



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **96939** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G01N 31/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 09940**
(22) Дата подання заявки: **10.09.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.02.2015**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.02.2015, Бюл.№ 4**

(72) Винахідник(и):
**Турос Олена Ігорівна (UA),
Ананьєва Оксана Василівна (UA),
Петросян Аріна Агасіївна (UA),
Михіна Людмила Іванівна (UA),
Маремуха Тетяна Петрівна (UA),
Сухачов Дмитро Сергійович (UA)**
(73) Власник(и):
**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА "ІНСТИТУТ
ГІГІЄНИ ТА МЕДИЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ ІМ. О.М.
МАРЗЄЄВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ",
вул. Попудренка, 50, м. Київ, 02660 (UA)**

(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

(57) Реферат:

Спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту включає вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в певних точках сельбищних зон протягом певного часового періоду, з паралельним визначенням кількості одиниць транспорту в одиницю часу, та прогнозування рівнів забруднення. Додатково визначають фізико-географічні параметри, які характеризують територію дослідження. Встановлюють кореляційні зв'язки між рівнями забруднення та даними параметрами. Прогнозують концентрацію пріоритетних забруднюючих речовини за рівнянням регресії.

U
UA 96939

Корисна модель належить до галузі досліджень не біологічних матеріалів хімічними способами в гігієні довкілля, медичній екології та охороні здоров'я, і може бути використана для кількісного визначення забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту при оцінці аерогенного ризику для здоров'я населення та розробці програм профілактики негативного впливу.

Відомий аналог є спосіб оцінки якості повітряного середовища на стаціонарних та пересувних постах спостереження шляхом відбору проб атмосферного повітря у певні часові періоди з визначенням концентрацій досліджуваних забруднюючих речовин за допомогою методів хімічного аналізу (див. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. - М., 1991. - 693 с.).

Недоліком аналога є відсутність можливості врахування просторової неоднорідності забруднення, що обумовлено обмеженою кількістю постів спостереження в межах населених пунктів та, в окремих випадках, низькою репрезентативністю розташування точок вимірювань, що не дозволяє робити точні оцінки і прогнози щодо якості повітряного середовища.

Найбільш близькими аналогом до корисної моделі є спосіб визначення атмосферного забруднення повітря, який ґрунтується на методі експрес-контролю забруднення повітря населеного пункту, шляхом визначення на контрольній ділянці концентрації оксиду вуглецю та кількості автомобільного транспорту в одиницю часу, на основі чого, за попередньо розробленим рівнянням регресії, розраховують чисельні значення концентрацій бензолу і формальдегіду (див. Спосіб визначення атмосферного забруднення повітря. Пат. 286623 Україна, 6 G01N 31/00, опубл. 16.10.2000, бюл. № 5).

Недоліками найближчого аналога є лімітованість за спектром забруднюючих речовин, оскільки він дозволяє оцінити забруднення повітря лише 2 сполуками - бензолом та формальдегідом, та ймовірність неточності оцінок через відсутність можливості врахування вкладу інших факторів у формування концентрацій забруднюючих речовин.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити спосіб визначення та прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту, який дозволяє оперативно і достовірно оцінити забруднення повітря широким спектром речовин з урахуванням розширеного переліку факторів, що впливають на формування концентрацій та просторової неоднорідності поширення забруднюючих речовин в сельбищних зонах.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб включає вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в певних точках сельбищних зон протягом певного часового періоду з паралельним визначенням кількості одиниць транспорту в одиницю часу та прогнозування рівнів забруднення, згідно з корисною моделлю, додатково визначають фізико-географічні параметри, які характеризують територію дослідження, встановлюють кореляційні зв'язки між рівнями забруднення та даними параметрами з подальшим прогнозуванням концентрацій пріоритетних забруднюючих речовин за рівнянням регресії.

Корисну модель виконують наступним чином.

