

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

САМОЙЛЕНКО ЄВГЕН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 656.11

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО
ПОТОКУ НА ДОВКІЛЛЯ
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА**

05.22.01 – транспортні системи

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Є.С. Самойленко

Науковий керівник -
Бакуліч Олена Олександрівна,
кандидат технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації

Засвідчую

Вчений секретар

докторської ради Д 26.059.02

_____ О.Ю. Усиченко

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Самойленко Є.С. Удосконалення методу оцінки впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи – Національний транспортний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2024.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягало в розробці та удосконаленні теоретичних, методичних положень та методу оцінки впливу транспортних потоків на довкілля при різних режимах їх динаміки шляхом розробки кількісного підходу дослідження екологічної ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

В роботі висвітлено основні методи і моделі формування та управління транспортними потоками міст. Досліджено основні підходи, методи оцінки інгредієнтного забруднення автотранспортом та визначено їх основні переваги і недоліки. Проведено аналіз моделей впливу транспортних потоків на довкілля вулично-дорожньої мережі, серед яких: моделі розсіювання для окремих автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньйонах, статистичні моделі прогнозу концентрації. Розроблено структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст на основі аналізу просторово-геометричних характеристик архітектурно-планувальних елементів міської забудови та закономірностей формування полів вітрових потоків в умовах урбанізованих територій, що дозволяє підвищувати ефективність моніторингу стану вулично-дорожньої мережі, шляхом виявлення за відповідними ознаками найбільш репрезентативних вуличних каньйонів в рамках однорідних кластерів, інформація про стан яких може

бути поширена з достатнім ступенем достовірності на всю вулично-дорожню мережу.

Розроблено метод статистичного моделювання формування транспортних потоків, як джерел забруднення атмосфери, для здійснення короткострокових прогнозів рівня забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях. Створено модель “ефективного” транспортного потоку, яка уявляє собою статистичну сукупність “ефективних” транспортних засобів відповідних категорій. Удосконалено метод кількісної оцінки та візуалізації впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів для забезпечення екологічної стійкості та безпеки мегаполісів. За допомогою геоінформаційних систем здійснено візуалізацію процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах мегаполісу що дозволяє в реальному режимі часу відслідковувати якість атмосферного повітря.

У **вступі** розкрито сутність і стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету, задачі, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень.

У **першому розділі** "Теоретико-методологічні основи управління транспортними потоками міст для забезпечення ефективного функціонування міських екосистем" проаналізовано класифікацію, основні властивості моделей руху транспортного потоку, а також заходи з підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст. Досліджено основні джерела та сучасний стан забруднення атмосферного повітря міст. Зазначено, що транспортні потоки є масовим динамічним, імовірнісним, антропогенним джерелом забруднення довкілля, специфіка якого полягає в багатофакторності впливу, безпосередній близькості до житлових районів, територіальному розподілі, приземному розташуванні. Досліджено основні підходи, методи, методики оцінки інгредієнтного забруднення автотранспортом та виокремлено їх основні переваги і недоліки.

Визначено, що в більшості Європейських країн для оцінки викидів забруднюючих речовин автомобільним парком використовується розрахункова методика Corpert 4, що заснована на використанні статистичних даних про структуру автопарку та питомих викидів по стандартному Європейському їздовому циклу з урахуванням коригуючих коефіцієнтів.

Розглянуті теоретичні основи моделювання розсіювання забруднюючих речовин транспортними потоками. Визначено основні напрямки оцінки впливу транспортного потоку на довкілля ВДМ та проведено аналіз моделей рівня забруднення атмосфери міст автотранспортом, серед яких: моделі розсіювання для окремих автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньйонах, статистичні моделі прогнозу концентрації. Проаналізовано основні природоохоронні заходи спрямовані на зниження рівня забруднення атмосферного повітря від впливу транспортного потоку. До них належать: заходи спрямовані на поліпшення екологічних показників автомобілів; заходи з організації дорожнього руху та управління транспортними потоками; заходи пов'язані з раціональною експлуатацією транспортних засобів.

Другий розділ "Класифікація каньйонів вулично-дорожньої мережі міста з урахуванням впливу структури забудови" присвячений дослідженню та класифікації вуличних каньйонів міста – елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі. Вуличні каньйони міста мають різні просторово-геометричні характеристики: ширина, довжина, щільність та композиція забудови, що характеризується середнім кутом повороту будинків до осі вулиці. З огляду на це проведено аналіз методів класифікації вуличних каньйонів серед яких індексний метод визначено як найбільш інформативний.

Розроблено структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст, на основі аналізу просторово-геометричних характеристик архітектурно-планувальних елементів міської забудови та закономірностей

формування полів вітрових потоків в умовах урбанізованих територій, для забезпечення ефективного моніторингу стану вулично-дорожньої мережі. Із застосуванням методу k-середніх кластерного аналізу, виконана класифікація вуличних каньйонів Печерського району м. Києва за рівнем екологічного навантаження та сформовано п'ять однорідних груп, в яких ідентифіковано типові вуличні каньйони.

Проведено порівняльний аналіз між динамікою швидкості вітру в одному з типових вуличних каньйонів м. Києва та швидкістю глобальних повітряних мас виміряних на метеорологічній станції, який свідчить про відсутність кореляційного зв'язку та значні відмінності між значеннями швидкості вітру.

У **третьому розділі** "Статистичне моделювання транспортного потоку як джерела забруднення" розроблено метод статистичного моделювання формування транспортних потоків, для здійснення короткострокових прогнозів рівня забруднення атмосфери на прилеглих до автомагістралей територіях з метою зменшення рівня техногенного навантаження вулично-дорожньої мережі; створено модель транспортного потоку, яка являє собою статистичну сукупність "ефективних" транспортних засобів відповідних категорій. При побудові "ефективного" транспортного засобу залучалися, в першу чергу, техніко-експлуатаційні характеристики (об'єм двигуна, потужність, вид палива, витрата палива, маса, габарити тощо), які безпосередньо або опосередковано впливають на рівень забруднення.

Досліджено кількісний, якісний та віковий склад автопарку міста Києва. Визначені техніко-експлуатаційні характеристики ефективних транспортних засобів для найбільш поширених автомобілів відповідних категорій. За допомогою кластерного аналізу визначені моделі, які за своїми технічними характеристиками подібні до "ефективного" автомобіля.

Визначено пробігові викиди для кожної з категорій автомобілів, шляхом вимірювання показників токсичності реальних транспортних засобів,

техніко-експлуатаційні характеристики яких відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам.

У четвертому розділі "Оцінка впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста" удосконалено метод кількісної оцінки впливу транспортних потоків на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів для забезпечення екологічної стійкості та екологічної безпеки мегаполісів шляхом застосування моделі OSPM (Operational street pollution model). Для кожного з вуличних каньйонів встановлено критичні інтенсивності руху транспортного потоку за яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично-допустимого значення.

