0, 810 % при великих похибках непрямих вимірювань, що сягають значень 0,2 (у відносних одиницях).

7. Розроблені теорія та методи контролю якості технологічних процесів тестування параметрів комплексної нестационарності процесів забруднення впроваджені на підприємствах:

- Старобешівська теплова електростанція НАК «Енергетична компанія України»;
- Зміївська ТЕС ПАТ «Центренерго»;
- Харківський коксохімічний завод;
- Український державний науково-дослідний інститут проблем водопостачання, водовідведення та охорони природної середовища «УкрВОДГЕО»;
- «Науково-технічна фірма ЛІТ» (м. Харків)

при розробці технічних проектів зі створення засобів контролю та керування процесами очищення викидів та скидів від хімічного забруднення та охорони навколишнього середовища, систем активного контролю для попередження технологічних порушень.

Результати робіт впроваджені у навчальний процес у НТУ «Харківський політехнічний інститут», Українській інженерно-педагогічній академії (м. Харків) та Харківському національному аграрному університеті ім. В. В. Докучаєва при підготовці спеціалістів, магістрів та аспірантів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Функциональный контроль экологических объектов: монография / Н.А.Любимова // Х.: Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаева. – 2012. – 228 с.
2. Текущий функциональный контроль к расчету шага опроса контролируемых объектов / А. Д. Большевцев, Н. А.Любимова, Ю. А.Смолин, В. Д. Сахацкий // Межд. Академия наук высшей школы. Математические модели в образовании, науке и промышленности. Сб. н. тр.: СПб. – 2003. – С. 24–27.  
*Здобувач розглянула приклад задачі активного контролю.*
3. Любимова Н. А. Декомпозиция спектра контролируемых параметров экологических объектов / Н. А. Любимова // Вісник Східноукраїнського НУ ім. Даля. – Луганськ: 2003. – № 6(64). – С. 96–100.
4. Любимова Н. А. Оптимизация функционального контроля при решении задач оценки надежности природных объектов / Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – 2005. – № 15. – С. 99–102.
5. Любимова Н. А. Критерии качества контроля экологических объектов / Н. А. Любимова // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. – 2006. – № 43. – С. 71–75.
6. Любимова Н. А. Оптимизация критериев качества контроля экологических объектов / Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – 2006. – № 44. – С. 46–52.
7. Большевцев А. Д. Функциональный контроль непрерывных производственных и экологических объектов. Его отличительные признаки / А. Д. Большевцев, Н. А. Любимова, А. И. Чурсин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – 2008. – № 10. – С. 142–151.  
*Здобувач розглянула типовий алгоритм розв'язання задачі.*
8. Большевцев А. Д. Вероятностные критерии качества дискретного измерения / А. Д. Большевцев, Н. А. Любимова, А. И. Чурсин // Вісник Херсонського національного технічного університету – Херсон. – 2008. – Т. 2(31). – С. 67–71.  
*Здобувач розглянула використання різних критеріїв якості контролю.*
9. Большевцев А. Д. Последовательный контроль и его математическая модель А. Д. Большевцев, Л. Б. Быстрицкая, Л. А. Большевцева, Н. А. Любимова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон. – 2008. – № 3 (42). – С. 99–103.  
*Здобувач провела лабораторно-промислові дослідження, обробку результатів.*
10. Любимова Н. А. Особенности и алгоритм функционального контроля природных объектов / Н. А. Любимова, А. И. Чурсин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – № 22. – 2009. – С. 27–32.  
*Здобувач розглянула аналіз задачі на прикладі.*
11. Любимова Н. А. Структура систем автоматизированного контроля воды для предприятий сельского хозяйства / Н. А. Любимова // Науч. техн. сб. «Коммунальное хозяйство городов». К.: Техника – 2010. – С. 396–399.
12. Артюх С. Ф. Контроль и управление с постоянным шагом опроса в задачах экологического мониторинга / С. Ф. Артюх, Н. А. Любимова // Вісник Національного



технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – № 63. – 2012. – С. 10–15.

