

В. Б. Мокін¹
В. В. Родінкова²
М. В. Дратований¹

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АЛЕРГЕННИХ СПОР ГРИБІВ *ALTERNARIA*

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

Для прогнозування розповсюдження спор алергенних грибів, які здійснюють негативний вплив на здоров'я значної кількості жителів планети, необхідно синтезувати прогнозні математичні моделі, що пов'язують між собою в часі концентрацію спор алергенних грибів, розповсюджуваних в результаті переміщення повітряних мас, яка є вихідною координатою моделі, та супровідних метеорологічних факторів, таких як швидкість вітру, температура навколишнього середовища, вологість повітря та низка інших факторів, які є вхідними координатами моделі. Для визначення структури та ідентифікації параметрів таких прогнозних математичних моделей необхідні результати експериментального дослідження взаємозв'язків між усіма цими координатами, які у своєму первинно отриманому вигляді не можуть бути використаними безпосередньо для ідентифікації вказаного вище класу математичних моделей, оскільки носять нестационарний стохастичний характер. В результаті оброблення експериментальних даних досліджень, проведених на базі Вінницького національного медичного університету, отримано характеристики нестационарних стохастичних координат, що характеризують процес розповсюдження спор алергенних грибів. Такими характеристиками є стаціонаризація координат за рахунок переходу від їх вимірних значень до приростів та коефіцієнти кореляції і автокореляційні та взаємні кореляційні функції, розраховані відносно приростів усіх врахованих координат. Результати досліджень в подальшому можуть бути використані для синтезу прогнозних математичних моделей.

Ключові слова: спори алергенних грибів, *Alternaria*, процес розповсюдження, метеорологічні фактори, прирости значень факторів, коефіцієнти кореляції, автокореляційні та взаємні кореляційні функції.

Вступ

В сучасному світі алергія завдає суттєвої шкоди людському здоров'ю, тому моніторинг кількості алергенів в атмосфері є важливим об'єктом дослідження світової наукової спільноти [1]—[4]. Важливим інструментом дослідження процесів розповсюдження спор алергенних грибів є побудова математичних моделей для прогнозування концентрацій алергенів в атмосфері. Для визначення структури та ідентифікації цього класу прогнозних математичних моделей необхідно мати не лише результати експериментального дослідження взаємозв'язків між усіма факторами, що супроводжують процес розповсюдження спор алергенних грибів, але й такий аналіз цих результатів, який забезпечує отримання числових характеристик, з використанням яких процес синтезу моделей дає коректні результати. У цьому дослідженні автори використали як вихідні дані Європейської аероалергенної мережі (EAN), зібрані на базі Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова. Графічний варіант подання цих даних показаний на рис. 1, де y — кількість спор грибів *Alternaria*; x_1 — середньодобова температура повітря (AAT); x_2 — максимальні за добу температура повітря (MAAT); x_3 — мінімальні за добу температури повітря (MIAT); x_4 — точка роси (DPT); x_5 — вологість повітря (RH), x_6 — опади (PRE), x_7 — швидкість вітру (AWS).

Ці дані вимірювались щодня протягом 241 дня — цей часовий відрізок нанесено на осі абсцис всіх графіків.