Запропоновано алгоритм оцінки рівня забруднення атмосферного повітря, що дає змогу оперативно визначати та прогнозувати концентрацію шкідливих речовин від транспортного потоку у вуличних каньйонах. Проведено оцінку точності моделювання впливу транспортного потоку на стан довкілля в залежності від часового масштабу осереднення метеорологічних величин.

За допомогою геоінформаційних систем здійснено візуалізацію процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах мегаполісу, що дозволяє в реальному режимі часу відслідковувати його якість та попереджати критичні ситуації, за яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення.

Основний науковий результат дисертації полягає в удосконаленні методу оцінки впливу транспортних потоків на довкілля при різних режимах їх динаміки шляхом розробки кількісного підходу дослідження екологічної ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

У роботі вперше запропоновано структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст, що на відміну від існуючих, дозволяє підвищувати ефективність моніторингу стану вулично-дорожньої мережі за динамічними

та структурно-екологічними характеристиками шляхом виявлення найбільш репрезентативних вуличних каньйонів в рамках однорідних кластерів, інформація про стан яких може бути поширена з достатнім ступенем достовірності на всю вулично-дорожню мережу.

Автором удосконалено метод кількісної оцінки впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівня інгредієнтного забруднення атмосферного повітря каньйонів вулично-дорожньої мережі міста, який, на відміну від існуючих, передбачає ідентифікацію, кількісне визначення з високим ступенем достовірності інтенсивності викидів та концентрації забруднюючих речовин "ефективними" транспортними потоками, а також спосіб візуалізації процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах міста за допомогою геоінформаційних систем який, на відміну від існуючих, дозволяє управляти станом вулично-дорожньої мережі в реальному режимі часу.

Практичне значення результатів проведеного дослідження підтверджено їхнім впровадженням в діяльність підприємств транспортної галузі, а саме ПАТ "Київська виробнича компанія "Рapid"", Комунального підприємства "Київпастранс" та в навчальний процес Національного транспортного університету.

Ключові слова: транспортна система, транспортні потоки, інтенсивність руху, екологічна стійкість, довкілля, автомобільний транспорт, вулично-дорожня мережа, вуличний каньйон, рівень забруднення, кластерний аналіз, сталий розвиток.

ABSTRACT

Samoilenko Ye.S. Improving the method for assessing the impact of traffic flow on the environment of the city's road network. – Qualification scientific paper as a manuscript. PhD thesis in Transport Systems (05.22.01). – National Transport University, the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

In the dissertation work, an actual scientific and applied task was solved, which consisted in the development and improvement of theoretical, methodological provisions and a method of assessing the impact of traffic flows on the environment under different regimes of their dynamics by developing a quantitative approach to the study of the ecological efficiency of the functioning of the city's street and road network.

The work highlights the main methods and models of the formation and management of urban traffic flows. The main approaches, methods of assessing ingredient pollution by motor vehicles were studied, and their main advantages and disadvantages were determined. An analysis of models of the influence of traffic flows on the environment of the road network was carried out, including: dispersion models for individual highways, dispersion models in city street canyons, statistical models of concentration forecast. A structural-ecological classification of street canyons of cities has been developed based on the analysis of the spatial-geometric characteristics of the architectural and planning elements of urban development and the regularities of the formation of wind flow fields in the conditions of urbanized territories, which allows to increase the effectiveness of monitoring the state of the street and road network by identifying the most representative street canyons within the framework of homogeneous clusters, information about the state of which can be distributed with a sufficient degree of reliability to the entire street and road network.

A method of statistical modeling of the formation of traffic flows as a source of atmospheric pollution has been developed to implement short-term forecasts of the level of pollution in areas adjacent to highways. A model of "efficient" traffic flow has been created, which represents a statistical collection of "efficient" vehicles of the corresponding categories. A method for quantitative assessment and visualization of the impact of traffic flow under various dynamic conditions on the level of ingredient pollution of atmospheric air in street canyons has been improved to ensure environmental sustainability and safety of megacities. With the help of geographic information systems, the processes of spatial and temporal

distribution of air pollution by transport flows within the metropolis were visualized, which allows monitoring the quality of atmospheric air in real time.

The introduction reveals the essence and state of the scientific problem, substantiates the relevance of the work, defines the purpose, tasks, scientific novelty and practical significance of the obtained research results.

In the first chapter "Theoretical and methodological bases of managing traffic flows in cities to ensure efficient functioning of urban ecosystems", the classification, main properties of traffic flow patterns, as well as measures to increase the efficiency of the functioning of the street and road network of cities are analyzed. The main sources and current state of atmospheric air pollution in cities were studied. It is noted that traffic flows are a massive, dynamic, probabilistic, anthropogenic source of environmental pollution, the specificity of which is multifactorial impact, close proximity to residential areas, territorial distribution, surface location. The main approaches, methods, methods of assessing ingredient pollution by motor vehicles were studied and their main advantages and disadvantages were highlighted. It was determined that in most European countries, the Copert 4 calculation method is used to estimate the emissions of pollutants by the car fleet, which is based on the use of statistical data on the structure of the car fleet and specific emissions according to the standard European driving cycle, taking into account correction factors.

The theoretical foundations of modeling the dispersion of pollutants by traffic flows are considered. The main directions of assessing the impact of traffic flow on the environment of the street and road network have been determined and the analysis of models the level of urban air pollution by motor vehicles was conducted, including: dispersion models for individual highways, dispersion models in urban street canyons, and statistical models for predicting concentrations. The main environmental protection measures aimed at reducing the level of atmospheric air pollution from road transport have been analyzed. These include: measures aimed at improving the environmental performance of cars;

measures to organize road traffic and manage traffic flows; measures related to the rational operation of vehicles.

The second section "Classification of street canyons of the street and road network of the city, taking into account the influence of the building structure" is dedicated to the study and classification of street canyons of the city - elementary sections of the street and road network. Street canyons of the city have different spatial geometric characteristics: width, length, density and composition of buildings, characterized by the average angle of rotation of buildings to the axis of the street. With this in mind, an analysis of street canyon classification methods was conducted, among which the index method was determined to be the most informative.

A structural-ecological classification of city street canyons has been developed, based on the analysis of spatial-geometric characteristics of urban architectural and planning elements and patterns formation of wind flow fields in the conditions of urbanized territories, to ensure effective monitoring of the state of the street-road network. Using the method of k-means cluster analysis, the classification of street canyons of the Pechersk district of Kyiv was performed according to the level of ecological load, and five homogeneous groups were formed, in which typical street canyons were identified.

A comparative analysis was conducted between the dynamics of wind speed in one of the typical street canyons of Kyiv and the speed of global air masses measured at the meteorological station, which indicates the absence of correlation and significant differences between the values of wind speed.

