

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КОВГАР Володимир Борисович

УДК 681.513

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФУНКЦІЙ ДЖЕРЕЛ ЕМІСІЇ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

05.13.01 - Управління в технічних системах

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття ученого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Київському політехнічному Інституті

Науковий керівник - член-кор. АН України,
доктор технічних наук,
професор ЗГУРОВСЬКИЙ М.З.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
ГУБАРЕВ В.Ф.
доктор технічних наук
СІЛЬВЕСТРОВ А.М.

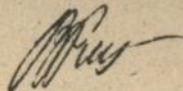
Провідна установа: Київський університет

Захист дисертації відбудеться 16 травня 1994 р. о 15 годині на
засіданні спеціалізованої ради Д 068.14.07 в Київському політехніч-
ному Інституті за адресою:
252066, Київ, проспект Перемоги, 37, актовий зал головного корпусу.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту.

Автореферат розісланий "1" квітня 1994 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради



РОМАНЕНКО В.Д.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00801535 (М)

АНОТАЦІЯ

Метою дисертації є створення ефективних методів розв'язку зворотних задач динаміки атмосфери - відновлення функцій джерел забруднення, що орієнтовані на розробку математичного забезпечення автоматизованих систем контролю за станом навколишнього середовища з урахуванням просторового розподілу процесів розповсюдження шкідливих домішок у контрольованій області повітряного басейну. Необхідність ефективного розв'язку цих задач обумовлюється підвищеними вимогами до швидкості прийняття керівних рішень в системах контролю та управління якістю атмосферного повітря. Під час розв'язку зворотних задач динаміки атмосфери мають братись до уваги обмежені можливості вимірвальних систем.

Для розв'язку сформульованої загальної задачі необхідно:

- виконати аналіз існуючих методів та підходів до розв'язку зворотних задач математичної фізики і, зокрема, визначення характеристик джерел емісії газоподібного забруднювача атмосфери;

- дослідити проблеми існування, єдиності та стійкості розв'язку некоректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел емісії забруднювача, а також групи джерел за мінімально-необхідним добром вимірвальної інформації;

- розробити алгоритм розв'язку задачі відновлення характеристик окремого або невеликої групи добре розрізняваних точкових джерел за мінімально необхідним добром вимірвальної інформації;

- розробити алгоритм визначення внесків окремих джерел до загального забруднення повітряного басейну контрольованої області (зони посиленого контролю);

- розробити алгоритм ідентифікації просторово-розподіленої функції джерел при наявності обмеженої кількості точкових вимірвачів;

- виконати модифікацію просторово-розподіленої динамічної моделі процесу розповсюдження шкідливих домішок в атмосфері, що враховує топологічні та температурні особливості контрольованого регіону, а також особливості впливу високих джерел емісії;

- розробити узагальнюючий алгоритм, що дозволяє оперативно ідентифікувати джерела емісії, які порушують запланований розклад викидів шкідливих газоподібних речовин у атмосферу контрольованого району (великого міста, промислового центру).

Автор захищає.

I. Результати аналізу умов, що забезпечують розв'язність

некоректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел газоподібної домішки.

2. Методи розв'язання задач ідентифікації характеристик та визначення внесків в загальне забруднення атмосфери окремих джерел газоподібної домішки.

3. Результати аналізу умов, що забезпечують розв'язність некоректної задачі ідентифікації групи джерел газоподібної домішки.

4. Метод розв'язання задачі ідентифікації групи джерел газоподібної домішки.

5. Комплексний підхід до визначення конкретного винуватця підвищеного забруднення атмосфери великого міста внаслідок порушення паспортного режиму викидів газоподібного забруднювача.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. В багатьох промислово розвинених країнах, в індустриальних осередках рівні забруднюючих викидів перевищують величини, до яких можуть пристосуватися організм людини та біосфера в цілому. В зв'язку з доведенням екологічних норм до рівня норм юридичних особливо актуальною є задача своєчасного та надійного визначення джерела - порушника норм викидів шкідливих речовин в атмосферу за даними вимірювань концентрації домішок у атмосферному повітрі. В силу різних причин - наприклад, збільшення викидів одного чи кількох джерел, виникнення небезпечних метеорологічних обставин, можуть з'являтися високі рівні концентрації шкідливої газоподібної домішки в атмосферному повітрі. З цього випливає необхідність виявлення джерел забруднення, викиди яких можна зменшити і тим самим ефективно керувати якістю атмосферного повітря з метою доведення вмісту шкідливих речовин в повітрі до припустимого.

