

# МЕТОД ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНИХ У ПРОСТОРІ ОБ'ЄКТІВ ПО ЇХ СУМАРНОМУ ВПЛИВУ В ОДНІЙ ТОЧЦІ

УДК 004.9+616.248

## МОКІН Віталій Борисович

д.т.н., професор, завідувач кафедри системного аналізу,  
комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет  
Наукові інтереси: інформаційні технології, кібернетика, системний аналіз,  
моделювання, управління складними системами різної природи, DataMining.  
E-mail: vbmokin@gmail.com

## ВУЖ Тетяна Євгенівна

аспірант Вінницького національного технічного університету,  
старший викладач кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики,  
Вінницький національний медичний університет ім. М.І.Пирогова  
Наукові інтереси: інформаційні технології, моделювання та оптимізація систем,  
просторово-хронологічні моделі, аналіз великих даних.  
E-mail: tatiana.vuzh@gmail.com

## ВСТУП

Важливим класом кібернетичних об'єктів є стаціонарно розташовані в просторі об'єкти різної природи, які здійснюють вплив на інші об'єкти, але характеристики цього впливу зазнають змін, як у часі, так і у просторі. Класичними прикладами таких систем є стаціонарні джерела викидів та скидів вод підприємств, місця видалення відходів та хімієзабруднення, ареали рослин, місця для паркування автомобілів тощо. Звичайно й ці об'єкти з часом можуть змінювати свої координати, але в даній статті розглядається випадок, коли протягом періоду моделювання можна вважати, що координати кожного такого об'єкту є незмінними або незначними у порівнянні з відстанню, на якій відчувається його вплив.

Під впливом мається на увазі ситуація, коли характеристики цих об'єктів (назвемо їх «впливові об'єкти») вносять зміни у характеристики інших об'єктів, наприклад викиди в повітря різних підприємств збільшують вміст забруднювальних речовин у навколишньому середовищі.

Найбільш важливою задачею є не стільки моделювання впливу об'єктів на інші (це – досить стандартизовані задачі, у кожній країні існують різні методики, як це слід здійснювати, наприклад, для того, щоб підприємство могло отримати дозвіл на викиди чи скиди вод тощо), скільки розв'язання зворотної задачі – оцінювання параметрів цих об'єктів за даними регулярного моніторингу у навколишнього середовищі. Як правило, неможливо біля кожного об'єкту поставити пост моніторингу ще й з усіх боків цього об'єкту на випадок різного напрямку впливу (наприклад, вітру, який відносить забруднення). Кількість таких постів є значно меншою, ніж кількість впливових об'єктів. І з'являється задача: як за даними у моніторингу довкілля можна оцінити параметри об'єктів, які на нього впливають. Це дозволяє як знайти місце розташування та оцінити параметри невідомих до того впливових об'єктів, так і уточнити чи перевірити достовірність відомих параметрів впливових об'єктів. Такими задачами займаєть-

ся багато вчених у різних країнах[1–7]. Однак, найскладнішим випадком цієї задачі є випадок, коли на досить великій території (в радіусі 250-500 км) має місце лише один пост регулярних спостережень, на який впливає невідома кількість об'єктів, про які невідомі ніякі параметри, але стоїть задача здійснити оцінювання хоча б координат центрів їх місць розташування, радіусів активної зони та інтенсивності функціонування. У даній роботі буде розглядатись саме такий випадок, на прикладі оцінювання параметрів ареалів цвітіння амброзії, алергенний пилок якої переноситься вітром і уловлюється одним із постів Європейської аеробіологічної мережі.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У світі функціонує розгалужена мережа аеробіологічного моніторингу, найбільшими складовими якої є Європейська Аеробіологічна Мережа (англ. – EAN) та Американська Академія Алергії, Астми та Імунології (англ. – AAAAI). В EAN зареєстровано 38 країн, 686 міст та понад 6000 пунктів спостереження за пилом у всій Європі, у т.ч. в Україні [3].