In the third chapter "Statistical modeling of traffic flow as a source of pollution" a method of statistical modeling of the formation of traffic flows was developed to implement short-term forecasts of the level of atmospheric pollution in areas adjacent to highways in order to reduce the level of environmental load on the street road network; a traffic flow model was created, which represents a statistical collection of "efficient" vehicles of the corresponding categories. When building an "efficient" vehicle, technical and operational characteristics (engine

capacity, power, type of fuel, fuel consumption, mass, dimensions, etc.) were involved, which directly or indirectly affect the level of pollution.

The quantitative, qualitative and age composition of the Kyiv vehicle fleet was studied. The technical and operational characteristics of efficient vehicles for the most common cars of the respective categories are determined. With the help of cluster analysis, models that are similar to an "efficient" car in terms of their technical characteristics have been identified.

Mileage emissions for each of the cars categories were determined by measuring the toxicity indicators of real vehicles, the technical and operational characteristics of which correspond to the weighted average technical and operational characteristics.

In the fourth chapter "Assessment of the impact of traffic flow on the environment of the city's street and road network" the method of quantitative assessment of the impact of traffic flows in different modes of its dynamics on the ingredient pollution level of street canyons has been improved to ensure ecological sustainability and ecological safety of megacities by applying the OSPM model (Operational street pollution model). For each of the street canyons, critical intensities of traffic flow have been established, at which the level of pollution by the corresponding harmful substance reaches the maximum permissible value.

An algorithm for assessing the level of atmospheric air pollution has been proposed, which allows to quickly determine and forecast the concentration of harmful substances from traffic flow in street canyons. The accuracy of modeling the impact of traffic flow on the state of the environment was assessed depending on the time scale of averaging meteorological values.

With the help of geoinformation systems, the processes of spatio-temporal distribution of atmospheric air pollution by traffic flows within the metropolis were visualized, which allows monitoring its quality in real time and warning of critical situations in which the concentration of pollutants exceeds the maximum permissible values.

The main scientific result of the dissertation consists in improving the method of assessing the impact of traffic flows on the environment under different modes of their dynamics by developing a quantitative approach to the study of the environmental efficiency of the functioning of the city's street and road network.

The work is the first to propose a structural-ecological classification of city street canyons, which, unlike existing ones, allows one to increase the efficiency of monitoring the state of the road network according to dynamic and structural-ecological characteristics by identifying the most representative street canyons within homogeneous clusters, information about the state of which can be disseminated with a sufficient degree of authenticity for the entire road network.

The author improved the method of quantitative assessment of the influence of the traffic flow in different modes of its dynamics on the ingredient level pollution of the atmospheric air of the city street canyons, which, unlike the existing ones, involves identification, quantitative determination with a high degree of reliability of the intensity of emissions and the concentration of pollutants by "effective" traffic flows as well as a way of visualizing processes of spatio-temporal distribution of atmospheric air pollution by traffic flows within the city using geoinformation systems, which, unlike the existing ones, allows you to manage the state of the street and road network in real time.

The practical significance of the results of the conducted research was confirmed by their implementation in the activities of enterprises in the transport industry, namely the Public Joint Stock Company "Kiev Production Company "Rapid"", the Municipal Enterprise "Kyivpastrans" and in the educational process of the National Transport University.

Key words: transport system, transport flows, traffic intensity, environmental sustainability, environment, road transport, street-road network, street canyon, level of pollution, cluster analysis, sustainable development.

Список опублікованих праць за темою дисертації

- статті у наукових фахових виданнях України, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікація структурних елементів вулично-дорожньої мережі методами кластерного аналізу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.:НТУ, 2012. Вип.85. С. 124 – 130

URL:http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/85/124-130.pdf

2. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Е.С, Тарабан С.М. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.: НТУ, 2012. Вип. 86. С. 146 – 153

URL:http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_86/146-153.pdf

3. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Екологічна стійкість мегаполісу. *Вісник Національного транспортного університету*. К.: НТУ, 2013. Вип. 28. С. 29-35 URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/28_2013/029-035.pdf

4. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. К.:НТУ, 2015. Вип. 31. С. 18-26 URL:http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/018-026.pdf

5. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Екологічна оцінка вуличних каньйонів міста. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. С. 116-122 URL:<https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/11/taliev-2015.pdf>

6. Бакуліч О. О., Самойленко Є.С. Модель складу транспортного потоку міста. *Економіка та управління на транспорті*. 2016. Вип. 3. С. 3–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eut_2016_3_3.

7. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Точність оцінки при розрахунку концентрації забруднюючих речовин у вуличному каньйоні. *Вісник Національного транспортного університету*. К.: НТУ, 2017. Вип. 37. С. 13-20 URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/013.pdf>

8. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. Науково-технічний збірник. 2021. Випуск 1 (48). С. 12-19. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf> DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-012-019

9. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Оцінка забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом в проектах управління екологічним станом мегаполісу. *Науково-практичний журнал "Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку"* №26, (2021) - С.125-134
<https://doi.org/10.33813/2224-1213.26.2021.13>

10. Бакуліч О.О., Гребельник М.М., Самойленко Є.С. Управління екологічною безпекою мегаполісу. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. Науково-технічний збірник. 2022. Випуск 1 (51). С. 12-20. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027 URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf>

11. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення міст шляхом управління параметрами транспортного потоку. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. 2022. Випуск 3 (53). С. 322-328. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-322-328
URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/322_328.pdf

12. Bakulich, O., E. Samoylenko, V. Holodenko. "Modeling of level of pollution of canyons during management of the ecological condition of the megapolis". *Transport Development*, no. 4(11), Jan. 2022, pp. 7-15, doi:10.33082/td.2021.4-11.01.

- публікації в міжнародних виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу:

13. Samoylenko Yevhen, Holodenko Viktoriia. (2024) Assessment of the influence of the intensity of traffic flows on the state of the street and road network of the city. World Science. 1(83).