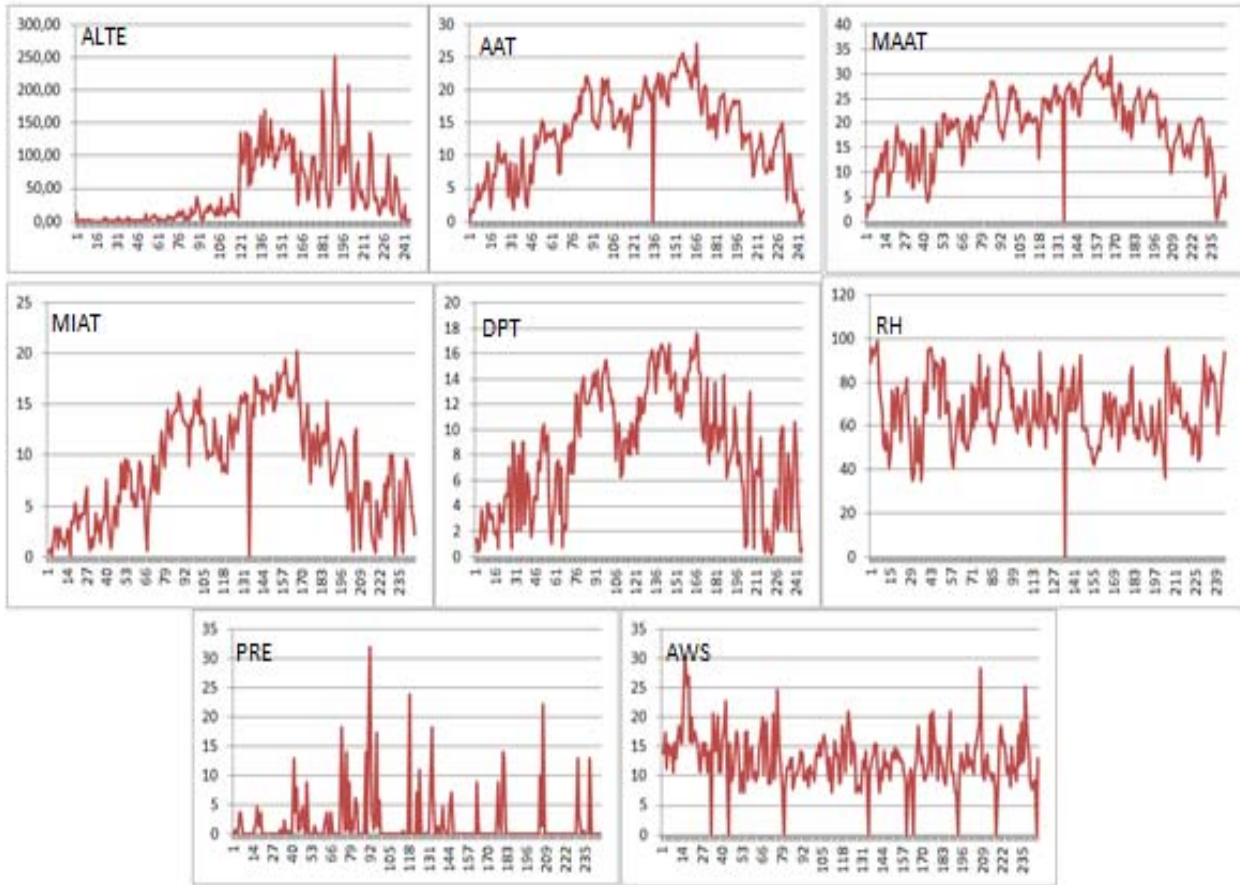


Рис. 1. Графічний варіант представлення за 2014 р. по спорах *Cladosporium – to Alternaria* чи *Cladosporium?* та метеорологічних даних у повітрі м. Вінниці

З графіків, показаних на рис. 1, випливає, що усі процеси мають нестационарний стохастичний характер, тож у такому вигляді вони не можуть бути використаними для синтезу та ідентифікації прогностичних математичних моделей.

Традиційні підходи до аналізу даних аеробіологічного моніторингу вмісту спор у повітрі, звичай використовують припущення про стаціонарність цих процесів та здійснюють побудову регресійних моделей стандартними методами на основі автокореляційних функцій та методів часових стаціонарних рядів [1]—[3], але це не завжди є виправданим. Доведемо це на прикладі і запропонуємо шлях для усунення цієї проблеми.

Мета дослідження — провести попередній розвідувальний аналіз процесу розповсюдження спор алергенних грибів у повітрі на прикладі даних Європейської аероалергенної мережі та запропонувати підходи щодо побудови ефективних математичних моделей цього процесу та їх ідентифікації.

Результати дослідження

Оскільки експериментальні дані (рис. 1), є часовими рядами, то, як відомо з [5]—[7], для них прогностичними математичними моделями є сукупність регресії кількох змінних на вихідну координату та авторегресій різного порядку для вхідних змінних. Але регресійну та авторегресійні моделі часових рядів можна синтезувати лише для стаціонарних даних, а наведений на рис. 1 масив значень є нестационарним, тому його необхідно стаціонаризувати шляхом переходу від значень процесів в точках до їх приростів, тобто, до перших різниць, обчисливши ці перші різниці для усіх значень i від $i=1$ до $i=240$. Скористаємось співвідношеннями

$$dy_{(i)} = y_{(i+1)} - y_{(i)}; \quad (1)$$

$$dx_{1(i)} = x_{1(i+1)} - x_{1(i)}; \quad (2)$$

$$dx_{2(i)} = x_{2(i+1)} - x_{2(i)}; \quad (3)$$

$$dx_{3(i)} = x_{3(i+1)} - x_{3(i)}; \quad (4)$$

$$dx_{4(i)} = x_{4(i+1)} - x_{4(i)}; \quad (5)$$

$$dx_{5(i)} = x_{5(i+1)} - x_{5(i)}; \quad (6)$$

$$dx_{6(i)} = x_{6(i+1)} - x_{6(i)}; \quad (7)$$

$$dx_{7(i)} = x_{7(i+1)} - x_{7(i)}, \quad (8)$$

Графіки результатів стаціонаризації нестационарних часових рядів $y, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ показані на рис. 2, 3.

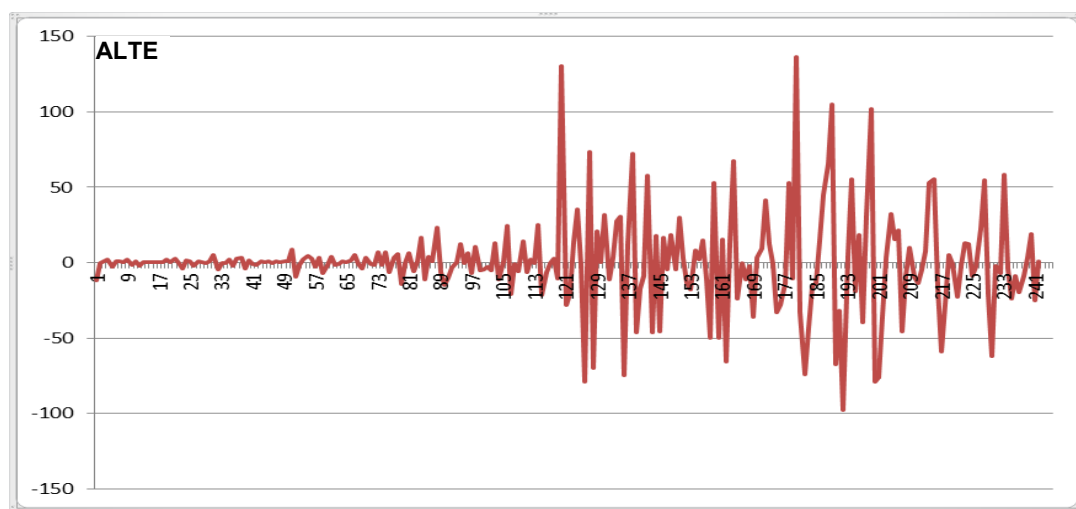


Рис. 2. Результат стаціонаризації динаміки спор грибів *Alternaria* за 2014 р. м. Вінниці, вихідної координати y