*Здобувач запропонувала модель критерію середньої частоти викидів.*

13. Апостериорные математические модели объектов контроля / А. Д. Большевичев, Л. Б. Быстрицкая, Л. А. Большевичева, Н. А. Любимова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон. – 2012. – № 2 (45). – С. 62–66.

*Здобувач розглянула апріорні та апостеріорні моделі контролю.*

14. Integral Expression of the adjacent transfer criterion in environmental control problems / Lyubimova N. A. // Prescopus Russia: open jornal Issue № 1, September, 2013. P. 5 – 9. (russia@prescopus.com (Пресскопус Россия)).

15. Любимова Н. А. Процесс очистки сточных вод предприятий электротехнической промышленности / Н. А. Любимова, В. Ф. Костенко // Башкирский экологический журнал. – Уфа: Экология – 2013. – № 2(35) – С. 59–63.

*Здобувач дослідила особливості контролю скидів енергетичних підприємств.*

16. Quality Criteria of management and control systems for environmental objects Prescopus Russia:open jornal / Lyubimova N. A. // Issue № 3 of 3, November, 2013. – P. 5–13, (russia@prescopus.com (Пресскопус Россия)).

17. Любимова Н. А. Схема контроля и управления технологией воздухоочистки предприятий электротехнической промышленности / Н. А. Любимова // Башкирский экологический журнал. – Уфа: Экология – 2013. – № 3–4 (36–37). – С. 57–63.

18. Артюх С. Ф. Контроль и управление технологией воздухоочистки предприятий электротехнической промышленности / С. Ф. Артюх, Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – № 59 (1032). – 2013. – С. 3–12.

*Здобувач запропонувала технологію повітроочищення.*

19. Любимова Н. А. Информационный анализ процедур контроля загрязняющих выбросов энергоемких предприятий / Н. А. Любимова // Технологический аудит и резервы производства –Х.–2014 – № 2(16).– С. 8–11.

20. Любимова Н. А. Коррекция прогнозирующих процедур при контроле загрязняющих выбросов энергетических предприятий / Н. А. Любимова // Технологический аудит и резервы производства – Х.– 2014.– № 3/(17).– С. 42–45.

21. Любимова Н. А. Статистическая модель обнаружения нежелательных трендов контроля параметров газообразных выбросов энергетических производств / Н. А. Любимова // Электронное моделирование – К.: НАН У., ін-т Проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Е. Пухова. – 2014.– Т. 36. № 2 – С. 97–105.

22. Любимова Н. А. Оптимизация контрольно-предупредительных границ и интервалов по минимуму средней частоты выбросов контролируемого воздушного загрязнения / Н. А. Любимова // Методи і прилади контролю якості. – Ів.-Франківськ. – 2014. – № 1 (32). – С. 102–106.

23. Артюх С. Ф. Оценка параметров случайных процессов загрязнения окружающей среды энергетическими предприятиями / С.Ф.Артюх,

Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2014. – Х. – № 24(1067). – С. 11–16.