Метою аеробіологічного моніторингу є визначення просторо-хронологічних закономірностей поширення та прогнозування пилку в повітрі для оцінювання його впливу на вразливі до алергії верстви населення. Таке своєчасне прогнозування дасть можливість приймати рішення для зменшення чи усунення ризику негативного впливу алергенного пилку на людей.

Найбільш ефективним програмно-інформаційним засобом моделювання поширення пилку в Європі є фінська система інтегрованого моделювання атмосферного складу (англ. – SILAM)[4, 5]. Вона дозволяє здійснювати просторово-часове моделювання і прогнозування цвітіння рослин та вивільнення алергенного пилку у повітрі Європи, виявлення певних закономірностей тощо. Але для того, щоб достовірно оцінити концентрацію пилку на території країни необхідна велика кількість пунктів моніторингу. У статті [4] відзначається, що, через погано розвинену мережу EAN в Україні (пости в останні роки є тільки у містах Київ, Вінниця, Запоріжжя та Львів [6]), на сході Європи досі не є можливим застосування SILAM для задач моделювання і прогнозування, тобто слід використовувати менш точні, оціночні підходи. При цьому варто максимально вико-

ристовувати наявні результати досліджень у цій сфері, зокрема феноменологічну модель продукування пилку протягом доби, наприклад для амброзії вона добре описана у роботах [4-7].

Таким чином, актуальною є задача: розробити метод просторово-часового оцінювання параметрів (координат місць розташування та інтенсивності) стаціонарних у просторі об'єктів по їх сумарному впливу, вимірюваному в одній точці, за даними регулярних спостережень та моделями процесів у типовому такому об'єкті.

### РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ

Ідея розв'язання поставленої задачі полягає в тому, що використовується відома математична феноменологічна модель для типового впливового об'єкту. На прикладі моделювання пилку амброзії ця модель описує продукування пилку ареалом протягом доби[4, 5]. За різні роки, щодо яких робиться припущення про незмінні координати та параметри ареалу, аналізуються дані моніторингу та вибирається період найбільш активного та стабільного впливу (функціонування, цвітіння та продукування пилку тощо). Проводиться формалізація задачі у просторі та у часі. Аналізуються спільні закономірності та кожен ряд спостережень на посту моніторингу розглядається як сумарний вплив різних ареалів за певних метеоумов. Далі за різними методами відшукуються параметри феноменологічної моделі з однаковою структурою і потім по цих параметрах моделі оцінюються параметри самих впливових об'єктів.

Одразу зазначимо ряд припущень та обмежень застосування методу, що розробляється:

- модель, яка описує процеси в об'єкті, є нелінійною (інакше не можна буде по сумарному ряду виявити його складові, які є результатом впливу окремих об'єктів);
- проміжок часу, в який має місце вплив об'єкта протягом доби у період найбільш активного протягом року та стабільного впливу для певного регіону, метеоумов і дати відомий досить точно і він не охоплює всю добу – саме це й дозволяє оцінювати координати впливового об'єкта по моменту початку та моменту завершення цього проміжку часу;
- на пост має місце вплив тільки з просторово зосереджених об'єктів, які аналізуються (вплив просторово розосереджених об'єктів може й бути, але незначний, у

порівнянні із просторово зосередженими об'єктами) – саме пошук координат цих об'єктів і є метою даної статті.

Опишемо процес формалізації постановки задачі на прикладі моделювання поширення пилку амброзії в атмосферному повітрі за даними посту EAN у м. Вінниця, розташованого у Вінницькому національному медичному університеті ім. М.І.Пирогова (ВНМУ).

**1. Вибір системи координат.** Систему координат слід вибирати таким чином, щоб максимально ефективно можна було врахувати вплив усіх об'єктів на пост

моніторингу. Наприклад, для моделювання забруднення річки, як правило, вибирається одновимірною декартова система координат, спрямована уздовж її усередненої течії[2]. Для моделювання процесів в атмосферному повітрі традиційно вибирають полярну (або – для врахування викидів підприємств – циліндричну) систему координат [7]. Для задачі моделювання пилку у кожному секторі навколо поста моніторингу ВНМУ пропонується схема, показана на рис. 1.