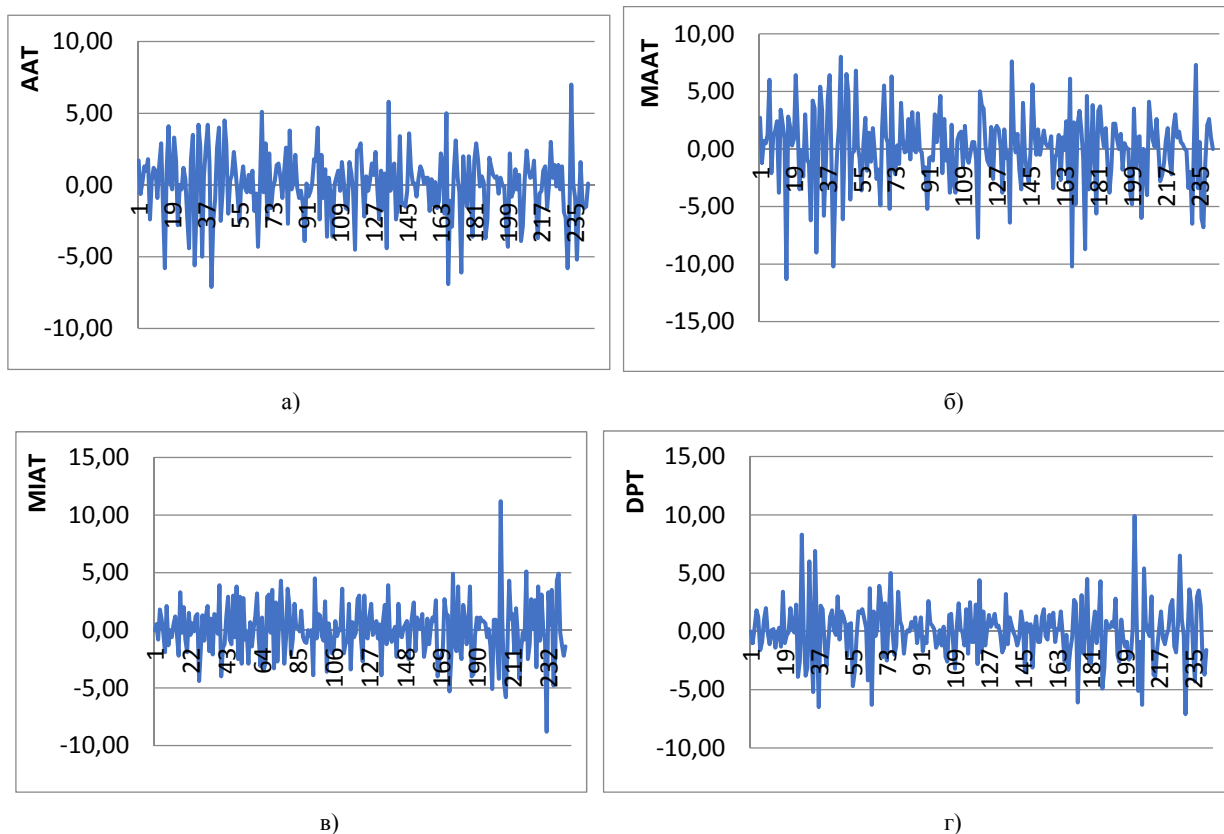
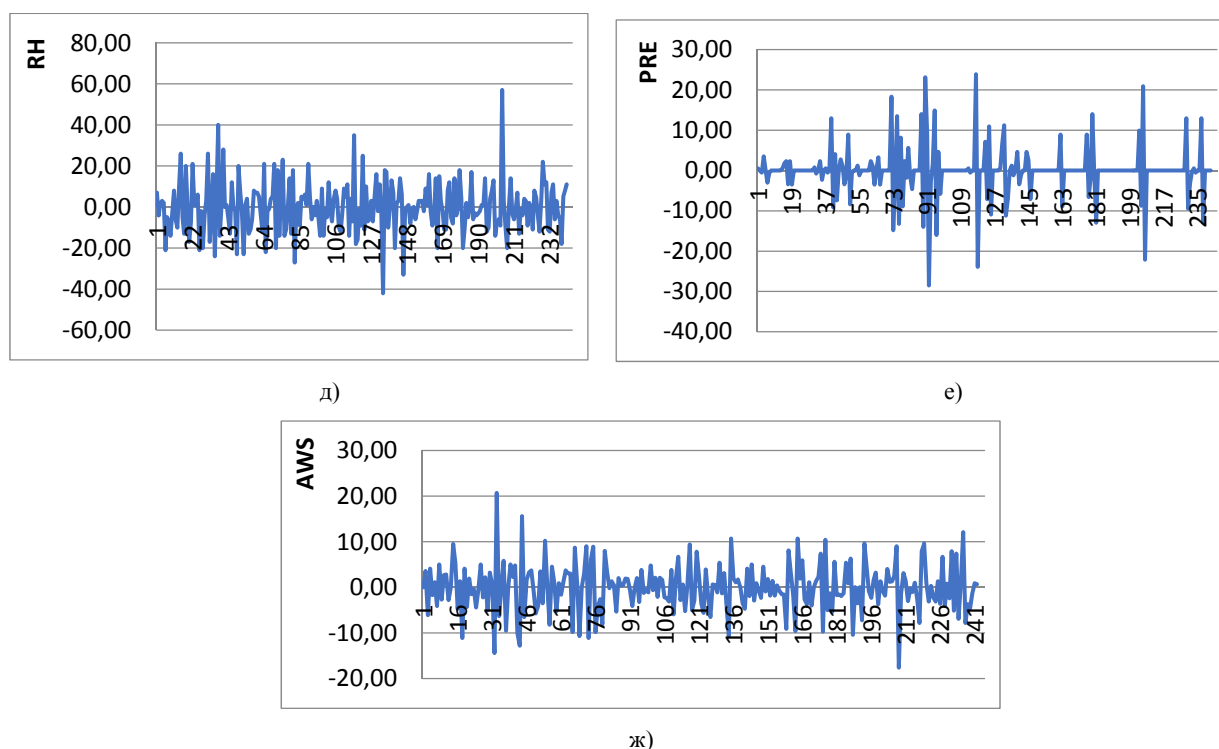