Розробка систем контролю процесів забруднення атмосфери шкідливими газоподібними домішками пов'язана з принциповими перешкодами якісного та кількісного характеру. При цьому важливою практичною проблемою є створення високоєфективних алгоритмізованих методів розв'язання зворотних задач ідентифікації джерел забруднення атмосфери. Методи мають використовуватися у складі математичного забезпечення автоматизованих систем контролю за станом навколишнього середовища. При цьому має враховуватися просторовий розподіл процесів розповсюдження шкідливої домішки в контрольованій області повітряного басейну та обмежені можливості вимірювальних систем.

Необхідність ефективного вирішення цих задач обумовлюється підвищеними вимогами до швидкості прийняття керуючих рішень в системах контролю за якістю атмосферного повітря.

Методи дослідження. В роботі використовувались теорія розв'язання некоректних задач, теорія оптимального управління просторово-розподіленими системами, елементи функціонального аналізу, теорії рівнянь математичної фізики.

Наукова новизна. Сформульовано сукупність зворотних задач динаміки атмосфери, що дозволяє виробити єдиний підхід до розв'язання математично некоректних задач ідентифікації джерел підвищеної атмосферної емісії забруднювача в проблемі контролю за станом повітряного басейну великого міста (промислового центру).

Проведено аналіз умов, що забезпечують розв'язність некоректних задач ідентифікації окремих джерел шкідливих газоподібних домішок, в результаті чого визначено вимоги до мінімального обсягу виміральної інформації, що припускає однозначне вирішення зворотних задач динаміки атмосфери.

Запропоновано метод розв'язання умовно коректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел емісії газоподібного забруднювача, побудований на використанні модифікованого принципу узагальненого відхилення вибору параметру регуляризації. Цей метод відрізняється стійкістю при наявності похибки вимірювань концентрації домішки до 20% (без регуляризації аналогічна процедура збігається при різній похибки вимірювань до 4-5%, при цьому точність відновлення характеристик нижча в 3-8 разів), а також швидкістними якостями в міру можливості використання швидких перетворень Фур'є, що дозволяє побудувати ефективний за швидкістю алгоритм з використанням лише оперативної пам'яті ПЕОМ середньої потужності.

Запропоновано метод визначення внесків окремих джерел газоподібної домішки в загальне забруднення атмосфери, що дозволяє одночасно визначати кількість та характеристики джерел.

Запропоновано метод розв'язання задачі ідентифікації групи джерел газоподібної домішки за даними вимірювання концентрації домішки в скінченній кількості точок контрольованої області, що ґрунтується на використанні регуляризованої градієнтної процедури. Метод дозволяє відновлювати поле джерел емісії з похибкою не більше як 15%, при цьому швидкість збіжності відповідного алгоритму в 2-3 рази вища, ніж у аналогічного, але без регуляризації.

Запропоновано комплексний підхід до визначення конкретного

винуватця підвищеного забруднення атмосфери внаслідок порушення паспортного режиму викидів газоподібного забруднювача в умовах великого міста (промислового центру), ще ґрунтується на розроблених в дисертації методах розв'язання зворотних задач динаміки атмосфери.

Практична цінність роботи полягає в розробці методів, необхідних для створення математичного та програмного забезпечення систем контролю стану атмосфери промислових підприємств, великих міст та промислових центрів. Надійне і своєчасне визначення характеристик джерел забруднювача дозволить підвищити ефективність діючих систем контролю якості атмосферного повітря, а також тих, що проєктуються; знизити рівень забруднення повітря контрольованого району за рахунок застосування засобів обмежуючого характеру.

Реалізація результатів роботи. Роботу виконано на кафедрі математичних методів системного аналізу Київського політехнічного Інституту. Наукові дослідження провадились в межах науково-дослідної господарської роботи Ж09 між Київським політехнічним Інститутом (КПІ) та ВНДІЦ "Екологія" Держкомприроди СРСР (м.Москва) "Создание математических моделей, программных средств контроля, прогнозирования окружающей среды и цифровой обработки данных дистанционного зондирования земной поверхности" (державний реєстраційний номер 01900064156); держбюджетної теми 0.80.02.35. 01.07 Цільової комплексної програми 01 0.80.02. "Разработка методов и программных средств идентификации параметров турбулентной диффузии, определения источников, наиболее влияющих на нарушение допустимых норм загрязнений и оптимального размещения станций в задачах прогнозирования состояния атмосферы" (державний реєстраційний номер 01860051771П); а також в межах господарю Ж31/92 між НДІ міждисциплінарних досліджень Міністерства освіти України при КПІ та Інститутом кібернетики ім. В.М.Глушкова АН України "Дослідження процесу розповсюдження шкідливих домішок у атмосферному повітрі" (державний реєстраційний номер 01931025001).