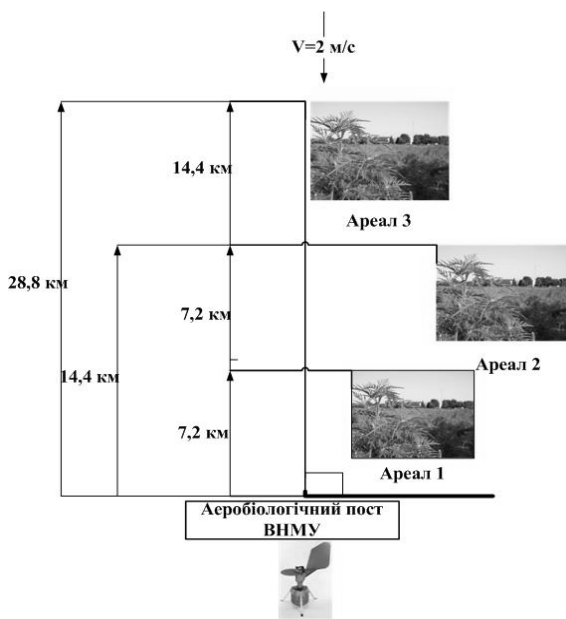


Рис.1. Схема розташування арелів поширення алергенного пилку

**2. Побудова моделі формування впливу об'єкту.** Охарактеризуємо вирішення цієї задачі на прикладі моделі цвітіння або продукування пилку протягом доби. У роботі [4]описана загальна динаміка продукування пилку амброзії протягом доби у період найбільш інтенсивного протягом року цвітіння (палінації). Зокрема, відзначено, що цей процес є біомодальним, тобто має два чітких піки зранку та вдень. Описано по хвилинах коли він починається після сходу

сонця, коли перший пік, коли другий. У роботі [6, рис. 5] наведено цілий ряд експериментально зібраних даних, в залежності від вологості, які є типовими для ряду широт і які можна, у першому наближенні, застосувати до поста у м. Вінниці. Важливо відмітити, що у роботі [6] спостереження здійснюються через кожну годину (точніше, здійснюються вони неперервно на приладі накопичувального типу, але підрахунок пилку здійснюється за кожну годину, а на пості у м. Вінниці –

за кожні 2 години, тому графіки на рис. 5 роботи [6] були нами перераховані на 2-годинний інтервал (рис. 2), що дозволило позбутися бімодальності, але функція все одно залишилась нелінійною.

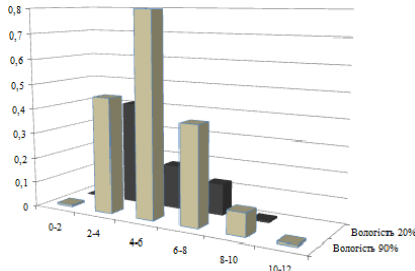


Рис. 2. Перерахований графік виділення пилку амброзії при вологості 20% і 90% на 2-годинний інтервал

У роботі [4] вказується, що продукування пилку, як правило, описується логістичною кривою, але експерименти показали, що похибка апроксимації є значною (особливо на спадній ділянці після піку суттєво відрізняється від логістичної), тому пропонується інший підхід – не інтерполювати криву, а використовувати типовий набір експериментальних даних,  $i = 1, 2, \dots, N$  (наприклад пилку амброзії, що продукується сумарно за кожні 2 години протягом доби) як «маску», яку «прикладати» потім до кожного реального графіку значень носія впливурії лише припасовувати її хоча б по висоті, яка визначається піковим протягом доби значенням:

$$p_i = Iy_i, i = \overline{1, N} \quad (1)$$

де  $I$  – це інтенсивність впливового об'єкта.

Такий підхід дозволяє обробляти довільні функції без попереднього їх апроксимування. Це є важливим, адже, зазвичай дуже складно або й неможливо апроксимувати складну нелінійну криву лише по 4 нульових точках експериментальних даних, оскільки складна крива, зазвичай має більше, ніж 2-3 параметри.