Рис. 3. Результат стаціонаризації динаміки метеорологічних даних: а — середньодобові (AAT); б — максимальні за добу (MAAT); в — мінімальні за добу температури (MIAT); г — точка роси (DPT)



Продовження рис. 3. Результат стаціонаризації динаміки метеорологічних даних: д — вологість повітря (RH); е — опади (PRE); ж — швидкість вітру (AWS)

Зауважимо, що в результатах вимірювань у 136-й день вхідних координат x_1, x_2, x_3, x_5 , як це наочно видно з графіків цих координат (рис. 1), присутні суттєві похибки, оскільки ці координати за своєю фізичною природою не могли протягом однієї доби зі значень, відповідно, 20, 25, 15 та 70 одиниць впасти до нуля і повернутись знову до цих же значень. Тому, виходячи з характеру графіків до 136-го дня та після нього, бралися значення цих координат на 136-й день рівними, відповідно, $x_1 = 15, x_2 = 20, x_3 = 10, x_5 = 60$.

Як правило, синтез регресій кількох вхідних координат на вихідну починають з визначення коефіцієнтів кореляції між усіма змінними, які мають бути включеними в рівняння регресії. Ті координати, коефіцієнти кореляції яких з вихідною координатою є чисельно малими, з розгляду виключають, вважаючи їх такими, що суттєво не впливають на вихідну координату. Обчислено значення усіх коефіцієнтів кореляції для множини змінних та зведено результати обчислень у матрицю коефіцієнтів кореляції, показану на рис. 4.

	dy1	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7
dy1	1.000000	-0.021199	-0.032245	-0.024952	0.030681	0.076590	0.011136	0.120038
dx1	-0.021199	1.000000	0.868678	0.417537	0.187104	-0.281572	-0.166405	-0.023930
dx2	-0.032245	0.868678	1.000000	0.189746	0.038658	-0.360791	-0.169843	-0.049159
dx3	-0.024952	0.417537	0.189746	1.000000	0.571715	0.285659	0.181476	0.024243
dx4	0.030681	0.187104	0.038658	0.571715	1.000000	0.361478	0.185458	-0.019610
dx5	0.076590	-0.281572	-0.360791	0.285659	0.361478	1.000000	0.400994	0.084644
dx6	0.011136	-0.166405	-0.169843	0.181476	0.185458	0.400994	1.000000	0.157913
dx7	0.120038	-0.023930	-0.049159	0.024243	-0.019610	0.084644	0.157913	1.000000

Рис. 4. Матриця коефіцієнтів кореляції між усіма змінними

Аналіз матриці коефіцієнтів кореляції показує, що природи значень метеорологічних факторів начебто не мають значного впливу на приріст кількості спор грибів в атмосфері, але це викликає сумніви, бо не може приріст кількості спор бути незалежним від приросту швидкості вітру чи приросту температури. Цей парадоксальний висновок став причиною обчислення авто- та взаємодіяційних функцій для усіх цих координат з використанням формул

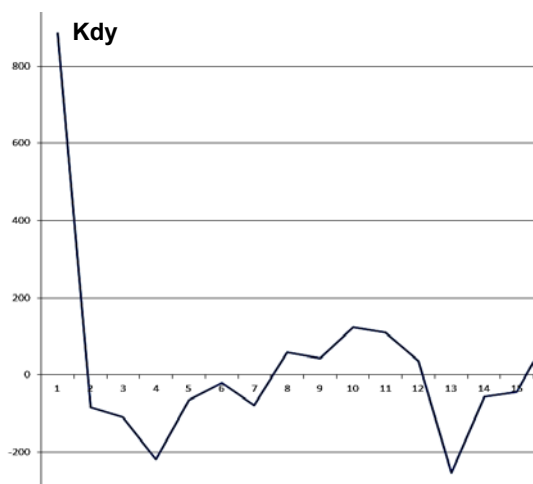


Рис. 5. Графік автокореляції приростів значення кількості спор грибів *Alternaria*

$$K_{dy}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{m=1}^{N-\tau} dy(m)dy(m+\tau); \quad (9)$$