*Здобувач побудувала графічні реалізації та гістограми процесів забруднення.*

24. Любимова Н. А. Анализ эффектов спектральной нестационарности в процессах загрязнения воздушной среды / Н. А. Любимова // Електроніка і зв'язок. – К.: НТУ «КПІ». – 2014. – Т. 19, № 4(81). – С. 104–110.
25. Любимова Н. А. Активный контроль технологических нарушений при биохимической водоочистке коксохимзавода / Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2014. – № 28 (1071). – С. 80–87.
26. Любимова Н. А. Контроль загрязняющих выбросов энергетических предприятий с использованием информационного анализа / Н. А. Любимова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон. – 2014. – № 3(50). – С. 346–349.
27. Любимова Н. А. Использование критерия средней частоты выбросов в процессе экологического контроля / Н. А. Любимова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х. – 2014. – № 4/10 (70). – С. 22–26.
28. Любимова Н. А. Применение моделей прогнозирования при многомерном контроле процессов загрязнения / Н. А. Любимова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. – 2014. – № 19 (1062). – С. 76–83.
29. Патент на винахід UA №60181. Спосіб видалення із аспіраційного повітря метилового спирту, формальдегіду та метанолу / Любимова Н. О., Костенко В. Ф., Юрченко В. О. // (Україна). – Опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11, 2011.
30. Большевцев А. Д. Оптимальное восстановление контролируемого процесса / А. Д. Большевцев, Н. А. Любимова, Ю. А. Смолин // 7 Міжн. н. к. «Контроль і управління в складних системах (КУСС – 2003)». – Вінниця. – 8–11.10.2003. – 223 с.
- Здобувач дослідила можливість декомпозиції параметрів контролю.*
31. Большевцев А. Д. Аппроксимация методической погрешности дискретного усреднения случайного процесса степенным рядом / А. Д. Большевцев, Л. А. Большевцева, Н. А. Любимова, Ю. А. Смолин // Межд. к. по вычислительной математике (МКВМ-2004). Тр. межд. к. Ч. 1. Новосибирск: изд. ИВМ и МГ СО РАН. – 2004. – С. 251–255.
- Здобувач розглянула застосування функціонала Немировського.*
32. Оптимизация дискретного измерения непрерывных случайных объектов / А. Д. Большевцев, Л. А. Большевцева, Л. Б. Быстрицкая, Н. А. Любимова // 4 Міжн. н. к. «Метрологія та вимірювальна техніка». – Х. – 2004. – С. 289–291.
- Здобувач розглянула крок дискретизації процесу контролю.*
33. Любимова Н. А. Вероятностный метод измерения обобщенных показателей качества природных и технологических объектов / Н. А. Любимова // 12 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 2004. – С. 120–124.
34. Любимова Н. А. Контроль оценки надежности природных объектов / Н. А. Любимова // 13 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 2005. – С. 65–70.

35. Любимова Н. А. Многокритериальная оптимизация каналов измерения в автоматических станциях контроля состояния экологических объектов / Н. А. Любимова // 2 Міжн. н. к. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Х. – 9–10.2.2005. – С. 108–111.
36. Болычевцев А. Д. Текущий функциональный контроль и особенности его исследования / А. Д. Болычевцев, Н. А. Любимова, А. И. Чурсин // Materiale 4 Mezinardni Vedeco-practicka conference “Vedecko promysl evropskeho kontinentu-2007”. 1–15 prosincu-2007 r.: Praga, 2007. – P. 13–16.  
*Здобувач розглянула особливості динамічного активного контролю.*
37. О выборе критерия качества системы функционального контроля / А. Д. Болычевцев, Л. А. Болычевцева, Л. Б. Быстрицкая и др. // 6 Міжн. н. к. «Метрологія та вимірювальна техніка. Метрологія-2008» – Х. – 14-16.10.2008. – С. 305–308.  
*Здобувач розглянула застосування запропонованих критеріїв.*
38. Болычевцев А. Д. Аппроксимация квантованных случайных сигналов по совокупности дискретных отсчетов / А. Д. Болычевцев, Н. А. Любимова, А. И. Чурсин // Materiale 4 Mezinardni Vedeco-practicka conference “Vedecko myslene inflachino-2008”. 15–31 brezen-2008 r.: Praga, dil 1. – 2008. – P. 92–94.  
*Здобувач розглянула особливості квантування випадкових сигналів.*
39. Любимова Н. А. Системный подход в задачах контроля оценки надежности природных объектов / Н. А. Любимова // 17 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 2009. – С. 316–324.
40. Любимова Н. А. Условная плотность выбросов в задачах экологического контроля / Н. А. Любимова // 18 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 7–11.06. 2009. – С. 298–305.
41. Любимова Н. А. Структура систем автоматизированного контроля воздуха в условиях антропогенного загрязнения / Н. А. Любимова // 2 Міжн. н. к. «Безпека людини в сучасних умовах». – Х. – 2–3.12.2010. – С. 290–292.
42. Любимова Н. А. Информационное обеспечение систем технического контроля процесса воздухоочистки промышленных предприятий / Н. А. Любимова // 2 Межд. н.-т. к. «Информационно-измерительные диагностические системы. Диагностика-2011». – Россия. Курск: Юго-Западный гос. ун-т. – 11-13.4.2011. – С. 188–193.
43. Любимова Н. А. Особенности построения структуры контроля экологических объектов в условиях антропогенного загрязнения / Н. А. Любимова // 3 Міжн. н. к. «Безпека людини в сучасних умовах». – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 8–9.12 2011. – С. 114–117.
44. Любимова Н. А. Применение средней частоты выбросов при решении задач контроля и управления экологическими объектами / Н. А. Любимова // 20 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 11–15.06. 2012. – С. 368–374.
45. Любимова Н. А. Функциональный контроль отходов энергетических предприятий / Н. А. Любимова // 21 Міжн. н.-т. к. «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х. – 10–14.06. 2013. – С. 259–268.