### 3. Побудова моделі поширення впливу

Сформований об'єктом носій впливурідалі переноситься від об'єкта до посту моніторингу під дією інших факторів, наприклад, пилки і викиди підприємств розлітаються під дією вітру, скиди вод у річку – водою

річки у напрямі її течії тощо [1-4]. На цьому етапі слід побудувати модель поширення носія впливу у часі та у просторі. Щодо пилку, то, в загальному випадку, це має бути складна модель на кшталт SILAM, яка враховує метеоумови на різній висоті та взаємовплив різних шарів атмосфери один на інший, але у першому наближенні можна використовувати просту модель про те, що носій впливу поширюється у повітрі просто зі швидкістю  $v$ , зокрема на прикладі поширення пилку амброзії це може бути залежність:

$$v_n = f(v), \quad (2)$$

де  $f(v)$  – функція, яка описує поширення пилку в атмосферному повітрі зі швидкістю вітру  $v$  з урахуванням впливу різних факторів; в найпростішому випадку, будемо вважати, що її можна описати лінійною залежністю:

$$f(v) = k_n v, \quad (3)$$

де  $k$  – певний коефіцієнт, який враховує дію факторів (метеофакторів, міської забудови, рельєфу, аеродинамічних особливостей пилку тощо), які «пригальмовують» поширення пилку у повітрі ( $0 < k \leq 1$ ).

3. Уточнення постановки задачі. Слід більш детально дослідити просторово-хронологічні закономірності явища, яке моделюється, та уточнити постановку задачі. Здійснимо це на прикладі моделювання пилку амброзії. Як описано у роботах [4-6], під час періоду найбільшої палінації (цвітіння) має місце типова форма функції, яка описує процес продукування пилку, подана на рис. 2. Тобто майже через 2 години після сходу сонця кожен ареал регіону починає продукувати пилки з відповідною цьому ареалу середньою інтенсивністю  $I$ . Через певний час, який залежить від вологості повітря, продукування припиняється [6]. Але важливою є відстань від кожного ареалу до поста моніторингу. Спочатку до нього долітає «свіжий» пилки з найближчих ареалів, потім з більш віддалених (див. рис. 1). Важливо, що пилки може фіксуватись протягом усієї доби, у т.ч. вночі, але це буде «учорашній» пилки із дуже віддалених ареалів.

Оскільки швидкість вітру на метеопостах України визначається з точністю до 1 м/с, а пилки – кожні дві години, тобто швидкість пилку можна, теоретично, визначити, з урахуванням (3), кратно відстані 3,6к км,

то відстань у полярних координатах (див. рис. 1) пропонується визначати з такою ж кратністю:

$$r_m = 7,2mk_n \quad (4)$$

де  $m$  – номер кроку від поста, який визначається часом, що пролітає пилкок за 2 години за швидкості вітру 1 м/с. Власне кажучи, задача зводиться до визначення цього  $m$  для кожного ареалу.

Варто зупинитись на ряді важливих для моделювання аспектів:

1. Відносно однакові умови збирання даних. Слід враховувати стохастичний характер процесів та той факт, що за суттєво різних умов процес може відрізнатись від типового (див. рис. 2). Слід виділяти такі особливі режими і моделювати їх окремо. Наприклад, для задачі моделювання пилку особливими режимами є періоди опадів. Тому перед обробкою даних слід відфільтрувати усі дані, які були зібрані в дощ.

2. Врахування періодичності явища, що розглядається. Сезонність вже врахована тим, що дані відбираються тільки у періоди найбільшої активності, але для більшості процесів класу об'єктів, який розглядається у цій статті, ще й має місце добова періодичність.

3. Розмежування оцінювання напрямку та відстані до об'єкту. Пропонується послідовно оцінювати кут сектору та відстань, на якій розташований об'єкт

відносно посту моніторингу. Для цього слід спочатку з сумарного ряду значень на посту моніторингу виокремити тільки ті дані (впливи), які були принесені вітром з певного напрямку. Напрямок вітру на метеопостах України визначається з точністю до 10 градусів, тому саме за такими секторами, не меншими 10 градусів, і пропонується формувати вибірки (відлік градусів в метеорології починається з північного напрямку за годинниковою стрілкою і показує напрям, з якого, а не в який, дує вітер).