Отримані результати використано при створенні алгоритмічного та програмного забезпечення систем контролю стану атмосфери великих міст та промислових центрів і реалізовані у вигляді програмних модулів у складі пакету "Моделювання та ідентифікація процесів забруднення атмосфери". Зазначені програмні модулі впроваджені в Новокаховській міжрайонній інспекції Державного управління з охорони навколишнього природного середовища по Херсонській області. Пакет

програм, що містить реалізацію деяких матеріалів дисертації, передано до Казанського НВО "Нефтепромавтоматика" до впровадження. Загальний економічний ефект від впровадження зазначеного програмного забезпечення отримано за рахунок зниження витрат на заходи по запобіганню захворюваності населення та скорочення витрат на НДР при розробці програмного забезпечення автоматизованих систем контролю якості атмосферного повітря і складає 12588 тис. крб.

Атробація роботи. Основні результати доповідалися та обговорювалися на таких нарадах та семінарах: на Всесоюзній конференції "Современные методы и средства автоматического контроля атмосферного воздуха и перспективы их развития", Київ, вересень 1987 р.; на Всесоюзній конференції "Использование вычислительной техники для решения проблемы охраны окружающей среды в теплоэнергетике", Севастополь, вересень 1988 р.; на міжнародних науково-технічних конференціях "Молодые ученые в решении комплексной программы научно-технического прогресса стран - членов СЭВ", Київ, квітень 1989 р. і "Приложение компьютерных технологий в производстве", Варна (Болгарія), листопад 1989 р.; на науково-технічній конференції "Проблемы промышленной экологии", 1990 р.; на Всесоюзній науково-технічній конференції "Математическое моделирование в энергетике", Київ, жовтень 1990 р.; на IV міжнародній науково-технічній конференції "Проблемы комплексной автоматизации", Київ, жовтень 1990 р.; IV Всесоюзній конференції молоді дослідників "Актуальные вопросы теплофизики и физической гидро-газодинамики", Новосибірськ, березень 1991 р.; на науково-технічній конференції "Проблемы экологии и ресурсосбережения - Экоресурс-1", Чернівці, травень 1991 р.; на міжнародному науковому симпозиумі студентів та молодих наукових співробітників у З.Гурі (Польща), квітень 1993 р.

Основні положення, що подаються до захисту:

1. Аналіз умов, що забезпечують розв'язність некоректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел газоподібних домішок.
2. Методи розв'язку задач ідентифікації характеристик та визначення внесків в загальне забруднення атмосфери окремих джерел газоподібних домішок.
3. Аналіз умов, що забезпечують розв'язність некоректної задачі ідентифікації групи джерел газоподібних домішок.
4. Метод розв'язку задачі ідентифікації групи джерел

газоподібних домішок.

5. Комплексний підхід до визначення конкретного винуватця підвищеного забруднення атмосфери великого міста внаслідок порушення паспортного режиму викидів газоподібного забруднювача.

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 17 друкованих робіт.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота вміщує 163 сторінок тексту, 21 малюнок і 7 таблиць, перелік літератури з 150 найменувань. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, висновку, переліку літератури та додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

В роботі розглянуто клас процесів, що відбуваються в приземному шарі атмосфери при розповсюдженні в ньому забруднюючих газоподібних домішок, що викидаються промисловими джерелами. Предметом дослідження є задачі відновлення (ідентифікації) характеристик окремих джерел забруднення атмосфери газоподібними домішками, а також задача відновлення (ідентифікації) просторово-розподіленої функції - поля емісії забруднювача при наявності великої групи джерел за обмеженою кількістю вимірювань стану процесу розповсюдження домішок від цих джерел в приземному шарі атмосфери великого міста (промислового центру), які в даній роботі визначено як зворотні задачі динаміки атмосфери.

У відповідності до методики, розробленої Ейлером, потік повітря в момент часу t характеризується полем швидкостей $u(x,t)$, тобто значеннями складових вектора швидкості в будь-яких точках $x=(x_1, x_2, x_3)$ декартового простору. Як правило, домішка входить в потік у вигляді газоподібного додатку або великої кількості дрібних твердих речовин. При цьому вона характеризується ейлеровим полем об'ємної концентрації $q(x,t)$. В загальному випадку модель процесу для усереднених значень концентрації домішки має вигляд

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \operatorname{div} uq + dq = \frac{\partial}{\partial x_3} \nu \frac{\partial q}{\partial x_3} + \mu \Delta_{x_1, x_2} q + f, \quad (I)$$

$x \in \mathbb{R}^3$, $t \in [0, T]$, S - бокова поверхня Ω ,

де Δ - оператор Лапласа; u, u_n - вектор швидкості вітру та його проекція на нормаль до S ; $\mu, \nu > 0$ - відповідні горизонтальний та вертикальний коефіцієнти дифузії; d - коефіцієнт поглинання домішки, з початковими $q=q_0$ при $t=0$, та граничними умовами

$$q=q_S \text{ при } u_n < 0, \quad \partial q / \partial n = 0 \text{ при } u_n \geq 0, \text{ на } S$$

$\partial q / \partial x_3 = \alpha q$ при $x_3 = 0$, $\partial q / \partial x_3 = 0$ при $x_3 = H$.