46. Артюх С. Ф. Задачи функционального контроля в экологическом мониторинге энергетических предприятий / С. Ф. Артюх, Н. О. Любимова // 5 Міжн. н. к. «Безпека людини в сучасних умовах» – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 4–6.12.2013 – С. 114–117.

*Здобувач розглянула особливості моніторингу екологічних об'єктів.*

## АНОТАЦІЇ

**Любимова Н. О. Контроль багатокomпонентного забруднення навколишнього середовища відходами енергетичних та енергоємних підприємств.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми підвищення достовірності контролю складу речовин, що забруднюють довкілля відходами. Розроблені методи підвищення інформаційного забезпечення результатів багатовимірних, багатократних та групованих вимірів процесів багатокomпонентного забруднення. Отримали розвиток методи планування контролю підвищеної достовірності на основі моделей прогнозування із корекцією на апіорну нестаціонарність процесів та із використанням розроблених критеріїв. Надлишкова інформація при порівняно неточних методах непрямого та дистанційного виміру забезпечить задані мінімальні ризики контролю не тільки першого, але і другого роду. Запропоновані моделі та схеми контролю і керування процесом повітроочищення одночасно від композиції фенолу, формальдегіду та метанолу в аспіраційному повітрі литкових та схожих підприємств.

*Ключові слова:* контроль, достовірність, аналіз складу речовин, захист, навколишнє середовище, попередження аварій.

**Любимова Н. А. Контроль многокомпонентного загрязнения окружающей среды отходами энергетических и энергоёмких предприятий.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2015.

Диссертационная работа посвящена решению научно-прикладной проблемы повышения достоверности контроля загрязнения окружающей среды отходами энергетических и энергоёмких предприятий. Приведены результаты анализа современного состояния и тенденций развития отечественных и зарубежных достижений проблемы.

Разработаны методы повышения информационного обеспечения результатов многократных и группированных измерений процессов

многокомпонентного загрязнения. Впервые разработана информационная вероятностная модель контроля потока экстремальных выбросов при ограничениях на время их наблюдения, учитывающая длительность наблюдения процесса загрязнения, риски контроля, параметры нестационарности процесса и компоненты дисперсий при случайном влиянии технологических факторов. Определены условия, выполнение которых максимизирует количество информации при технологических нарушениях в контролируемом процессе.

Впервые разработана теория и метод сравнительного оценивания априорных вероятностей выбросов по компонентам процесса загрязнения на основе сравнения дисперсий вейвлет-коэффициентов локализованного спектрального разложения однокомпонентных процессов на ограниченных интервалах их наблюдения. Полученные оценки вероятностей выбросов позволили ранжировать компоненты загрязнения по степени уменьшения риска их появления в ходе контроля, обеспечивая повышение достоверности и адаптацию планов последнего к физико-химическому составу компонентов процесса загрязнения.