4. Збільшення вибірки даних. Досвід показує, що звуження умов збирання даних, виокремлення даних з одного сектору тощо, призводить до формування досить малих вибірок даних, недостатніх для аналізу (лише 2-5 точок на рік). З метою збільшення вибірки для аналізу пропонується, по-перше, брати до уваги декілька послідовних років, щодо яких є коректним припущення про те, що основні ареали не змінили свого місцезнаходження. А по-друге, у разі отримання малих вибірок з певного напрямку пропонується збільшувати кут сектору з 10 до 20, 30 і більше градусів.

5. За реальних умов, поширення носія впливу здійснюється не по прямій. Як видно з рис. 3 зі статті [7], поки пилкок дістанеться від ареалу до посту моніторингу, може пройти чимало часу і на цьому шляху вітер може зазнати змін і напрямку, і сили.

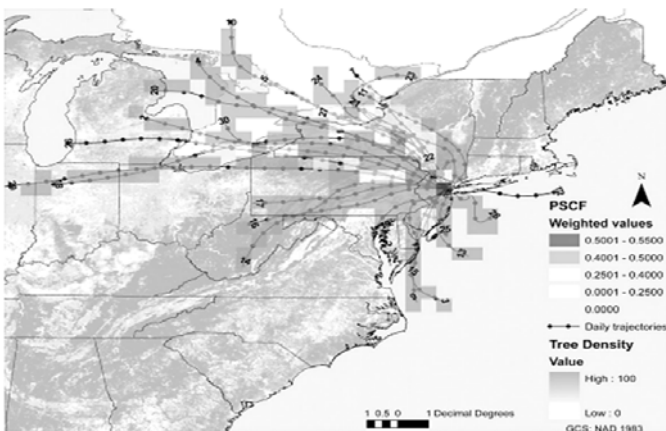


Рис. 3. Траєкторії зміни напрямку вітру біля одного поста моніторингу [7]

Те саме для річок – динаміка та усереднена швидкість течії і процеси перемішування у річці є різними уздовж різних берегів, на різній глибині, біля водогосподарських споруд тощо, тобто носій впливу, який надходить у фарватер в одному створі, але з різних берегів чи на різній глибині, може дістатись до посту моніторингу за різний час. А це, в результаті призведе до деформування типової структури моделі (1). І чим більш віддаленим є ареал, тим більшою може бути ця деформація. За цих умов пропонується замінювати точку (експериментально виміряне значення) інтервалом, ширина якого пропорційна оцінці сумарного відхилення шляху, який пролетів носій впливу від ареалу до посту моніторингу, від прямого шляху між ними. В загальному випадку, точність визначення довжини цього шляху досить невисока, оскільки напрям і сила вітру між метеопостами визначається розрахунковим шляхом. Тому краще просто вводити певний коефіцієнт невизначеності, який автоматично робить більш широким інтервал точок, вимірних у більш пізній час доби.

6. Розмитість меж ареалів. Навіть, у разі точної ідентифікації кривої (1) з урахуванням її деформованості для віддалених об'єктів, не має гарантії, що ареал буде ідентифіковано точно, оскільки дискретність вимірювань таких процесів, як правило, суттєво перевищує, період, за який можуть змінюватись різні параметри явища (наприклад, напрям і сила вітру може змінюватись щохвилини). Крім того, експериментальних даних по багатьох секторах може бути недостатньо для отримання достовірних результатів. За цих умов пропонується перебрати якомога більше варіантів різних ситуацій (сектори по 10, по 20, 30, 40 градусів), різні варіанти можливих деформацій графіку (1) для віддалених регіонів та ін. і для кожного визначити можливі ареали. Все це нанести на карту у вигляді еліпсів. Результатом буде сукупність еліпсів, межі яких будуть перекриватись чи збігатись. Чим більше таких еліпсів буде в певній точці, тим більша достовірність того, що там дійсно має місце ареал. Інтенсивність пропонуємо визначати, як середню (або максимальну) для ареалів, що перекриваються у заданій точці. Інший спосіб – ареалом вважати межу, яка охоплює зовнішню межу сукупності ідентифікованих ареалів, розташованих не далі заданої мінімальної відстані, наприклад 0,5-

1 км. Такий аналіз можна здійснити з використанням геоінформаційних технологій.