На вибраній для дослідження території у визначених точках спостереження вимірюють осереднені за певний часовий період концентрації пріоритетних забруднюючих речовин, які викидаються автомобільним транспортом. Паралельно з пробовідбором фіксують кількість одиниць транспорту в одиницю часу, структуру транспортного потоку та метеорологічні показники. За допомогою інструментів геоінформаційного аналізу (ГІС системи) створюють електронну карту території дослідження, геоінформаційну модель та базу географічних даних, яка включає інформацію щодо щільності та протяжності автомобільних доріг, розподілу різних типів землекористування, топографічних параметрів території дослідження, щільності проживання населення та ін. На основі створеної бази географічних даних, за допомогою інструментів просторового аналізу ГІС системи, розраховують фізико-географічні параметри (змінні), що описують кожну з точок проведених вимірювань, такі як:

- відстань від точки дослідження до автомобільних доріг різного типу (м), щільність автодоріг в межах попередньо визначених кругових буферних зон різного радіуса (від 50 до 1000 м) від кожної з точок вимірювання, загальна довжина доріг в межах буферних зон різного радіусу (від 50 до 1000 м) на основі даних про мережу автодоріг;

- площа зайнята під житлову забудову та парки, кількість будівель комерційного призначення в межах попередньо визначених кругових буферних зон різного радіусу (від 100 до 1000 м) на основі даних щодо типів землекористування;

- висота над рівнем моря та відстань до найближчого водного об'єкта (м) на основі географічних даних (координати розташування точки в проекції UTM);

- інші змінні на основі доступних даних, що можуть мати вплив на формування концентрацій забруднюючих речовин на досліджуваній ділянці: наприклад, індекс вегетації, що характеризує

ступінь озеленення території, та визначається в межах кругових буферних зон різного радіуса (від 50 до 1000 м).

Розмір буферних зон є критичним для якості та просторового розширення кінцевої моделі та визначається відповідно до сформульованих задач дослідження. Також до переліку змінних включають параметри, що характеризують щільність та структуру транспортного потоку (загальна кількість одиниць транспорту, а також за класифікацією на типи відповідно до вантажопідйомності), метеорологічні показники (температура повітря, відносна вологість, швидкість вітру) та ін., за умови необхідності, наприклад, середня швидкість руху на прилеглий автодорозі (км/год.).

Для створення прогностичної моделі використовують спосіб множинної лінійної регресії (покрокова регресія вперед чи покрокова регресія назад). Спосіб лінійної регресії базується на пошуку взаємозв'язків між існуючим рівнем забруднення Y (концентрації отримані під час виміральної кампанії) та змінними X , що є фізико-географічними параметрами території, шляхом почергового тестування усіх змінних та включає:

- ранжування змінних за ступенем їх кореляції з результатами вимірювань;
- вибір однієї змінної, яка більше ніж інші корелює з отриманими концентраціями, з кожної групи змінних;
- розрахунок коефіцієнтів кореляції між відібраними змінними; виключення змінних, що корелюють між собою ($r \geq 0,6$ за Пірсоном);
- проведення покрокового регресійного аналізу зі змінними, що лишилися;
- виключення з подальшого аналізу змінних, що є статистично не значимими та/чи змінних, знаки коефіцієнтів яких суперечать предметному смислу моделі (судження про направленість взаємозв'язку між величинами: наприклад, концентрація забруднюючої речовини повинна зростати у відповідності із збільшенням щільності дорожнього руху, а не навпаки);
- повторення двох попередніх кроків та вилучення змінних, що вносять менше 1 % доказовості в скориговане значення коефіцієнту детермінації (R^2) остаточної моделі. Кінцевим результатом є модель множинної лінійної регресії у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n,$$

де Y - концентрація забруднюючої речовини; X_1, X_2, \dots, X_n - незалежні змінні, що є параметрами території; b_0, b_1, \dots, b_n - коефіцієнти регресії, які вказують як змінюється функція за зміни аргументу.

Точність моделі оцінюють, як частку дисперсії забруднюючої речовини, що може бути описана корисною моделлю, і виражається у вигляді скоригованого значення коефіцієнта детермінації (R^2), який приймає значення від 0 до 1. Для якісної оцінки коефіцієнта детермінації можливим є застосування шкали Чеддока: 0,1-0,3 - слабкий характер зв'язку, 0,3-0,5 - помірний, 0,5-0,7 - достатній, 0,7-0,9 - високий, 0,9-0,99 - дуже високий. Значення R^2 також може виражатися у відсотках, оскільки коефіцієнт детермінації фактично відображає максимальний відсоток описаної рівнянням дисперсії забруднюючої речовини. Перевірку якості отриманої моделі проводять відповідно до загальноприйнятих підходів регресійного аналізу. Оцінка стійкості моделі виконують шляхом співставлення модельних даних з даними щодо забруднення, отриманими з інших джерел, а також серії тестів крос-перевірки з почерговим виключенням точок вимірювання.