В багатьох випадках, при розв'язанні практичних задач, є доцільним використання двовимірного наближення тривимірної моделі процесу розповсюдження домішки в атмосфері, які можуть бути отримані з (1). Аналіз показав, що в результаті усереднення по висоті двовимірна модель процесу забруднення атмосфери газоподібною домішкою q набуде вигляду при $x \in \Omega \subset \mathbb{R}^2$, $t \in [0, T]$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial u_1 q}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2 q}{\partial x_2} + \alpha q = \mu \Delta q + f, \quad (2)$$

$$q = q_0 \text{ при } t = 0,$$

$$q = q_n \text{ при } u_n < 0, \quad \partial q / \partial n = 0 \text{ при } u_n \geq 0 \text{ на } \partial \Omega.$$

Функція $f(x, t)$ описує деяке поле розподілених та зосереджених джерел емісії. В загальному випадку поле джерел емісії забруднювача має досить складний вигляд, бо поєднує зосереджені джерела, що роблять викиди в різні моменти часу, безперервно функціонуючі зосереджені джерела, безперервно функціонуючі поверхневі джерела, а також лінійні безперервно діючі джерела.

Однак для окремих випадків при розв'язанні задачі ідентифікації характеристик одиничних джерел забруднення атмосфери, виявляється зручною математична модель процесу в інтегральній формі:

$$q(x, t) = \int_0^t \int_{\Omega} G(x, \xi, t, \tau) f(\xi, \tau) d\xi d\tau, \quad (3)$$

де G — функція Гріна задачі (2) при виконанні всіх умов, які гарантують регулярність G .

Як для більшості зворотних задач математичної фізики математична постановка зворотних задач динаміки атмосфери є некоректною в класичному розумінні, тобто при їх розв'язанні порушується якась з умов: розв'язок існує для будь-яких початкових даних; рішення є єдиним; розв'язок є стійким, тобто малим змінам в реєструючих функціоналах відповідають малі зміни в розв'язках задач. Для розв'язання зворотних задач динаміки атмосфери застосовувався підхід, що ґрунтується на теорії регуляризації Тихонова. Перевагою такого підходу є можливість отримання стійкого розв'язку для суттєво некоректних задач, що виникають при постановці зворотних задач динаміки атмосфери. У відповідності з цим підходом сформульовано узагальнену постановку зворотної задачі динаміки атмосфери:

— побудувати наближене рішення f_η

$$A_1 = q(x, t), q \in Q, f \in F, x \in \Omega \subset R^n; \quad (4)$$

(F, Q - гільбертові простори; A - оператор задачі)
за заданим набором даних (A_h, q_0, η) , $\eta = (\delta, h)$, де $\delta > 0$ - похибка завдання q , тобто $|q_0 - \bar{q}| \leq \delta$, $\bar{q} = A\bar{f}$, A, A_h - оператори, що діють з F в Q , причому $|A - A_h| \leq h, h > 0$, \bar{f} - точне рішення задачі, що відповідає точному значенню концентрації домішки \bar{q} , яке мінімізує функціонал:

$$M^\alpha \|f\| = \|A_h f - q_0\|^2 + \alpha \|f\|^2. \quad (5)$$

При цьому вибір параметру регуляризації здійснюється на основі модифікованого принципу узагальненого відхилення

$$\rho_\eta(\alpha) = \|A_h f_\eta^\alpha - q_0\|^2 - (\delta + h \|f_\eta^\alpha\|)^2, \quad (6)$$

чисельна реалізація якого не потребує обчислення міри несумісності рівняння $Af = q$ з наближеними даними, і, відповідно, визначення похибки її завдання.

У дисертації розв'язано задачі ідентифікації характеристик окремих джерел забруднення атмосфери, які є окремими випадками такої загальної постановки.

З метою мінімізації кількості вимірювальної інформації, необхідної для однозначного визначення характеристики проведено дослідження умов розв'язності відповідної некоректної задачі. В роботі показано, що при визначенні координат x^0 розміщення окремого (точкового) джерела емісії $f(x, t) = f(t)\delta(x - x^0)$ забруднюючої домішки в двовимірній просторовій області, в яості мінімальної інформації приймаються значення концентрації домішки, що вимірюються в момент часу T в 3-х точках. Доведено відповідну теорему.