Алгоритм застосування методу пропонується у вигляді (за умови попередньої ідентифікації параметрів моделей (1)-(4) для поставленої задачі дослідження):

1. Дані посту моніторингу доповнити метеоданими як по цьому, так і по сусідніх метеопостах (для оцінювання траєкторій – див. рис. 3) та підготувати до вигляду, придатного до аналізу (очистити від помилкових даних та ін.).

2. Відфільтрувати дані, зібрані у спеціальних режимах (наприклад дані, зібрані під час опадів).

3. Сформувати вибірку, яка відповідає періоду найбільш активного та стабільного впливу на пост моніторингу.

4. Визначити періодичність явища (як правило – доба).

5. Або за певним алгоритмом, або просто в циклі перебрати усі можливі варіанти напрямків впливу (для забруднення повітря пилок чи речовинами – сектори по 10, 20, ... 90 градусів) та сформувати такі, по яких є не менше певної кількості значень (наприклад, 5-10).

6. Оцінити ступінь деформованості моделі (1) у кожному значенні отриманих у п. 5 вибірок даних.

7. Провести апроксимацію кожної вибірки одним із відомих методів. Найпростіше можна визначити максимальне значення і припасувати до нього криву (1). Потім від значень вихідного ряду відняти ті, що інтерпольовані (враховані) цією кривою. Серед значень-залишків знов визначити максимальне і повторити процедуру. Повторяти цю процедуру до тих пір, поки максимальне значення у залишку не буде перевищувати певне граничне значення  $\varepsilon$ . Ця процедура суттєво ускладнюється тим, що, через зміну напрямку вітру, рідко є усі послідовні значення кривої (1). Треба по декількох точках даних спостережень визначити на яку частину кривої (1) це більше схоже (найкраще це робити по піку, але іноді пік може бути розташований і між точками спостережень, тобто припадати на 5 годин, а не на 4 чи 6). І ще слід враховувати варіанти деформованості кривої (1). Пошук оптимальних варіантів апроксимації, за таких умов – це предмет окремого дослідження.

8. В результаті апроксимації кривою (1) кожної вибірки по цій кривій визначаються 3 параметри: інтенсивність і та моменти часу, які відповідають першому і останньому

значенням, не меншим певного порогу  $\xi$ , тобто момент  $T_1$ , коли вплив вже став відчутний на посту моніторингу (пилкок долетів), і момент  $T_2$ , коли вплив вже не відчутний (пилкок більше не долітає), відповідно. Далі по цих моментах часу, знаючи середню швидкість вітру від початку спостережень за цю добу уздовж відповідної траєкторії (див. рис. 3), вирахувати відстань  $r_1$  до початку та  $r_2$  до завершення межі ареалу.

9. Знаючи кут напрямку і сектор для кожного ідентифікованого ареалу, між цими точками  $r_1$  та  $r_2$  провести еліпс та знайти його координати (середній кут і середнє арифметичне між  $r_1$  та  $r_2$ , км).

Задача розв'язана.

Приклад розв'язання задачі та перевірка працездатності методу.

Продемонструємо працездатність розробленого методу на прикладі розв'язання задачі для оцінювання

параметрів ареалів пилку амброзії за даними поста ЄАНУ м. Вінниця.

Аеробіологічний пост моніторингу наявності пилку в атмосфері міста (пристрій Burkard) знаходиться на даху фармацевтичного корпусу ВНМУ. Пристрій фіксує вміст пилку у повітрі кожні 2 години [8]. До найближчого посту EAN, розташованого у м. Києві – 270 км.

Аеробіологічна лабораторія ВНМУ надала інформацію про вміст пилку у повітрі за 2013-2014 роки. Ця інформація була доповнена відповідними метеоданими. Були відфільтровані усі 2-годинні дані, зібрані під час опадів. Авторами написана програма на R, яка автоматизує формування вибірок та розрахунки за запропонованим методом. На рис. 4 подано графіки вибірок пилку амброзії біля м. Вінниця за різні дні 2014 року (у відносних одиницях разом із значеннями кута «Angle» у градусах та середньої швидкості вітру «AWS», м/с).