Впервые доказана принципиальная возможность планирования активного контроля технологических нарушений на энергетических и энергоемких предприятиях по состоянию параметров нестационарности процессов загрязнения на основе предложенных методов позиционного управления и оптимальной коррекции контрольно-предупредительных интервалов с использованием условной плотности и средней частоты выбросов загрязнения, что позволило повысить достоверность экологического контроля.

Дальнейшее развитие получила информационная теория измерения при выборе моделей показателей нестационарности процессов загрязнения. Разработанные методы локализации закономерных трендов контроля на основе моделей дисперсионного анализа последовательных регрессий со случайными коэффициентами при тестировании многокомпонентных группированных результатов экстремальных выбросов при заданных рисках контроля 1-го и 2-го рода позволили обеспечить фильтрацию не только случайных, но и систематических погрешностей средств измерения.

Усовершенствована теория прогнозирования случайных процессов при технологических нарушениях на основе предложенного метода экстраполяции, учитывающего нестационарность процесса загрязнения. Также продолжена теория планирования контроля технического состояния технологических процессов на основе предложенного метода тестирования параметров нестационарности процессов загрязнения. Усовершенствованы методы активного контроля технологических режимов. Предложены схемы контроля и управления технологическим процессом одновременной воздухоочистки от композиции загрязнителей фенола, формальдегида и метанола в аспирационном воздухе литейного и аналогичных по выбросам производств.

Разработанные и внедренные методы и решения дополняют информационно-измерительные технологии и технические средства неразрушающего контроля. Они позволяют получить избыточную информацию при сравнительно неточных методах непрямых и дистанционных измерений и

обеспечить заданные минимальные риски контроля не только первого, но и второго рода и повысить в целом достоверность контроля загрязнения окружающей среды отходами энергетических и энергоемких предприятий.

*Ключевые слова:* контроль, достоверность, анализ состава веществ, охрана окружающей среды, предупреждение аварий.

**Lyubymova N. A. Control of Multicomponent Contamination of Environmental Waste from the Electrical Power Industry.** (On rights for a manuscript)

Dissertation for a scientific degree of Doctor of Engineering Sciences Degree in technical applications on speciality 05.11.13 – Devices and Methods of Control and Determination of Composition of Matters. – National Technical University, "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkiv, 2014.

This dissertation is dedicated to solving a scientifically posed problem of contamination of environmental waste by the electrical power industry. We will discuss the current state of contamination as well as domestic and international trends. We have developed new methods of data collection from multiple and grouped readings of multicomponent contamination. Higher accuracy was achieved in building models of control with account for instability of controlled processes.

We have also improved the existing methods of active control of technological processes of waste disposal using the criteria of conditional density and average frequency of disposal, which will further allow to increase the accuracy of the models. These non-invasive methods of control will complement the existing data collection technologies. Furthermore, we propose new models of control and management of simultaneous air decontamination from phenol, formaldehyde and methanol in a foundry.

They will also allow to collect additional data which can be used in conjunction with less accurate indirect and long distance readings, thus minimizing the risks of error.

*Keywords:* control, reliability, analysis of the composition of substances, environmental protection, prevention of accidents.



Відповідальний за випуск  
к. т. н., проф. кафедри електричних станцій НТУ «ХП»  
Лазуренко О.П.

Підписано до друку 24.12.2014 р. Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman Cyr . Віддруковано на ризографі  
Ум.друк. арк. 0,9.  
Зам. № 669/14. Тираж 100 прим. Ціна договірна

**ВИДАВНИЦТВО**  
**Харківського національного автомобільно-дорожнього університету**

**Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.**  
**Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua**

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення  
та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04 2002 р.