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8158

- наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

14. Olena Bakulich, Evgeny Samoilenko, Yuriy Peskovets. "Methodology for assessing the level of atmospheric pollution by road transport in the projects of management of environmental state of a city", *refereed and peer-reviewed international scientific-practical journal of kutaishi university*, N25,2023, pp. 25-29, DOI: <https://doi.org/10.52244/ep.2023.25.12>

15. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Оцінка екологічної стійкості вулично-дорожньої мережі. Тези доповідей 70-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2014. – С. 236

<https://drive.google.com/file/d/1agTqOd6w1gPCNnxhKLnviD7Gyx4d5oT6/view>

16. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста. Тези доповідей 71-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2015. – С. 286

https://drive.google.com/file/d/1wYRQKEPwYiRk1_QLJsTXUvmF6aBZdKsk/view

17. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Оцінка масових викидів транспортних потоків. Тези доповідей 71-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2015. – С.286

https://drive.google.com/file/d/1wYRQKEPwYiRk1_QLJsTXUvmF6aBZdKsk/view

18. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Аераційний режим вуличних каньйонів міста. Тези доповідей 72-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2016. – С.258

<https://drive.google.com/file/d/1FKLs1D230PZy9ytwFmMdWDlagbmD4VI6/view>

19. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Визначення точності оцінки концентрації забруднюючих речовин від транспортних потоків. Тези доповідей 73-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2017. – С. 279

<https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

20. Самойленко Є.С. Оцінка забруднення атмосфери міст автотранспортом. Тези доповідей 74-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2018. – С. 345

https://drive.google.com/file/d/1_uA1WGugEVOGtLukG_ZMX71VgXPIq98l/view

21. Самойленко Є.С. Моделювання полів вітрових потоків на урбанізованих територіях. Тези доповідей 75-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2019. – С. 354

<https://drive.google.com/file/d/16Vrd9t8qiaZrTaTmPzz5lqtihzjtrjsf/view>

22. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення атмосфери міст транспортними потоками. Тези доповідей 76-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2020. – С. 341

<https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWiv/view>

23. Самойленко Є.С. Моделювання полів забруднення на урбанізованих територіях. Тези доповідей 77-ї наукової конференції

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2021. – С. 305

https://drive.google.com/file/d/1ueDfCu-mBO1oTk1-nKHgyDCsnBy_sab5/view

24. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом з використанням геоінформаційних систем. Тези доповідей 79-ї наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2023. – С. 506

<https://drive.google.com/file/d/1ZP8ANZsGcZTzASczTixpto6w2MKfDwt5/view>

25. Самойленко Є.С. Дослідження поля вітрових потоків у вуличному каньйоні міста. Безпека та екологія на дорожньому транспорті: збірка тез доповідей науково-практичної конференції. – Київ: ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2020. – С. 39-41

26. Бакуліч Олена Олександрівна, Самойленко Євген Сергійович. Управління екологічним станом міста. International Scientific Conference Modern Scientific Research: Achievements, Innovations and Development Prospects: Conference Proceedings, October 1-2, 2021. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". Р. 9-12 DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-126-8-3>

27. Самойленко Є. С. Управління рівнем забруднення атмосфери міст шляхом моделювання з використанням геоінформаційних систем. Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт". – К.: НТУ, 2022, Вип. 1 С. 289-293. DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3

28. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом в проектах управління екологічним станом міста. Міжнародна наукова конференція "Управління бізнес-процесами та технологічними інноваціями в сучасних умовах та в післявоєнний період". – К.: НТУ, 2023. С. 38-42. DOI: 10.33744/978-966-632-320-3-2023

29. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С., Юрченко Є. Екологічна безпека мегаполісу. Сталий розвиток – стан та перспективи. IV міжнародний науковий симпозіум в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне "Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід" зб. матер. — Електрон. дан. — Київ: Ярченко Я. В., 2024. — с. 68-71. DOI <https://doi.org/10.51500/7826-39-12>

- патенти на винаходи (корисну модель):

30. Патент на корисну модель №95713 Україна МПК (2015.01) E01C 1/00. Спосіб оцінки потужності джерела забруднення / Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. – №201402498; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015 р.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	22
ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ МІСТ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ.....	31
1.1 Аналіз сучасного стану міських транспортних систем з врахуванням екологічної складової	31
1.2 Методи і моделі формування та управління транспортними потоками міст.....	42
1.3 Методологічні підходи оцінки масових викидів забруднюючих речовин транспортними потоками та заходи спрямовані на зниження негативного впливу автомобільного транспорту	49
1.4 Теоретичні основи моделювання розсіювання забруднюючих речовин транспортними потоками	57
1.5 Аналіз заходів щодо підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст.....	67
1.6 Висновки до розділу 1.....	70
РОЗДІЛ 2 КЛАСИФІКАЦІЯ КАНЬЙОНІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ЗАБУДОВИ	72
2.1 Дослідження впливу мікрокліматичних особливостей міста на стан довкілля вулично-дорожньої мережі	72
2.2 Вуличний каньйон як елементарний архітектурно-планувальний елемент вулично-дорожньої мережі міста	78
2.3 Класифікаційний аналіз вуличних каньйонів міста індексним методом.....	81
2.4 Визначення екологічної стійкості вулично-дорожньої мережі міста під впливом транспортних потоків.....	91

2.5 Аналіз стану довкілля вулично-дорожньої мережі міста за розподілом вітрових потоків.....	96
2.6 Висновки до розділу 2.....	99
РОЗДІЛ 3 СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ.....	101
3.1 Контроль і нормування інгредієнтного забруднення під впливом транспортних потоків.....	101
3.2 Статистична модель "ефективного" транспортного потоку.....	108
3.2.1 Методика визначення "ефективного" транспортного засобу	112
3.3 Динаміка формування стану довкілля в межах вулично-дорожньої мережі під впливом транспортних потоків.....	118
3.4 Висновки до розділу 3.....	124
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ДОВКІЛЛЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА.....	126
4.1 Застосування моделі OSPM (Operational street pollution model) для оцінки рівня забруднення вуличних каньйонів міста.....	126
4.2 Оцінка точності моделювання впливу транспортного потоку на стан довкілля.....	133
4.3 Моделювання процесу підвищення екологічної безпеки довкілля в межах вулично-дорожньої мережі шляхом управління параметрами транспортного потоку міста.....	137
4.4 Методика впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів.....	142
4.5 Використання геоінформаційних систем в моделюванні впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста.....	148
4.6 Висновки до розділу 4.....	154
ВИСНОВКИ.....	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	160

ДОДАТОК А.....	178
ДОДАТОК Б.....	180
ДОДАТОК В.....	181
ДОДАТОК Г.....	184
ДОДАТОК Д.....	190
ДОДАТОК Е.....	193
ДОДАТОК Ж.....	195
ДОДАТОК З.....	196
ДОДАТОК К.....	198
ДОДАТОК Л.....	202

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВДМ – вулично - дорожня мережа

ТП – транспортний потік

ТЗ – транспортний засіб

ВГ – відпрацьовані гази

ГДК – гранично допустима концентрація

ІЗА – індекс забруднення атмосфери

AQI - Air Quality Index (індекс забруднення атмосфери)

OSPM - Operational Street Pollution Model

ВСТУП

Актуальність теми. Автомобільний транспорт відіграє значну роль у функціонуванні та розвитку будь-якого міста, здійснюючи перевезення вантажів та пасажирів, але, в той же час, також є потужним джерелом техногенного забруднення. У зв'язку зі стрімким ростом кількості автомобілів значна частина міського населення України мешкає в умовах підвищених рівнів забруднення довкілля. Проблема посилюється тим, що на сьогоднішній день досі експлуатується велика кількість уживаних транспортних засобів з двигунами екологічних класів Євро 1, Євро 2, Євро 3.