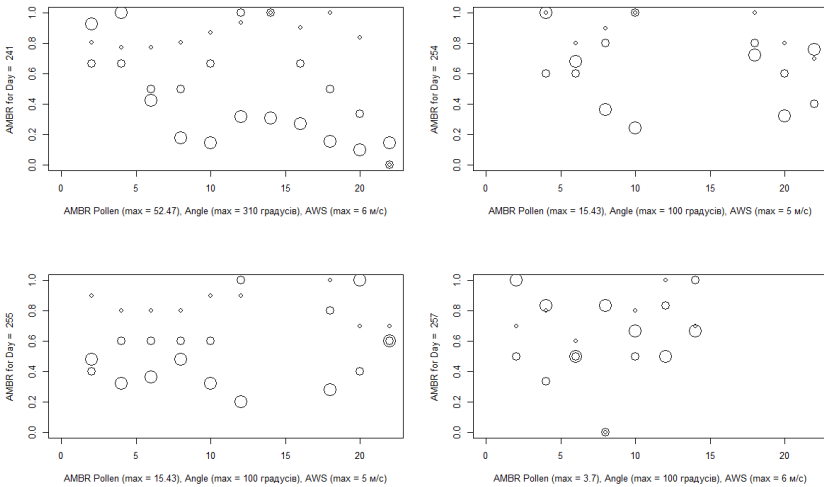


Рис. 4. Графіки значень пилку амброзії (великі кола) за даними поста Європейської аеробіологічної мережі у м. Вінниця за 241-й, 254-й, 255-й та 257-й дні 2014 року (у відносних одиницях разом зі значеннями кута «Angle» у градусах та середньої швидкості вітру «AWS», м/с, під графіком вказано яке значення відповідає рівню 1,0, тобто є максимальним значенням вибірки)

Проведена апроксимація за кривими (1) з рис. 2. Наприклад, одна з найбільших і схожих на криву (1) вибірок даних із піковою інтенсивністю продукування пилку 7,41 має місце у 255-й день (12.09.2014 р.), коли вітер дує з напрямку 80-90 градусів, тобто зі сходу. І ця

вибірка починається майже одразу за класичним графіком (тобто  $T_1 = 0-1$  год.), що означає, що джерело розташовано майже поряд із постом моніторингу (більшу точність при швидкості вітру 3 м/с і 2-годинному інтервалі вимірювань вказати важко). У

той же час, з попередніх досліджень, проведених у 2014 році (з картуванням за даними Вінницької обласної фітоінспекції та Вінницької міськради і натурних спостережень), якраз там і було виявлено найбільше джерело амброзії у м. Вінниці у той рік [9] (рис. 5). Такий збіг доводить працездатність розробленого методу.



Рис. 5. Карта ареалів амброзії у м. Вінниці у 2014 р., побудована за даними Вінницької обласної фітоінспекції та Вінницької міськради і натурних спостережень [9]

## ВИСНОВКИ

Стаття присвячена проблемі просторово-часового оцінювання параметрів стаціонарних у просторі об'єктів за даними регулярного моніторингу. Зокрема, розглянуто найбільш складний варіант задачі, коли пост моніторингу лише один, а об'єктів – багато і єдина апіорна інформація про них – це структура нелінійної феноменологічної моделі, яка описує процеси, які відбуваються у кожному із них. Це дозволяє як знайти місце розташування (координати меж та центру) та

оцінити параметри невідомих до того впливових об'єктів, так і уточнити чи перевірити достовірність відомих параметрів впливових об'єктів. У даній роботі продемонстровано роботу запропонованого методу на прикладі оцінювання параметрів ареалів цвітіння амброзії, алергенний пилок якої переноситься вітром і фіксується одним із постів Європейської аеробіологічної мережі (EAN), найближчий до якого розташований на відстані 270 км.