Теорема 1. Хай задано невід'ємну неперервну функцію $f(t)$; $T > 0$, $x^l \in R^2, l = \overline{1, 3}$ - три різні точки, що не лежать на одній прямій: $x^1 \notin \{x^2, x^3\}$ и $x^l \neq x^0$, q^l - виміри концентрації в цих точках.

Тоді розв'язок x^0 зворотної задачі

$$q(x^l, T) = \int_0^T f(x^l, x^0, T - \tau) f(x^0, \tau) d\tau,$$

при додатковій умові $q|_{t=0} = q_0$, $q(x^l, T) = q^l, l = \overline{1, 3}$ є єдиним.

В реальній ситуації при розв'язанні практичних задач визначення джерела, що не додержується паспортного режиму викидів підприємства, характерною є така ситуація. Розташування x^0 джерела відоме, необхідно знайти інтенсивність функціонування джерела $f(t)$, у припущенні, що $f(t)$ належить до класу неперервних функцій. В цьому випадку виявляється вірною

Теорема 2. Хай $f(t)$ - неперервна обмежена функція і $x^1, x^0 \in R^2$ - фіксовані точки площини $x^1 \neq x^0$. Тоді розв'язок $f(t)$ зворотної задачі

$$q(x^1, t) = \int_0^t G(x^1, x^0, t-\tau) f(\tau) d\tau,$$

при додатковій умові $q|_{x=x^0} = q(x^1, t)$ є єдиним.

Враховуючи специфічний вигляд рівняння, що пов'язує $q(x^1, t)$ з інтенсивністю джерела $f(t)$ для розв'язання умовно коректної задачі ідентифікації $f(t)$ за мінімальною інформацією про стан процесу застосування перетворень Фур'є дозволило побудувати ефективний за швидкістю алгоритм, використовуючи лише оперативну пам'ять ПЕОМ середньої потужності.

Оскільки вхідні дані мають похибку, то розглянуті в умовах теорем задачі також можуть виявитись несумісними, або такими що мають більше, ніж один розв'язок, тобто поставленими некоректно. Отримати їх стійкий розв'язок виявляється можливим за допомогою застосування наведеного вище методу, що ґрунтується на принципі регуляризації.

В дисертації розв'язано задачу одночасного визначення кількості окремих джерел та ідентифікації їх характеристик за мінімально необхідним добром виміральної інформації. Метод розв'язання задачі в такій постановці ґрунтується на теоремі, що є наслідком теорем 1 і 2.

Теорема 3. Хай $x^s, s=1, 3, x^s \neq x^0$ - фіксовані точки площини, що не лежать на одній прямій. Тоді розв'язок задачі одночасної ідентифікації характеристик точкового джерела x^0 і $f(t)$ визначається єдиним чином з підстановки додаткових умов $q(x^1, t) = y(t)$ та $q(x^s, T) = y^s, s=2, 3; T > 0$ в рівняння зворотної задачі

$$q(x, t) = \int_0^t G(x, x^0, t-\tau) f(\tau) d\tau.$$

Крім того, в дисертації розглянуто задачу ідентифікації характеристик окремого джерела, розподіленого в деякій області простору.

В роботі запропоновано алгоритми, що реалізують методи розв'язку умовно коректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел, що відрізняються стійкістю при наявності похибки вимірювань концентрації домішки до 20% (без регуляризації аналогічна процедура збігається при рівні похибки вимірювань до 4-5%, при цьому точність відновлення характеристик нижча в 3-8 разів).

В умовах міста (великого промислового центру) при наявності

великої кількості різнотипових джерел емісії забруднювача не менш важливою є задача локалізації за даними існуючої мережі стаціонарних контрольно-вимірвальних станцій групи джерел, що включає ймовірного винуватця підвищеного забруднення або, іншими словами, зою, що підлягає посиленому контролю для остаточної ідентифікації конкретного джерела викидів. В дисертації розв'язано зворотну по відношенню до прямої задачі моделювання задачу ідентифікації такої групи джерел як просторово-розподіленої функції-поля емісії забруднювача, яку також поставлено математично некоректно в класичному розумінні. Наведена задача розв'язується з застосуванням теорії ідентифікації систем з розподіленими параметрами. При цьому проведено дослідження умов її розв'язності з метою введення в клас умовно коректних задач. Доведено відповідні теореми, що визначають умови існування, єдиності та стійкості розв'язку $f(x,t)$ зворотної задачі.