Екологічна безпека країни є невід'ємною складовою національної безпеки, визначаючи якість та комфортність умов для усіх видів людської діяльності. Стратегія сталого розвитку України до 2030 року визначає вектор безпеки, пріоритетом якого є безпека життя та здоров'я людини, що неможливо без безпечного стану довкілля, якісної питної води, санітарії тощо. Сталий розвиток міст орієнтований, в першу чергу, на поліпшення якості життя населення у сприятливому соціально-економічному середовищі та екологічно чистому, різноманітному природному довкіллі. У зв'язку з цим екологічна складова є визначальною при оцінці ефективності функціонування транспортної системи та вулично-дорожньої мережі (ВДМ) як її складової частини.

На сьогоднішній день, поряд з очевидними перевагами проживання в мегаполісах, такими як: високий рівень надання різноманітних послуг, ефективність засобів комунікації, наявність більш сучасних побутових умов, можливість для більш різноманітної трудової діяльності та навчання, спостерігається цілий спектр екологічних проблем, зокрема пов'язаних із підвищеним екологічним навантаженням із-за забруднення атмосферного повітря транспортними потоками (ТП).

ТП, що наповнюють ВДМ міст, в деякому наближенні можна вважати лінійними приземними джерелами холодних шкідливих викидів. Специфіка

пересувних джерел забруднення полягає в їх масовості, багатфакторності впливу, безпосередній близькості до житлових районів, територіальному розподілі, приземному розташуванні. Все це призводить до того, що транспортні потоки створюють в містах стійкі зони забруднення, в межах яких, концентрація забруднюючих речовин значно перевищує гранично-допустимі значення.

Оцінка рівня забруднення ТП при управлінні екологічним станом міста ускладнюється ще й тим, що автомобільний транспорт є динамічним, імовірнісним, антропогенним джерелом забруднення довкілля, рівень якого залежить від потужності джерела забруднення (параметрів транспортного потоку), метеорологічних умов, архітектурно-планувальних параметрів забудови та інших факторів.

На сьогоднішній день у багатьох містах України викиди автотранспорту складають 90...95% загальної кількості викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря. На відміну від стаціонарних джерел викидів, автотранспорт забруднює повітря безпосередньо у місцях найбільшого зосередження людей, що значно збільшує негативний ефект. Наслідком цього є погіршення стану здоров'я населення та значні економічні збитки.

Отже, збільшення кількості автотранспорту та інтенсивності руху ТП у великих містах, відсутність надійних методів оцінки та контролю за рівнем забруднення ставить дану проблему на провідне місце серед екологічних проблем міста, а дослідження оцінки впливу ТП на довкілля ВДМ міста є вкрай актуальним.

Дослідженню теоретичних і практичних аспектів впливу динаміки автомобільного транспорту на довкілля ВДМ присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних науковців, серед яких Абрамова Л.С., Бакуліч О.О., Гаврилов Є.В. Гутаревич Ю.Ф., Горбачов П.Ф., Дзюба О.П., Єресов В.І., Данченко О.Б., Данчук В.Д., Квасневський Є.А., Клінковштейн Г.І., Кременць Ю.А., Лобашов О.О., Матейчик В.П., Морозова А.С., Медведева О.М., Прокудін

Г.С., Поліщук В.П., Рач В.А., Руденко С.В., Товб А.С., Харитонов Ю.Н., Хрутьба В.О., Хабутдінов Р.А., Хомяк Я.В., Четверухін Б.М., Чернов С.К., Шраменко Н.Ю., Янішевський С.В., Adri Köhler, B. Ackles, David Shirley, Bowling D.M., Bruhwiler B., L.T. Barnard, Fernando Y., Felicia Müller-Pelzer, J.L. Haner, Julia Planko, J. Tharp, M. Jones Jane, M. Huemann, R-A. Martinuzzi, R. Gareis, Richard Maltzman, Ron Schipper, T.Mochal, T.Taylor, Wilhams T.L. та ін.

Проблема оцінки рівня техногенного забруднення атмосфери автомобільним транспортом є комплексною і багатофакторною та передбачає вирішення низки науково-практичних задач, пов'язаних, в першу чергу, зі встановленням механізму забруднення території міста, а також, в розробці методу кількісної оцінки рівня інгредієнтного забруднення та візуалізації процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря ТП в межах мегаполісу за допомогою геоінформаційних систем для превентивного реагування, тобто управління екологічною стійкістю та екологічною безпекою мегаполісу в реальному режимі часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наведені в дисертації основні результати і рекомендації розроблені на основі виконання у Національному транспортному університеті таких науково-дослідних робіт: «Інноваційно-адаптивне управління бізнес-процесами транспортної галузі» (2023, номер ДР №0123U100369); «Експлуатаційно-екологічні аспекти управління міським пасажирським транспортом» (2022 р., № ДР 0122U001179); «Дослідження міжнародного досвіду управління транспортним комплексом» (2020 р., № ДР 0120U100199); «Перспективи інноваційного розвитку транспортної галузі» (2019 р., № ДР 0119 U100746).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу оцінки впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на довкілля в межах функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих підходів, методів і моделей формування й динаміки транспортних потоків та їх впливу на довкілля в межах функціонування вулично-дорожньої мережі міст;

- розробити структурно-екологічну класифікацію каньйонів вулично-дорожньої мережі міста на основі аналізу просторово-геометричних характеристик архітектурно-планувальних елементів міської забудови, а також відповідних екологічних характеристик та закономірностей формування полів вітрових потоків в умовах урбанізованих територій для забезпечення ефективного екологічного моніторингу вулично-дорожньої мережі;

- розробити метод статистичного моделювання формування транспортних потоків для здійснення короткострокових прогнозів рівня забруднення атмосфери транспортними потоками на прилеглих до вулично-дорожньої мережі територіях;

- удосконалити метод кількісної оцінки впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря каньйонів вулично-дорожньої мережі міста;

- здійснити візуалізацію процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах мегаполісу за допомогою геоінформаційних систем для управління екологічним навантаженням вулично-дорожньої мережі мегаполісів в реальному режимі часу.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування транспортних потоків на вулично-дорожній мережі та їх вплив на довкілля.