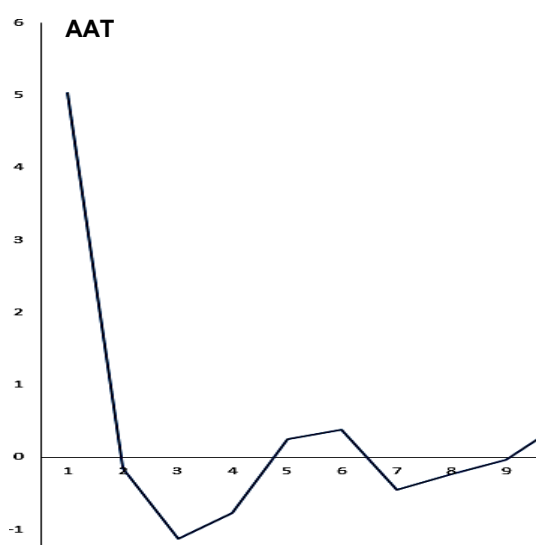
$$N = 241; m = 1, 2, \dots, N - \tau; \tau = 0, 1, 2, \dots, 25,$$

$$K_{dx_j}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{m=1}^{N-\tau} dx_j(m)dx_j(m+\tau), \quad j=1, 2, \dots, 7; \quad (10)$$

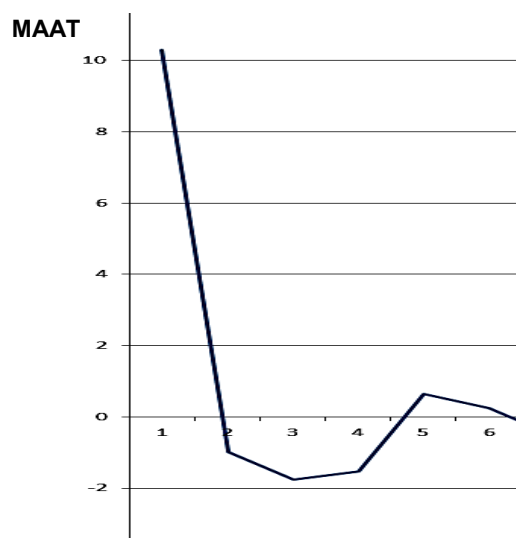
$$K_{dydx_j}(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{m=1}^{N-\tau} dx_j(m)dy(m+\tau), \quad (11)$$

де m — дані, i — номер ряду, N — кількість елементів ряду, τ — зсув ряду.

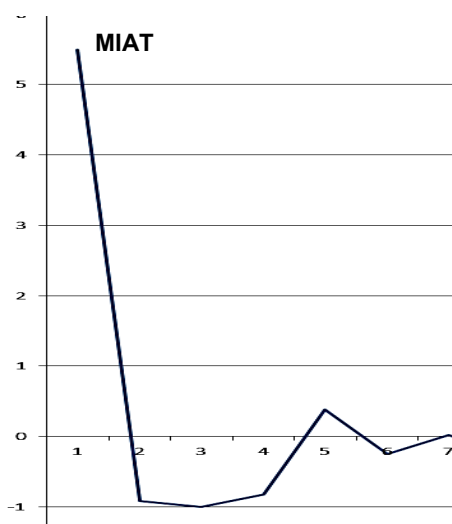
Для візуалізації обчислених значень автокореляції побудовано їх графіки (рис. 5—7).



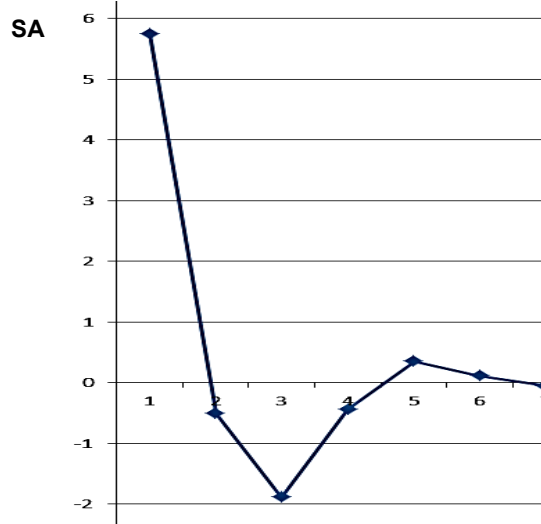
а)



б)