Корисна модель реалізована при визначенні забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту (NO_2), оксидом вуглецю (CO) та твердими зваженими частками різного аеродинамічного діаметра (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_1), що надходять в атмосферне повітря з викидами автомобільного транспорту. Інструментальні вимірювання концентрації зазначених забруднюючих речовин виконували протягом 6 місяців у 30 точках рівномірно розташованих (з коригуванням відповідно до щільності автодоріг та проживання населення) на території Дарницького району м. Києва у пікові ранкові (8:00-11:00) та вечірні (16:00-19:00) періоди. Для кожної з точок дослідження паралельно реєстрували інтенсивність (кількість одиниць транспорту на ділянці дослідження за одиницю часу) та склад транспортного потоку, а також за допомогою мобільної метеостанції фіксували метеорологічні параметри (температура, відносна вологість, швидкість вітру). За допомогою методів геоінформаційного аналізу і картографічних підходів (ArcMap 10.1) розробили геоінформаційну модель та отримали для всіх точок дослідження 40 показників, фізико-географічних параметрів, які характеризували кожну точку дослідження і прилеглу до неї територію та були використані у розробці прогностичної моделі у якості незалежних змінних. У якості основних категорій змінних виділили наступні:

- характеристики транспортного потоку (загальна кількість транспорту, кількість легкових авто, авто масою до 3500 т та пасажирських автобусів, а також чисельність вантажних автомобілів; середня швидкість руху на прилеглий автодорозі (км/год.));

- дороги (відстань до найближчої дороги (м): регіонального значення, магістральної вулиці міського значення, магістральної вулиці районного значення, магістральної дороги, дороги/вулиці місцевого значення; довжина доріг у кругових буферних зонах радіусом від 25 до 1000 м);

5 - категорії землекористування (кількість житлових будинків у кругових буферних зонах (радіусом 100, 300, 500 м); площа (м²): парків та лісових масивів і територій зайнятих житловою забудовою у кругових буферних зонах (радіусом 100, 300, 500, 1000, 3000 м);

- географічні дані (висота над рівнем моря (м), відстань до найближчого водного об'єкта (м));

- метеорологічні параметри (температура (°C), відносна вологість (%), швидкість вітру (м/с));

10 - інші (індекс вегетації у кругових буферних зонах радіусом 50, 100, 300, 500, 1000 м).

Відповідно до запропонованого способу, встановили достовірні кореляційні зв'язки між концентраціями всіх досліджуваних речовин і характеристиками транспортного потоку, показниками категорій землекористування, окремими метеорологічними параметрами, та розробили рівняння прогнозування забруднення на основі методу множинної лінійної регресії (див. табл.).

Таблиця

Рівняння моделей прогнозування концентрацій
NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5} і PM₁ та відповідні коефіцієнти детермінації (R²)

Забруднююча речовина	Рівняння лінійної регресійної моделі*	R ²
Діоксид азоту	$LUR(NO_2) = 0,16 + 8,49E-08 \times TRAFLOAD - 2,70E-05 \times DISTJTROAD + 3,00E-05 \times ROAD_LENGTH100 - 1,20E-07 \times RESID300 - 1,34E-08 \times PARK3000$	0,90
Оксид вуглецю	$LUR(CO) = -0,47 + 2,6E-05 \times TRAFLOAD_L - 3,08E-03 \times RH + 7,54E-03 \times ROAD_LENGTH50 - 1,55 \times NDVI100$	0,77
PM ₁₀	$LUR(PM_{10}) = 24,19 + 9,54E-04 \times TRAFLOAD - 1,29E-02 \times DIST_SROAD + 8,57E-03 \times ROAD_LENGTH300 + 4,15 \times WIND$	0,59
PM _{2,5}	$LUR(PM_{2,5}) = -1,38 + 3,47E-03 \times TRAFLOAD - 1,49E-03 \times DIST_TRROAD + 4,65E-04 \times ROAD_LENGTH1000 - 1,89E-06 \times PARK1000$	0,79
PM ₁	$LUR(PM_1) = -1,50 + 3,42E-03 \times TRAFLOAD - 7,36E-04 \times DIST_SROAD + 3,73E-04 \times ROAD_LENGTH1000 - 2,68E-06 \times PARK1000$	0,81

