

**ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНА МОДЕЛЬ
ПРИРОДНОГО ОЧИЩЕННЯ АТМОСФЕРИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ
ПИЛОВИМИ ЧАСТИНАМИ PM2.5**

Михайліченко Д. Р., Жила О.В.

e-mail: olha.kuryzheva@nure.ua,

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. БІ
м. Харків, Україна

This paper presents a mathematical model that describes the process of natural air purification in one of the Ukrainian cities based on real data. The model of reducing the concentration of polluting particles through self-purification is used to describe the problem. The model is implemented in the Maple symbolic computing software package. Based on the results of mathematical and simulation modelling, the pollution level in the city is analyzed depending on the choice of the natural purification coefficient. The model allows us to determine whether additional measures should be taken to accelerate air purification.

Для моделювання забруднення атмосфери можна використовувати різноманітні математичні моделі, які описують різні процеси забруднення і очищення повітря [1]. Загальні моделі можуть бути побудовані на основі рівнянь для концентрацій забруднюючих речовин у повітрі, враховуючи як джерела забруднення, так і процеси природного очищення (самоочищення). Однією з найпопулярніших моделей є модель зниження концентрації через природне очищення, яка описується рівнянням $c(t) = c_0 \cdot e^{-kt}$, де $c(t)$ – концентрація забруднюючої речовини в момент часу t (мкг/м³), c_0 – початкова концентрація забруднення (мкг/м³), $0 < k < 1$ – коефіцієнт природного очищення (1/день), t – час, який пройшов з моменту забруднення (в днях) [2]. Ця модель описує процес очищення повітря як експоненціальне зменшення концентрації забруднюючої речовини з часом. Для моделювання цієї математичної моделі зручно використовувати програмний пакет символічних обчислень Maple (програмна версія 2023 року), у якому математичне моделювання легко реалізується за допомогою диференціальних рівнянь та чисельних методів для моделювання інженерних задач [3]. Окрім того, графічне представлення результатів та візуалізація зміни концентрації забруднення в залежності від часу доповнить аналіз досліджуваного явища.

Розглянемо експоненціальну математичну модель забруднення атмосфери пиловими мікрочастинками PM2.5 у м. Кривий Ріг (Україна), у якому станом на січень 2025 року [4]. Початкова концентрація пилу в повітрі $c_0 = 15,3$ (мкг/м³) при допустимому рівні концентрації пилових частинок PM2.5 зі значенням $4,9$ (мкг/м³), $k = 0,5$ (в реальних

математичних моделях значення коефіцієнту природного очищення змінюється в межах $0,5 < k < 0,8$). За допомогою моделювання та візуалізації процесу зниження концентрації частинок PM2.5 з використанням коефіцієнта природного очищення у програмному середовищі Maple можна встановити, як швидко рівень забруднення зменшується і коли він опуститься нижче допустимого значення.

На рис. 1 показано рівень забруднення повітря у м. Кривий Ріг частинками PM2.5 при мінімальному значенні (у реальних математичних моделях) коефіцієнту природного очищення $k = 0,5$ (а) та максимальному $k = 0,8$ (б).

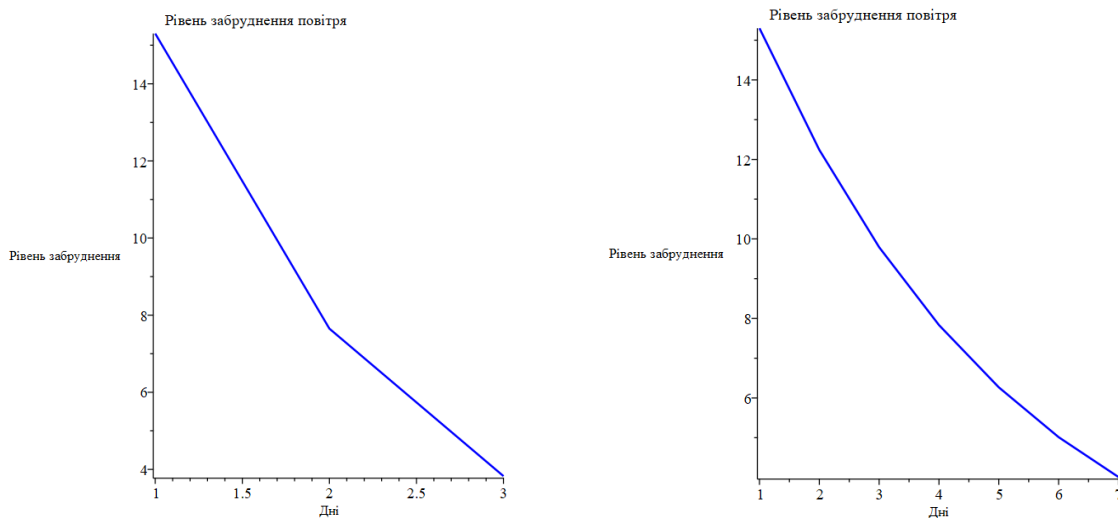


Рис. 1. Рівень забруднення атмосферного повітря у м. Кривий Ріг станом на січень 2025 року при: (а) $k = 0,5$ та (б) $k = 0,8$