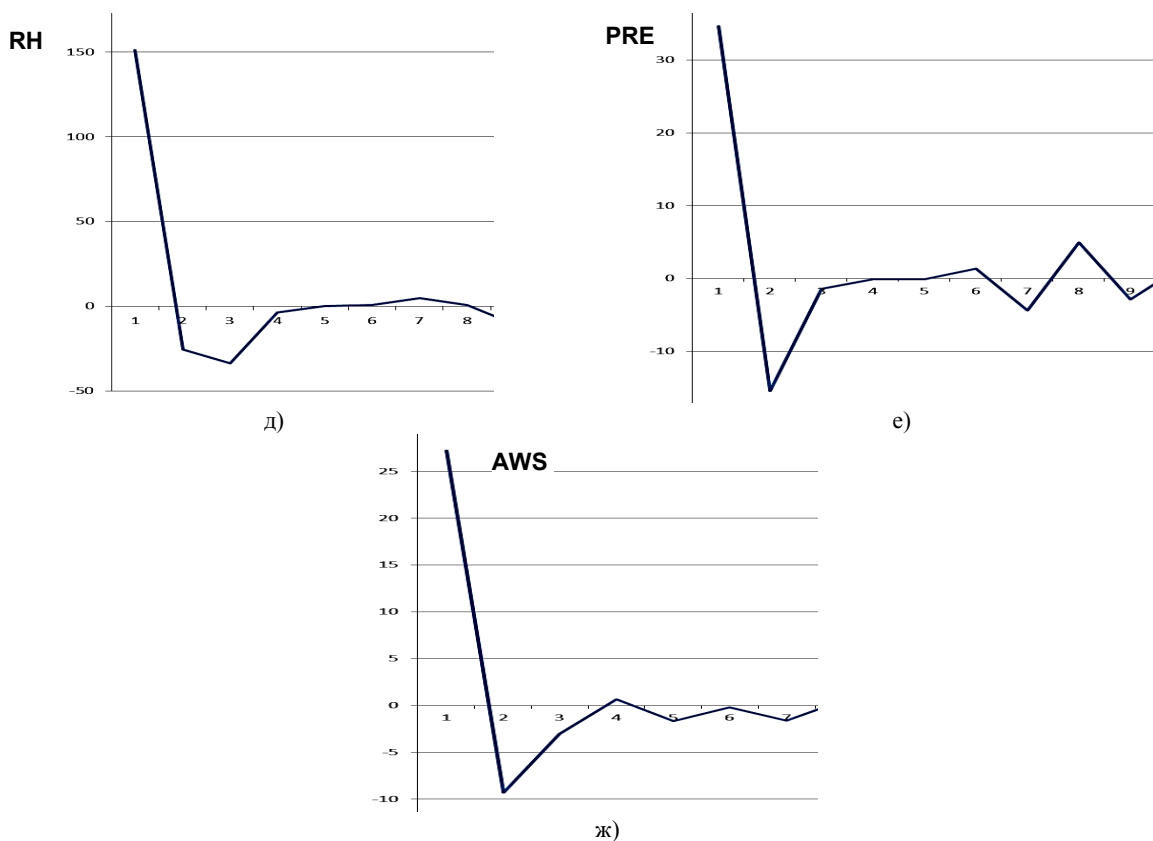


в)



г)

Рис. 6. Графіки автокореляційної функції метеорологічних даних: а — середньодобові (AAT); б — максимальні за добу (MAAT); в — мінімальні за добу (MIAT) температури; г — точка роси (DPT)



Продовження рис. 6. Графіки автокореляційної функції метеорологічних даних: д — вологість повітря (RH); е — опади (PRE); ж — швидкість вітру (AWS)

Графік автокореляційної функції кількості спор грибів *Alternaria* показує, що ряд є періодичним з покроковим затуханням.

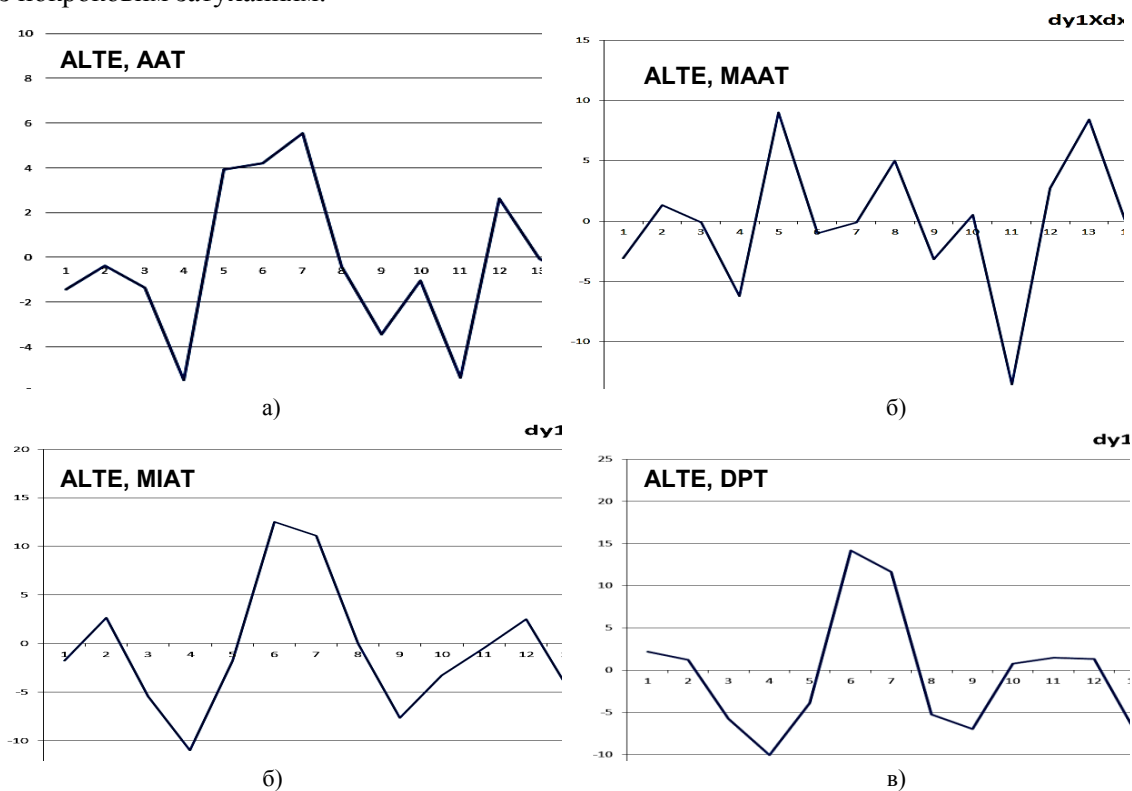
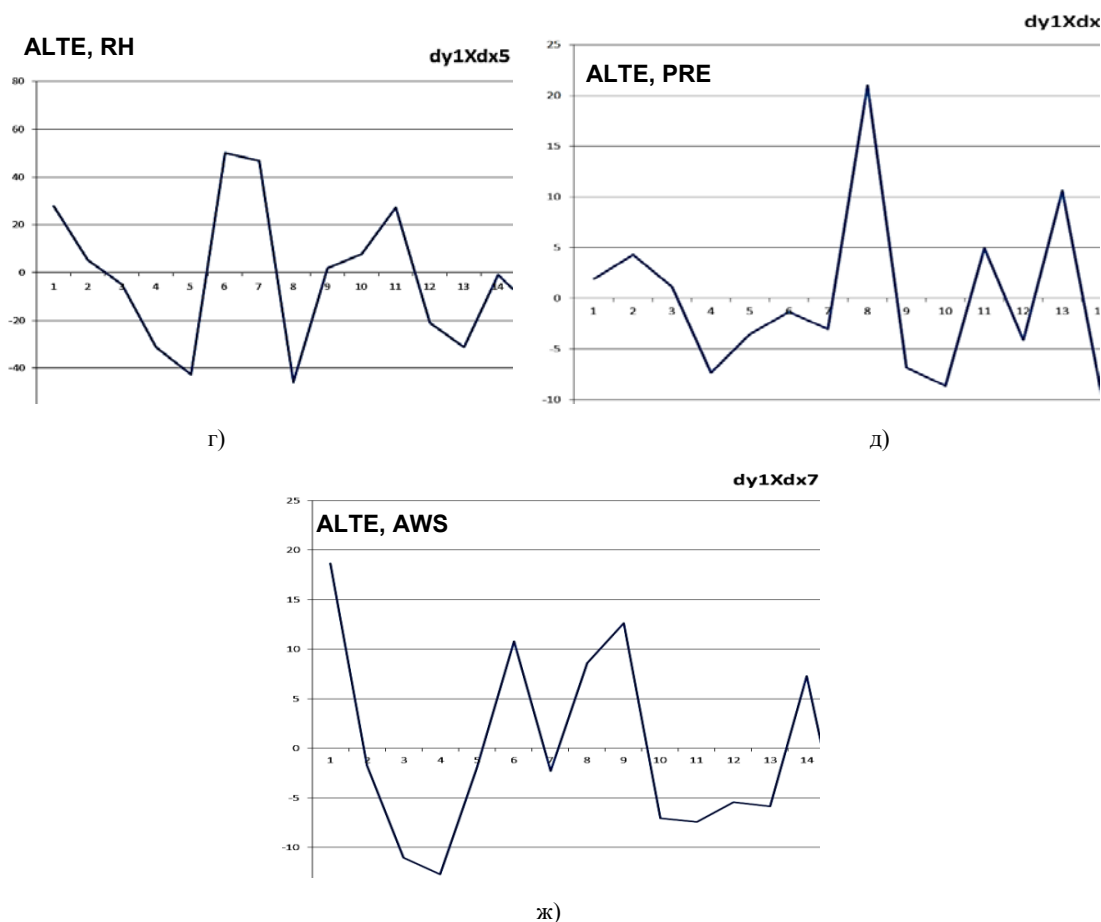