* Використані у моделях позначення:

LUR() - позначення функції рівняння регресії;

20 TRAFLOAD - загальна кількість одиниць транспорту;

TRAFLOADL - кількість легкових авто;

ROAD_LENGTH50 - довжина доріг у радіусі 50 м;

ROAD_LENGTH100 - довжина доріг у радіусі 100 м;

ROAD_LENGTH300 - довжина доріг у радіусі 300 м;

25 ROAD_LENGTH1000 - довжина доріг у радіусі 1000 м;

DISTSROAD - відстань до магістральної дороги;

DIST TROAD - відстань до дороги / вулиці місцевого значення;

RESID300 - площа територій із житловою забудовою у радіусі 300 м;

PARK1000 - площа парків та лісових масивів у радіусі 1000 м;

30 PARK3000 - площа парків та лісових масивів у радіусі 3000 м;

WIND - швидкість вітру;

RH - відносна вологість;

NDVI100 - індекс вегетації у радіусі 100 м.

35 Як видно з таблиці, інтенсивність транспортного потоку, відстань до найближчих автодоріг різного типу, а також довжина доріг у радіусі 50, 100, 300 та 1000 м були визначальними та увійшли до прогностичної моделі кожної із забруднюючих речовин. Остаточні моделі дозволили оцінити від 60 до 90 % варіабельності концентрацій: R²=0,91 для NO₂, R²=0,77 для CO, R²=0,59 для PM₁₀, R²=0,79 для PM_{2,5} та R²=0,81 для PM₁. Оцінка стійкості запропонованих моделей на основі порівняння даних додаткових натурних вимірювань та змодельованих концентрацій показала достатню точність результатів. Для концентрацій діоксиду азоту запропонована модель достовірно оцінила рівні забруднення у заданих точках дослідження, однак у окремих випадках розрахункові концентрації були нижчими від отриманих під час вимірювань. Відносна

середня різниця між концентраціями за абсолютними показниками склала 3,3 % та не перевищувала 8 % за абсолютним значенням. Модель прогнозування концентрацій оксиду вуглецю дещо переоцінила забруднення для окремих точок дослідження, проте, в цілому, відносна середня різниця між концентраціями за абсолютними показниками не перевищувала 10 %. Для зважених часток PM_{10} відносна середня різниця між змодельованими концентраціями та даними натурних досліджень не перевищувала 16 %. Незважаючи на високі показники детермінації моделей $PM_{2,5}$ та PM_{10} , змодельовані концентрації були дещо завищеними по відношенню до даних проведених натурних вимірювань. Відносна середня різниця між змодельованими концентраціями та даними натурних досліджень не перевищувала 13 % та 12 % для $PM_{2,5}$ та PM_{10} відповідно.

Зважаючи на зазначене, розроблені рівняння регресії для концентрацій діоксиду азоту, оксиду вуглецю та зважених часток є стійкими прогностичними моделями, що дозволяють оцінити від 60 до 90 % варіабельності забруднення атмосферного повітря, обумовленого викидами автомобільних транспортних засобів, в межах сельбищних зон Дарницького району м. Києва.

Корисна модель дозволяє розробити прогностичну модель для будь-якої забруднюючої речовини, яка може бути використана для встановлення рівнів забруднення атмосферного повітря, а також оцінити просторову варіабельність концентрацій в межах сельбищних зон міст, побудувати карти забруднення території дослідження, що забезпечує високу точність оцінки експозиції населення для подальших ризикових та епідеміологічних досліджень. Корисна модель відзначається гнучкістю та дозволяє використовувати будь-які фізико-географічні параметри території у якості вхідних даних, що робить його доступним у застосуванні.

Використання корисної моделі розширює можливості гігієнічної оцінки впливу забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на здоров'я населення та може бути впровадженом при розробці управлінських заходів, орієнтованих на покращення якості атмосферного повітря та стану здоров'я населення міст.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту, що включає вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в певних точках сельбищних зон протягом певного часового періоду, з паралельним визначенням кількості одиниць транспорту в одиницю часу, та прогнозування рівнів забруднення, який **відрізняється** тим, що додатково визначають фізико-географічні параметри, які характеризують територію дослідження, встановлюють кореляційні зв'язки між рівнями забруднення та даними параметрами з подальшим прогнозуванням концентрацій пріоритетних забруднюючих речовини за рівнянням регресії.

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601