У статті авторами запропоновано формалізацію задачі та приділено увагу ряду важливих її особливостей, щодо яких внесено пропозиції як саме їх враховувати та які при цьому можуть бути проблеми і як їх усувати. Зокрема, врахування деформованості типової моделі об'єкта, через різну відстань долання носії впливу від об'єкта до поста моніторингу у різний час. Запропоновано, у першому наближенні, враховувати цю деформованість коефіцієнтом, що враховує можливу невизначеність, пропорційним часу доби після початку процесів на об'єкті протягом доби (для пилку амброзії – після сходу сонця).

Усі математичні, методичні, алгоритмічні методи деталізовано і потім перевірено на прикладі задачі моделювання поширення пилку амброзії за даними EAN у пості, розташованому у місті Вінниці. За запропонованим методом було виявлено ареал амброзії, що збігається із результатами натурних спостережень та даних державної системи фітоконтролю попередніх років і це свідчить про працездатність та ефективність запропонованого методу.

Також, зазначено яким чином запропонований метод може бути застосований і для інших задач, наприклад оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів та скидів вод підприємств тощо.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. V.B. Mokin, D.YU.Dzyunyak. Metodotsinky parametriv statsionarnoho dzerela vykydu na osnovi modeli Haussa zadanyim operativnoho monitorynhu zony rozsiyuvannya // Matematychnye modelyuvannya v ekonomitsi. – № 1 – s. 27-35.
2. Mokin V.B. Matematychni modeli kontrolyu ta upravlinnya yakystyu richkovykh vod. Monohrafiya. – Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsya, 2005. – 171 s.
3. H. YU. Mayeyeva, O.B. Prykhod'ko. Analiz osoblyvostey ta asymetriyi rozpodilu pilkuambroziiypodnyakhpalintsiyi u povitrimistazaporizhzhya // Naukovyyzhurnal «ScienceRise: BiologicalScience» -№4 (7). – 2017.
4. MarjePrank.An operational model for forecasting ragweed pollen release and dispersion in Europe / Marje Prank, Daniel S. Chapman, James M. Bullock, Jordina Belmonte and others// Agricultural and Forest Meteorology. -Volumes 182–183. – 15 December 2013 – pp. 43-53. – doi <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.08.003>



5. Sofiev M. A numerical model of birch pollen emission and dispersion in the atmosphere. Description of the emission module / M. Sofiev, P. Siljamo, H. Ranta, T. Linkosalo, S. Jaeger, A. Rasmussen, A. Rantio-Lehtimaki, E. Severova, J. Kukkonen//Int. J. Biometeorol. – 57 (2013). – pp. 45–48. – doi10.1007/s00484-012-0532-z.
6. Michael D. Martin. Anthesis synchronization and floral morphology determine diurnal patterns of ragweed pollen dispersal / Michael D. Martin, Marcelo Chamecki, Grace S. Brush // Agricultural and Forest Meteorology. – 150 (2010). – 1307–1317. – doi 10.1016/j.agrformet.2010.06.001.
7. Christos Efstathiou. A mechanistic modeling system for estimating large-scale emissions and transport of pollen and co-allergens / Christos Efstathiou, Sastrylsukapalli, PanosGeorgopoulos//Atmospheric Environment. – 45 (2011). – pp. 2260-2276 – doi10.1016/j.atmosenv.2010.12.008.
8. Mokin V.B. The improvement of the volumetric monitoring system to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the city atmosphere/ V.B. Mokin, V.V. Rodinkova, T.Y. Vuzh, W. Wójcik, S. Sailarbek//PrzeglądElektrotechniczny. – 93 (5), 2017. – pp. 87-91.
9. Mokin V.B. Identyfikatsiya ta vidobrazhennyarayonivkarantynnykhroslyn u Vinnyts'kiyoblasti / V.B.Mokin, V.A.Tsymbalyuk // KolektsiyaMaterialyMizhnarodnoyinaukovoyikonferentsiyi "Nauka. Molod". Ekolohiya "v ramkakh I Ukrayins'koyimolodiKonhresyekolohiv z mizhnarodnoyuchastyu. 21-23.05.2014 – s. 242-248.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Кулик А.Я.  
Завідувач кафедри  
Біологічної фізики, інформатики  
та медичної апаратури  
ВНМУ ім. М.І.Пирогова