Предмет дослідження – механізми, методи та моделі оцінки впливу транспортного потоку на забруднення атмосфери в межах функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

Методи дослідження. Науковим, теоретичним підґрунтям дисертаційного дослідження виступають загальнонаукові положення оцінки впливу транспортних потоків на довкілля вулично-дорожньої мережі міста,

фахова література, наукові праці вчених, практики управління екологічною безпекою транспорту. В роботі використовувались загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: системний метод – для дослідження та визначення характеристик об'єкту дослідження, ретроспективний – для аналізу динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря ТП по Україні, індексний метод для класифікаційного аналізу вуличних каньйонів, кластерний аналіз, метод k-середніх та агломеративно-ієрархічний метод для класифікації та визначення типових вуличних каньйонів, а також визначення "ефективного" автомобіля, метод математичного моделювання для визначення концентрації забруднюючих речовин у вуличних каньйонах, статистичні методи – для оцінки сили зв'язку між просторово-геометричними показниками вуличних каньйонів та побудові регресійних залежностей. Інформаційною основою роботи є дані Державтоінспекції міста Києва, метеостанції Київ Центральної геофізичної обсерваторії, натурні обстеження метеорологічних даних та показників ТП в типових вуличних каньйонах, а також дані інтерактивних цифрових карт щодо характеристик дорожніх умов, просторово-геометричних показників вуличних каньйонів.

Наукова новизна одержаних результатів. Основний науковий результат дисертації полягає в удосконаленні методу оцінки впливу транспортних потоків на довкілля при різних режимах їх динаміки шляхом розробки кількісного підходу дослідження екологічної ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

Вперше:

- запропоновано структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст, що на відміну від існуючих, дозволяє підвищувати ефективність моніторингу стану вулично-дорожньої мережі за динамічними та структурно-екологічними характеристиками шляхом виявлення найбільш репрезентативних вуличних каньйонів в рамках однорідних кластерів, інформація про стан яких може бути поширена з достатнім ступенем достовірності на всю вулично-дорожню мережу міста.

Удосконалено:

- метод кількісної оцінки впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів, який, на відміну від існуючих, передбачає ідентифікацію, кількісне визначення з високим ступенем достовірності інтенсивності викидів та концентрації забруднюючих речовин ефективними транспортними потоками в межах функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

- спосіб візуалізації процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах міста за допомогою геоінформаційних систем який, на відміну від існуючих, дозволяє управляти станом вулично-дорожньої мережі в реальному режимі часу.

Дістав подальшого розвитку:

- категоріальний апарат галузі знань, пов'язаної з транспортними системами, який доповнений поняттями "модель ефективного транспортного потоку", "екооб'єм" тощо.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що їхнє використання передбачає застосування методу оцінки та прогнозування впливу транспортних потоків на довкілля вулично-дорожньої мережі та завчасне виявлення і попередження ситуації, за якої концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення.

Практичне значення результатів проведеного дослідження підтверджено їхнім впровадженням в діяльність підприємств транспортної галузі, а саме ПАТ "Київська виробнича компанія "Рapid"" (акт впровадження від 08.02.24), Комунального підприємства "Київпастрас" м. Київ (акт впровадження від 07.03.24), та в навчальний процес Національного транспортного університету.

Особистий внесок здобувача. Наукові та практичні результати, висновки, що викладені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто. З наукових праць, які підготовлено у співавторстві, наведено тільки ті результати, які є здобутком автора.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були апробовані та схвалені на міжнародних та всеукраїнських конференціях, а саме:

- LXX-LXXIX щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 2014-2023 рр.);

- науково-практичній конференції “Безпека та екологія на дорожньому транспорті” (ДП "ДержавтотрансНДІпроект", м. Київ, 2020р.);

- міжнародній науковій конференції "Modern Scientific Research: Achievements, Innovations and Development Prospects" (м. Рига, 2021р.);

- міжнародній науковій конференції "Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт" (Національний транспортний університет, м. Київ, 2022р.);

- міжнародній науковій конференції "Управління бізнес-процесами та технологічними інноваціями в сучасних умовах та в післявоєнний період" (Національний транспортний університет, м. Київ, 2023р.);

- міжнародному науковому симпозіумі в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне "Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід" (Національний університет "Львівська політехніка" м. Славське, 2024р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 статей у фахових виданнях України, 2 статті у зарубіжних виданнях (1 з яких входить до видань інших держав Європейського Союзу), а також 15 публікацій у збірниках тез та матеріалів наукових конференцій, отримано 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списків використаних джерел за чотирма розділами та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 204 сторінок. Основний зміст дисертації викладено на 159 сторінках. Робота містить 57 рисунки, 34 таблиць, списки з 155 найменувань використаних джерел, 10 додатків на 27 сторінках.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ МІСТ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ

1.1 Аналіз сучасного стану міських транспортних систем з врахуванням екологічної складової

Мегалопіс являє собою особливу форму міської організації, яка значно відрізняється від побудови та функціонування інших населених пунктів, це складна соціально-економічна система, що динамічно розвивається й активно взаємодіє з навколишнім середовищем [4]. Стрімкі темпи урбанізації суспільства призводять до збільшення кількості техногенних джерел забруднення довкілля на досить обмежених територіях.

До складу транспортних систем міст, входять наступні складові частини: вулично-дорожні мережі, рухомий склад для транспортування; транспортні вузли для обслуговування пасажирів, передачі і зберігання вантажів; засоби обслуговування клієнтів; системи управління транспортом; підприємства та засоби для технічної експлуатації транспорту та інші елементи інфраструктури; соціум, що експлуатує транспортно-дорожній комплекс та навколишнє середовище.

Зростання інтенсивності руху ТП на окремих локальних територіях міста, особливо в центрі міста, призводить до прояву негативних ефектів різного характеру та механізму впливу на довкілля. Спостерігається стійка тенденція невідповідності існуючих вулично-дорожніх мереж урбанізованих міст сучасному рівню функціонування автомобільного транспорту та відповідно потребам у транспортних послугах що призводить до ще більшої актуалізації даної проблеми [11].

Розвиток і функціонування міських транспортних систем може бути реалізовано з урахуванням концепції сталого розвитку. Згідно Міжнародної комісії з навколишнього середовища і розвитку, сталий розвиток — це такий розвиток суспільства, за якого задоволення потреб теперішніх поколінь не має ставити під загрозу можливості майбутніх поколінь задовольняти свої потреби та спрямований на максимальне задоволення природних потреб людини, що перебуває у гармонії з природою та позбавлена соціальних негараздів [8, 34]. Стійкість транспортної системи мегаполісу – це здатність транспортної системи задовольняти потреби соціуму, як в теперішній час так і в майбутньому. Екологічна стійкість транспортної системи мегаполісу – це оптимізація ефектів взаємодії між її підсистемами, з метою мінімізації цільової функції - рівня техногенного забруднення [11].

На сьогоднішній день процеси урбанізації відбуваються досить швидкими темпами. У середині минулого століття населення світу було переважно сільським, у сільських поселеннях проживало близько 70% людей, у містах 30%. Згідно даних Організації Об'єднаних Націй (ООН), вже у 2007 р. половина населення планети проживало у містах, а починаючи з 2020 р. частка міського населення становила 56,15% (4,352 млрд. чоловік). У багатьох країнах населення концентрується у великих містах, на 2020 р. у світі налічувалося біля 600 агломерацій з населенням більше 1 млн. чоловік. Найбільші темпи зростання міського населення спостерігаються в Азії та Африці. Також досить високими темпами іде міграція сільського населення у міста в країнах Південної та Центральної Америки.