В результаті встановлено, що наступна постановка буде коректною за Тихоновим:

- для процесу розповсюдження домішки

$$\hat{A}q - f = 0, \quad (7)$$

$$\hat{A}(\cdot) = \left[\frac{\partial}{\partial t} + \sum_{i=1}^2 \left[u_i \frac{\partial}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_i \frac{\partial}{\partial x_i} \right) \right] + d \right] (\cdot)$$

визначити такі значення f поля емісії забруднювача, які доставляють мінімум критерію якості ідентифікації (по вимірам y)

$$J = \iint_{\Omega} G(q-y)^2 d\Omega dt \quad (8)$$

при умові, що ідентифікація здійснюється на

$F = \{(f;q) \mid (f;q) \text{ зв'язані співвідношенням (2); } \alpha < f(x,t) < \beta$
 $\forall (x,t) \in \Omega \times [0,T], \alpha > 0, \beta < +\infty; q(x,t) > 0, \forall (x,t) \in \Omega \times [0,T], \partial q / \partial f \neq 0\}$,
 напрямленим перебором його елементів, використовуючи для цього градієнтну процедуру

$$f^{k+1} = f^k - \alpha^k L_f^k, \quad (9)$$

(k - номер ітерації) при відповідному виборі α^k . Градієнт критеріального функціонала $L_f^k(x,t)$, отриманого в результаті використання методу множників Лагранжа, що дозволяє звести початкову задачу мінімізації функціоналу (8) при обмеженні (7) до задачі безумовної мінімізації лагранжиану

$$L(f,q,p) = J + (\hat{A}q - f, p), \quad (10)$$

знаходиться за допомогою спряженої змінної $p(x, t)$, що задовільняє коректній спряженій задачі

$$-\frac{\partial p}{\partial t} - \sum_{i=1}^2 \left(u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} k_i \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) + dp = 2C(y-q) \quad (11)$$

з відповідними початковими та граничними умовами, отриманої з застосуванням принципів класичного варіаційного числення при варіації функціоналу (10) по q . Вираз для похідної (10) по f має вигляд

$$\frac{\partial L}{\partial f} = -p(x, t). \quad (12)$$

В дисертації запропоновано алгоритм ідентифікації поля потужностей джерел за обмеженим добром даних вимірювань, що мають похибку до 30%, що ґрунтується на застосуванні градієнтної процедури (9). Обчислювальні експерименти показали високу здібність та стійкість алгоритму в умовах неточного завдання вимірювальної інформації. Зокрема, при наявності 20-30%-вої похибки вимірювань Δq поле потужностей джерел відновлювалось із похибкою Δf 5-11%, що дозволяє однозначно вирішити проблему локалізації зони посиленого контролю, що охоплює групу джерел, яка містить винуватця підвищеної емісії забруднювача (аналогічна процедура без регуляризації збігається при рівні похибки вимірювань Δq до 10%, при цьому точність відновлення функції f нижча в 3-5 разів).

В роботі розглянуто питання оптимізації вимірювальної системи - мінімізації числа вимірювань, достатнього для однозначного розв'язку зворотної задачі ідентифікації поля джерел емісії. Проведено модифікацію математичної моделі процесу розповсюдження домішки в атмосфері міста, що включає модифікацію поля вітру, враховує топографічні та температурні особливості місцевості, а також модифікацію поля домішки поблизу високих джерел.

Розроблені в дисертації алгоритми ідентифікації джерел забруднення поєднує запропонований автором комплексний підхід до визначення за даними оперативного контролю тану якості повітряного басейну великого міста (промислового центру) конкретного винуватця підвищеного забруднення атмосфери внаслідок порушення ним паспортного режиму викидів шкідливої домішки. Підхід передбачає послідовне розв'язання задач: локалізації зони пошуку винуватця підвищеного забруднення атмосфери; поточне нормування гранично можливих викидів забруднювача; визначення списку потенційних порушників паспортного режиму викидів; уточнення списку порушників;

вибір комплексу захисних заходів щодо запобігання збитків від заоруднення. Застосування відповідної процедури в системі автоматизованого контролю за станом забруднення атмосфери населеного пункту дозволяє оперативно ідентифікувати конкретного винуватця порушення часпортного режиму викидів газоподібного забруднювача і прийняти організаційне рішення щодо запобігання можливих збитків.

Розглядаються проблеми програмної реалізації алгоритмів, що побудовані на основі розроблених в дисертації методів. Ці проблеми пов'язані з відносною складністю цієї задачі.

В дисертації наведено приклад ідентифікації поля джерел м. Києва за даними вимірювань концентрації окислів азоту стаціонарними контрольно-вимірювальними станціями, що дозволило локалізувати зону посиленого контролю для проведення додаткових вимірювань з метою визначення конкретного джерела підвищеного забруднення.