Рис. 7. Графіки взаємкореляційних функцій приростів значення кількості спор грибів від приростів значення метеорологічних факторів



Продовження рис. 7. Графіки взаємкореляційних функцій приростів значення кількості спор грибів від приростів значення метеорологічних факторів

З показаних на рис. 5—7 графіків автокореляційних функцій випливає, що залежність значень як вихідної, так і кожної з вхідних координат від їх попередніх значень швидко падає. Аналіз максимальних значень на графіках взаємкореляційних функцій показує, що вплив вхідних координат на вихідну координату проявляється із запізненням на термін від 3 до 6 днів. Це, у свою чергу, означає, що ці координати з рівняння регресії їх на вихідну координату слід не вилучати, а враховувати із залученням значень, визначених у попередні дні, у кількості, що включає максимум на взаємкореляційній функції. Отже, висловлена авторами недовіра до значень коефіцієнтів кореляції отримала об'єктивне підтвердження.

Як враховувати вищезазначені результати в процесі синтезу прогнозних математичних моделей з класу регресійних буде показано у наступній статті.

Висновки

Дослідження масиву даних, що характеризують процес розповсюдження алергенних спор грибів, показало:

- по-перше, що для синтезу та ідентифікації прогнозних математичних моделей цього процесу регресійного типу кожен з координат моделі необхідно стаціонаризувати, розглядаючи її як нестационарний часовий ряд і переходячи від конкретних значень цього часового ряду до їх приростів у вигляді різниць першого порядку;