Графіки показують, що при наближенні значення коефіцієнта природного очищення до одиниці, процес очищення атмосферного повітря відбувається повільніше, оскільки коефіцієнт стає менш ефективним. Це призводить до того, що концентрація забруднень зменшується дуже поступово і може навіть не досягти допустимих рівнів за короткий проміжок часу. Тому для уникнення тенденції збільшення коефіцієнту природного очищення необхідно аналізувати характери впливу цього коефіцієнту на швидкість процесу очищення атмосфери. Окрім того, слід врахувати основні фактори, які впливають на коефіцієнт природного очищення. Зниження коефіцієнту k можна забезпечити шляхом введення строгих екологічних норм і технологій по контролю за якістю повітря, модернізації фільтрів та очисних споруд, переходу на екологічно чисті джерела енергії тощо. Доцільним буде побудувати та проаналізувати порівняльні графіки залежності швидкості очищення від коефіцієнту k . Так, на рис.2 показані рівні забруднення повітря та швидкість природного очищення в залежності від значення коефіцієнту k . Оскільки k може змінюватись в залежності від заходів, направлених на покращення екологічної ситуації, то з розвитком очисних технологій, збільшенням зелених зон та покращенням рівня життя

можна скоротити концентрацію забруднюючих речовин в 2–4 рази. Про це також говорить тенденція очищення атмосферного повітря в залежності від значення k

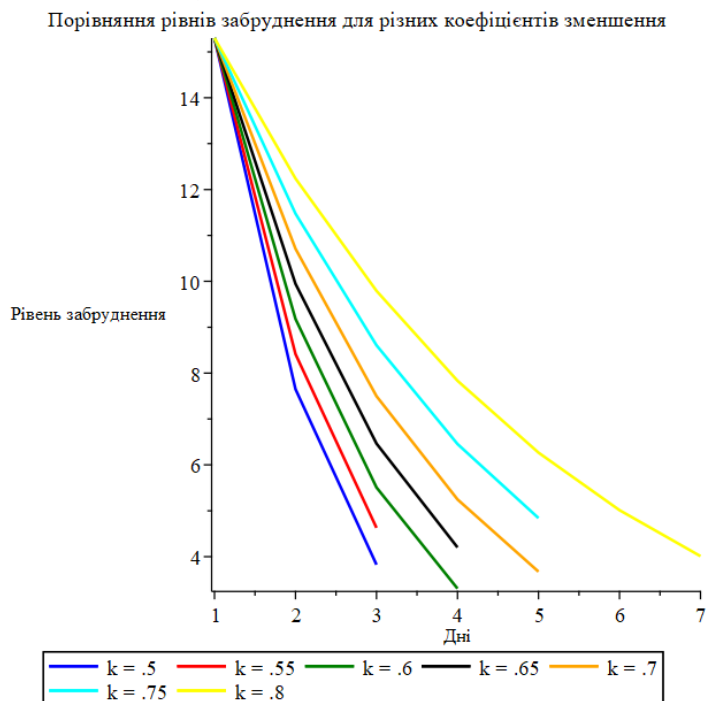


Рис.2. Порівняння рівнів забруднення атмосферного у м. Кривий Ріг станом на січень 2025 року при різних значеннях k :

$$k_1 = 0.5, k_2 = 0.55, k_3 = 0.6, k_4 = 0.65, k_5 = 0.7, k_6 = 0.75, k_7 = 0.8$$

Таким чином, візуалізація в Maple експоненціальної моделі забруднення навколишнього середовища дає змогу оцінити рівень концентрації шкідливих речовин у повітрі на часовому інтервалі. Окрім того, реалізована в Maple математична модель може бути легко адаптована до різних типів забруднювачів та регіонів. Модель дозволяє визначити, чи потрібно вживати додаткових заходів для прискорення очищення повітря. Використання таких математичних моделей разом із програмним забезпеченням Maple відкриває широкі можливості для екологічного аналізу, планування заходів зі зниження забруднення та підвищення обізнаності про актуальні екологічні проблеми.

Список використаних джерел:

1. Матеріал з Вікіпедії. Моделювання атмосферної дисперсії. https://uk.wikipedia.org/wiki/Моделювання_атмосферної_дисперсії
2. Ковальчук П.І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: Навч. посібник //К.: Либідь, 2003, 208 с.
3. Нікітенко О. М. Maple: Розв'язання інженерних та наукових задач// Харків : ХНУРЕ, 2014. – 289 с.
4. Моніторинговий сайт якості повітря в Україні (Кривий Ріг). <https://www.iqair.com/ukraine/dnipro/kryvyi-rih>