Результати, отримані в дисертації, реалізовано у вигляді програмних модулів у складі пакету "Моделювання та ідентифікація процесів забруднення атмосфери". Загальний економічний ефект від впровадження зазначеного програмного забезпечення отримано за рахунок зниження витрат на заходи по запобіганню захворюваності населення та скорочення витрат на НДР при розробці програмного забезпечення автоматизованих систем контролю якості атмосферного повітря і складає 12588 тис. крб. (вересень 1993 р.).

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Сформульовано сукупність зворотних задач динаміки атмосфери, розв'язання яких необхідне для виконання загальної задачі визначення конкретних джерел підвищеного забруднення повітряного басейну великого промислового центру. Аналіз загальної задачі дозволив виділити як самостійні математичні задачі ідентифікації характеристик окремих джерел забруднення атмосфери газоподібними домішками, а також задачу ідентифікації групи джерел забруднення за обмеженою кількістю вимірювань стану процесу розповсюдження домішок від цих джерел в приземному шарі атмосфери великого міста. Обґрунтований вибір математичного апарату з урахуванням некоректності математичної постановки цих задач.

2. Проведено аналіз умов, що забезпечують розв'язність некоректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел шкідливих газоподібних домішок, в результаті чого визначені вимоги

до мінімального обсягу виміральної інформації, що притускне однозначність розв'язання задач ідентифікації інтенсивності та координат джерела як окремо, так і при одночасному визначенні цих характеристик.

3. Запропоновано метод розв'язання умовно коректних задач ідентифікації характеристик окремих джерел емісії газоподібного забруднювача, побудований на використанні модифікованого принципу узагальненої нев'язки вибору параметру регуляризації. Цей метод відрізняється стійкістю при наявності похибки вимірювань концентрації домішки до 20%, а також швидкістними якостями за рахунок можливості використання швидких перетворень Фур'є, що дозволяє побудувати ефективний за швидкодією алгоритм. Розроблено метод визначення внесків окремих джерел газоподібної домішки в загальне забруднення атмосфери, що дозволяє водночас визначати кількість та характеристики джерел.

4. Проведено аналіз умов, що забезпечують розв'язність некоректної задачі ідентифікації групи джерел газоподібної домішки, в результаті якого визначено вимоги до розробки методу її розв'язання.

5. Запропоновано метод розв'язання умовно коректної задачі ідентифікації групи джерел газоподібної домішки за даними вимірювання концентрації домішки в скінченній кількості точок контрольованої області, що ґрунтується на використанні градієнтної процедури. Метод дозволяє відновлювати поле джерел емісії з похибкою не більше як 15%.

6. Запропоновано комплексний підхід до визначення конкретного винуватця підвищеного забруднення атмосфери внаслідок порушення паспортного режиму викидів газоподібного забруднювача в умовах великого міста (промислового центру), що ґрунтується на розроблених в дисертації методах розв'язання зворотних задач динаміки атмосфери. Програмна реалізація основних етапів цієї процедури використовувалася для ідентифікації джерел м.Києва, що дозволило локалізувати зону посиленого контролю для проведення додаткових вимірювань з метою визначення конкретного винуватця підвищеного забруднення. Економічний ефект від впровадження зазначеного програмного забезпечення отримано за рахунок зниження витрат на заходи по запобіганню захворюваності населення та скорочення витрат на НДР при розробці програмного забезпечення автоматизованих систем контролю якості атмосферного повітря.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В РОБОТАХ:

1. Згуровский М.З., Селин А.Н., Пармасте И.Л., Ковгар В.Б. Методы автоматического прогнозирования процесса распределения газообразных примесей // Современные методы и средства автоматического контроля атмосферного воздуха и перспективы их развития: тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. -Киев: ВНИИП, 1987. -С.56-57.
2. Згуровский М.З., Власик А.Г., Пармасте И.Л., Селин А.Н., Ковгар В.Б. Об одном подходе к решению задач контроля качества окружающей среды // Использование вычислительной техники для решения проблемы охраны окружающей среды в теплоэнергетике: тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. -Севастополь, сентябрь 1988. -Киев: ИТФ АН УССР, 1988, ч.2, -С.123-124.
3. Ковгар В.Б. Построение прогнозирующих алгоритмов процесса загрязнения атмосферы на основе комбинированного подхода // Разработка автоматизированных систем управления: материалы 2-й межреспубликанской науч.-техн. конф. Киев, ноябрь 1988, -Киев: Деп. в УкрНИИТИ, 04.04.89, № 998 -Ук89.
4. Гавлович П., Ковгар В.Б. Методы прогнозирования и контроля распространения вредных примесей в атмосфере // Международный научный симпозиум студентов и молодых научных работников. т.1. Строительство и охрана окружающей среды, Зелена Гура (Польша), 1989. -С.154-158.
5. Селин А.Н., Ковгар В.Б. Методы оценивания параметров источников газообразной примеси в атмосфере // Тезисы докладов международной науч.-техн. конф. "Молодые ученые в решении комплексной программы НТП стран-членов СЭВ" 19-22 апреля 1989, Киев, -1989, -С.206-207.
6. Гавлович П., Ковгар В.Б. Алгоритм оптимального размещения измерительных датчиков в системе контроля состояния атмосферы // Тезисы докладов международной науч.-техн. конф. "Молодые ученые в решении комплексной программы НТП стран-членов СЭВ" 19-22 апреля 1989, Киев, -1989, -С.191-192.
7. Селин А.Н., Ковгар В.Б., Гавлович П. Методы прогнозирования, оценивания и идентификации в машинных системах контроля загрязнения атмосферного воздуха // Международная молодежная научная сессия // "Приложение компьютерных технологий в производстве", Варна, 16-19 ноября 1989. Деп. в ЦИТИ-ЦНТБ -София (Болгария).
8. Власик А.Г., Згуровский М.З., Ковгар В.Б., Селин А.Н. Прогнозирование и контроль загрязнения атмосферного и водного

бассейнов / Науч.-техн. отчет // Каф. ММСА КПИ: Киев, 1989 -71 с. ВНИИНТИ № 0290.0 038247.

9. Згуровский М.З., Селин А.Н., Ковгар В.Б. Разработка математических методов и программных средств идентификации параметров турбулентной диффузии и оптимального размещения контрольных станций в задачах прогнозирования состояния атмосферы / Науч.-техн. отчет // Каф. ММЖА КПИ: Киев, 1989 -29 с. ВНИИНТИ № 0290.0 042142.

10. Згуровский М.З., Новиков А.Н., Селин А.Н., Ковгар В.Б. и др. Создание математических моделей, программных средств контроля, прогнозирования состояний окружающей среды и цифровой обработки данных дистанционного зондирования земной поверхности / Науч.-техн. отчет // Каф. ММСА КПИ: Киев, 1990 -88 с. ВНИИНТИ № 02.9.10 033231.

11. Згуровский М.З., Селин А.Н., Новиков А.Н., Ковгар В.Б. и др. Разработка методов и программных средств идентификации параметров турбулентной диффузии, определения источников наиболее влияющих на нарушения допустимых норм загрязнения и оптимального размещения контрольных станций в задачах прогнозирования состояния атмосферы / Науч.-техн. отчет // Каф. ММСА КПИ: Киев, 1990 -29 с. ВНИИНТИ № 02.9.10 032673.

12. Ковгар В.Б., Селин А.Н. Идентификация опасных источников выбросов по данным измерения концентрации загрязнителя в экологических системах // Труды IV международной науч.-техн. конф. "Проблемы комплексной автоматизации". Киев, 17-20 октября 1990, т.3, с.163-167.

13. Ковгар В.Б. Определение интенсивности и расположения источников загрязнения атмосферного воздуха // Всесоюзная науч.-техн. конф. "Математическое моделирование в энергетике", Киев, 23-25 октября 1990, т.3, С.32-33.

14. Ковгар В.Б., Селин А.Н. Идентификация функции источников в динамических системах с распределенными параметрами / Сборник трудов IV Всесоюзной конференции молодых исследователей "Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики" 27-29 марта 1991, Новосибирск, ИТ СО АН СССР, 1991. -С.111-112.

15. Ковгар В.Б. Определение параметров источников загрязнения атмосферного воздуха / Труды науч.-техн. конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения - Экоресурс-1", 20-24 мая 1991, Черновцы, т.2, с.25-26.

16. Ковгар В.Б., Селин А.Н. Математические методы определения

характеристик виновников загрязнения атмосферы // Вестник Киев. политехн. ин-та. Техническая кибернетика. -Киев. -1992. -Вып. 16. -С.48-52.

17. Ковгар В.Б. Обнаружение источников повышенной эмиссии газообразного загрязнителя в атмосферу // Международный научный симпозиум студентов и молодых научных работников. т.1. Строительство и охрана окружающей среды. Зелена Гура (Польша), 1993. -С.74-78.

ЛНБ ім. В. Стефанива
АН України

Лид. до друку 25.03.94. Удп КІІ.

І друк.арк. Тираж 100 прим. сам.ІІІІ

101213

AB 29.477

AB 29.477