Головною особливістю міських територій є висока щільність розміщення джерел забруднення та їхня різноманітність. У містах, як правило, розміщені різні точкові джерела у вигляді димових труб промислових, енергетичних та комунальних підприємств. На території міст розташована складна мережа автомобільних та інших магістралей, кожна така магістраль може розглядатися як лінійне джерело викидів. До міських територій нерідко потрапляють площинні джерела у вигляді сміттєзвалищ

побутового сміття, а також ділянки пилових викидів на місці розміщення промислових відходів. Слід відмітити, що для міст характерна висока частка викидів автомобільного транспорту в порівнянні з іншими джерелами забруднення [28].

Станом на 2020 р. в Україні є три міста з населенням більше 1 млн. людей – Київ, Харків, Одеса. Населення Донецька і Дніпра складає понад 900 тис. осіб. Частка міського населення в Україні розподілена по окремим регіонам досить нерівномірно. В середньому вона складає 70,1% (рис.1.1).

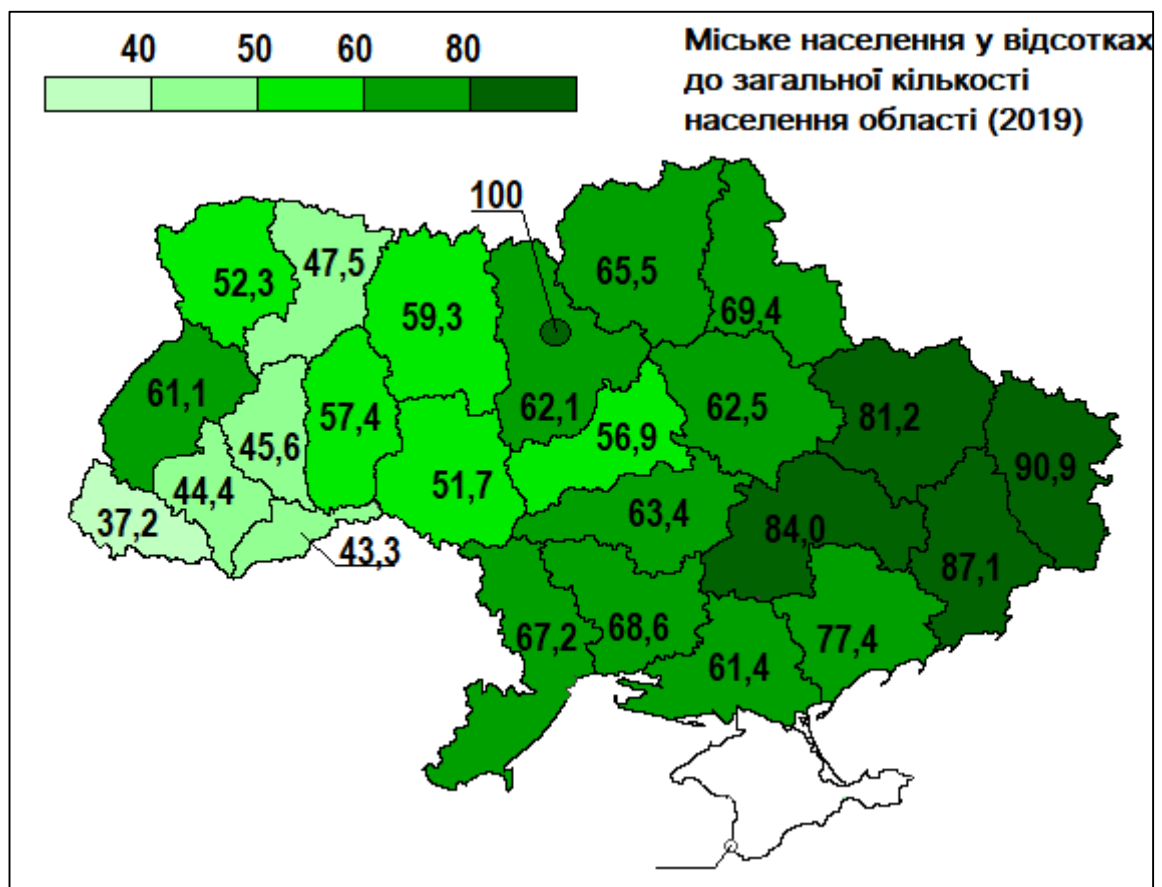


Рисунок 1.1 – Частка міського населення по областях України

Поряд з очевидними перевагами проживання в мегаполісах, такими як: високий рівень надання різноманітних послуг, ефективність засобів комунікації, наявність більш сучасних побутових умов, можливість для більш різноманітної трудової діяльності та навчання, спостерігається цілий спектр екологічних проблем, зокрема пов'язаних із забрудненням

атмосферного повітря. Тому екологічні обмеження повинні бути домінуючими в розвитку урбанізованої території, формування її інфраструктури і визначати якість життя на цій території [4, 8, 69].

У зв'язку з промисловим та автомобільним забрудненням спостерігається значне погіршення якості атмосферного повітря, відбувається забруднення земельних і водних ресурсів, виснаження сировинних ресурсів, забруднення поверхневих і підземних джерел стічними водами тощо. Тому одним із стратегічних напрямів сталого екологічно безпечного розвитку регіонів України, згідно Стратегії сталого розвитку України до 2030 року є реалізація науково-дослідницьких, інноваційно-інвестиційних розробок у сфері охорони навколишнього середовища [24, 143, 152, 155]. Сталий розвиток міст спрямований, насамперед, на сприятливе соціально-економічне середовище та екологічно чисте, здорове, різноманітне природне довкілля. У зв'язку з цим екологічна складова є визначальною при оцінці ефективності функціонування транспортної системи та вулично-дорожньої мережі як її складової частини.

Забруднення атмосферного повітря – це наявність у ньому крупнодисперсних аерозолів, тобто завислих рідких і твердих частинок, а також газів, що не є постійними складовими повітря.

За масштабами поширення розрізняють місцеве (підвищений вміст шкідливих речовин на невеликих територіях – місто, промисловий район, сільськогосподарська зона), регіональне (сфера негативного впливу – країни, значні простори, але не вся планета) та глобальне забруднення атмосфери (зміни стану всієї атмосфери) [76, 152, 153].

Усі джерела забруднення атмосферного повітря перш за все поділяють на природні та антропогенні. Рівень забруднення атмосфери природними джерелами є фоновим і його зміна з часом є несуттєвою. Антропогенні джерела забруднення атмосфери поділяють на точкові (димові труби промислових, енергетичних підприємств), лінійні (мережа автомобільних доріг та транспортні потоки, що їх наповнюють), площинні.