- по-друге, визначаючи структуру регресійної моделі, не слід орієнтуватись на числове значення відповідних коефіцієнтів кореляції, оскільки їх невелике значення не гарантує слабого впливу на вихідну координату відповідної вхідної, оскільки цей вплив може проявлятися з деяким запізненням в часі, числове значення якого може бути встановленим лише після обчислення взаємної кореляційної функції цих координат за її максимумом, який для розглянутого випадку може наступати у термін від 3 до 6 днів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] A. Grinn-Gofroń, et al., "A 10-year study of *Alternaria* and *Cladosporium* in two Polish cities (Szczecin and Cracow) and relationship with the meteorological parameters," *Aerobiologia*, no. 32, pp. 83-94, 2016.
- [2] В. Б. Мокін, В. В. Родінкова, М. В. Дратованій, та О. С. Білоус, «Статистичний аналіз динаміки спор грибів *Alternaria* за даними Європейської системи аеробіологічного моніторингу.» Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, с. 33-42, 2017.
- [3] N. Ianovici, "Atmospheric concentrations of selected allergenic fungal spores in relation to some meteorological factors, in Timișoara (Romania)," *Aerobiologia*, no. 32, pp. 139-156, 2016.
- [4] Vitalii B. Mokin, Victoria V. Rodinkova, Tatiana Y. Vuzh, Waldemar Wójcik, and Saltanat Sailarbek, "The improvement of the volumetric monitoring system to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the city atmosphere," *Przeglad Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097. R. 93 NR 5, pp 5. <https://doi.org/10.15199/48.2017.05.17>. 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://pe.org.pl/articles/2017/5/17.pdf>.
- [5] Г. Дженкинс, и Д. Ваттс, *Спектральный анализ и его приложения*, т. 1. Москва: МИР, 1971, 316 с.
- [6] Г. Дженкинс, и Д. Ваттс, *Спектральный анализ и его приложения*, т. 2. Москва: МИР, 1972, 287 с.
- [7] Б. І. Мокін, та О. Б. Мокін, *Методологія та організація наукових досліджень*: навч. посіб., 2-е вид., змін. та доп., Вінниця: ВНТУ, 2015, с. 317.

Рекомендована кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та комп'ютерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.06.2019

Мокін Віталій Борисович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та комп'ютерної графіки, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Дратованій Михайло Володимирович — аспірант кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: mishadratovany@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет; Вінниця;

Родінкова Вікторія Валеріївна — д-р біол. наук, професор, професор кафедри фармації.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Вінниця

V. B. Mokin¹
V. V. Rodinkova²
M. V. Dratovanyi¹

Analysis of Experimental Data Needed for Synthesis of the Mathematical Model of Predicting the Distribution of Allergen Spring of Municipal *Alternaria*

¹Vinnitsia National Technical University;

²National Pyrogov Memorial Medical University, Vinnitsia

To predict the distribution of the allergenic fungal spores that have a negative effect on the health of a large number of people, it is necessary to synthesize predictive mathematical models that interconnect in time the concentration of allergenic fungal spores that spread as a result of the movement of air masses, which is the initial coordinate of the model, and the accompanying meteorological factors such as wind speed, air temperature, air humidity and a number of other factors that are input coordinates of the model. To determine and identify the structure of the parameters of such predictive mathematical models, we need the results of an experimental study of the interactions between all these coordinates, which in their original form cannot be used directly to identify the above class of mathematical models, since they are nonstationary stochastic. In this paper, the following processing of the results of an experimental study of all these non-stationary stochastic coordinates characterizing the process of distribution of the allergenic fungal spores obtained on the basis of the Vinnitsa National Medical University, leads to such characteristics of these coordinates, which can then be used for synthesis of predictive mathematical models. These characteristics are stationary zonation of coordinates due to the transition from their measured values to their increments and correlation coefficients and autocorrelation and mutual correlation functions, calculated with regard to the increments of all the considered coordinates.

Keywords: allergenic fungal spores, *Alternaria*, distribution process, meteorological factors, increment of values of factors, correlation coefficients, autocorrelation and mutual correlation functions.

Mokin Vitalii B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Computer Graphics, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Rodinkova Viktoria V. — Dr. Sc. (Biology), Professor, Professor of the Chair of Pharmacy;

Dratovanyi Mykhailo V. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: mishadratovany@gmail.com

В. Б. Мокин¹
В. В. Родинкова²
М. В. Дратованый¹

Анализ экспериментальных данных, необходимых для синтеза математических моделей прогнозирования распространения аллергенных спор грибов *Alternaria*

¹Винницкий национальный технический университет;

²Винницкий национальный медицинский университет им. Н. И. Пирогова

Для прогнозирования распространения спор аллергенных грибов, оказывающих негативное влияние на здоровье значительного количества жителей планеты, необходимо синтезировать прогнозные математические модели, связывающие между собой во времени концентрацию спор аллергенных грибов, распространяемых в результате перемещения воздушных масс, которая является исходной координатой модели, и сопутствующих метеорологических факторов: скорости ветра, температуры окружающей среды, влажности воздуха и ряда других факторов, которые являются входными координатами модели. Для определения структуры и идентификации параметров таких прогнозных математических моделей необходимы результаты экспериментального исследования взаимосвязей между всеми этими координатами, которые в своем первично полученном виде не могут быть использованы непосредственно для идентификации указанного выше класса математических моделей, поскольку несут нестационарный стохастический характер. В результате обработки экспериментальных данных исследований, проведенных на базе Винницкого национального медицинского университета, получены характеристики нестационарных стохастических координат, характеризующие процесс распространения спор аллергенных грибов. Такими характеристиками являются стационаризации координат за счет перехода от их измеренных значений у приростам и коэффициентам корреляции и автокорреляционные и взаимные корреляционные функции, рассчитанные относительно приростов всех учтенных координат. Результаты исследований в дальнейшем могут быть использованы для синтеза прогнозных математических моделей.

Ключевые слова: споры аллергенных грибов, *Alternaria*, процесс распространения, метеорологические факторы, приросты значений факторов, коэффициенты корреляции, автокорреляционные и взаимные корреляционные функции.

Мокин Виталий Борисович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа, компьютерного мониторинга и компьютерной графики, e-mail: vbmokin@gmail.com ;

Родинкова Виктория Валерьевна — д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры фармации;

Дратованый Михаил Владимирович — аспирант кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и компьютерной графики, e-mail: mishadratovany@gmail.com