В залежності від тривалості викиду виділяють швидкоплинні (тривалістю від декількох секунд до декількох хвилин), короткострокові (тривалістю до декількох годин) та неперервні. Також джерела забруднення поділяють на пересувні та стаціонарні.

До стаціонарних належать: промислові підприємства, теплові електростанції, котельні та опалювальні установки, сільське господарство тощо. До пересувних джерел забруднення належить автомобільний, авіаційний, залізничний та водний транспорт [28].

За характером розрізняють первинне забруднення, яке утворюється безпосередньо під час природних й антропогенних процесів та вторинне – яке утворилося внаслідок фізико-хімічних процесів та перетворень у середовищі.

За тривалістю дії виділяють стійке забруднення, що має здатність до накопичення протягом тривалого часу; нестійке, що негативно дія короткий час та зникає завдяки природним процесам; а також середньотривале, яке спостерігається протягом певного періоду часу [28].

Особливістю забруднення атмосферного повітря міської території є висока щільність розміщення джерел викиду та їх різноманітність. У зв'язку з цим в багатьох містах концентрація забруднюючих речовин значно перевищує гранично допустимі значення. Наслідком цього є погіршення стану здоров'я населення та значні економічні збитки, які пов'язані безпосередньо зі здоров'ям людей, хворобами та втратою працездатності [20, 73].

За останні роки обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по Україні знизилися в результаті скорочення промислового виробництва (рис. 1.2). З 1997 по 2003 рр. загальна кількість викидів протягом року становила приблизно 6 млн. т. Починаючи з 2004 р. обсяг викидів забруднюючих речовин дещо зріс.

Найбільш забрудненими областями України є Донецька, Дніпропетровська, Запорізька.

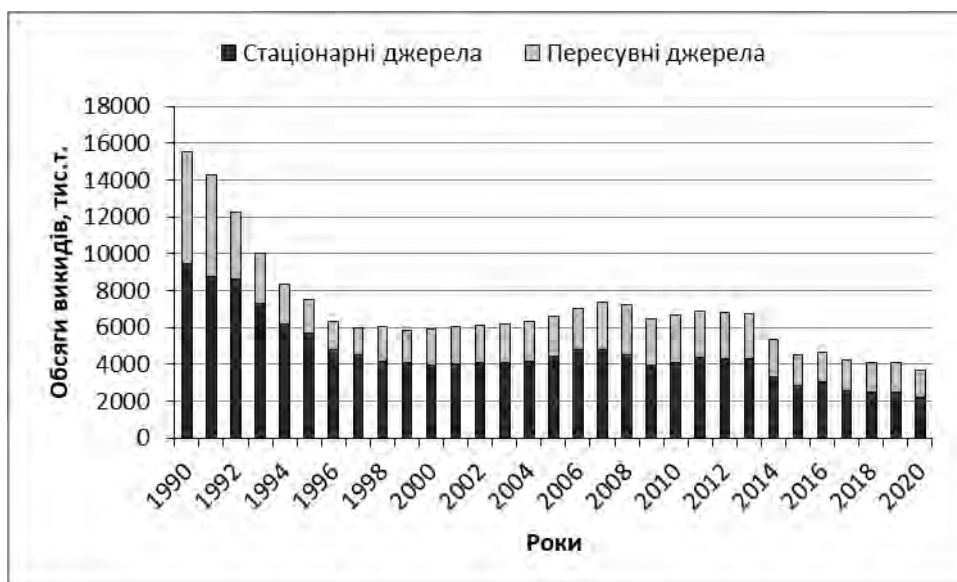


Рисунок 1.2 – Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по Україні (з 2014 р. без врахування тимчасово окупованих територій)

Місто Київ має високі показники рівня забруднення атмосфери, що пояснюється високим рівнем індустріалізації, стрімким розвитком автопарку міста. Загальний обсяг викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у 2020 р. склав 25,5 тис. т., від пересувних майже в 9 разів більше – 225,8 тис. т. (рис. 1.3). Щільність викидів у м. Києві складає 299,5 т/км².

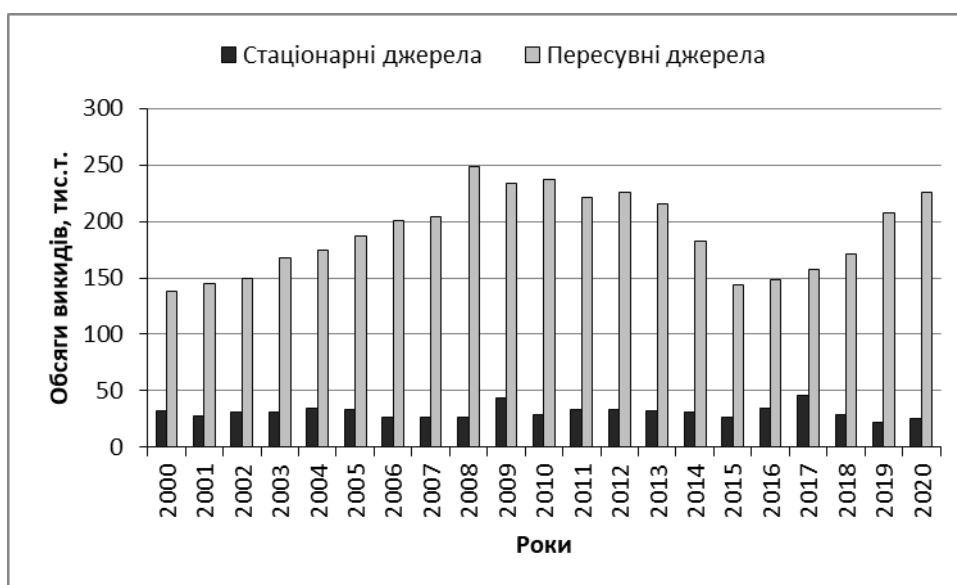


Рисунок 1.3 – Динаміка викидів забруднюючих речовин у м. Києві

На сьогоднішній день автомобільний транспорт є основним антропогенним джерелом забруднення довкілля. Динаміка світового автопарку вказує, що рівень автомобілізації в країнах із розвинутою економікою постійно зростає. Найбільш високі показники рівня автомобілізації населення спостерігаються в США – 750 автомобілів на 1000 жителів, країнах Європи (Франція – 550, Англія – 500, Німеччина – 490 та ін.) та Азії (Японія – 380 автомобілів на 1000 жителів) [23, 27, 52].

Рівень автомобілізації в Україні, на сьогодні, становить у середньому 187 автомобілів на 1000 жителів країни. Найбільші рівні автомобілізації спостерігаються в Київській, Запорізькій, Волинській, Дніпропетровській, Одеській, Харківській областях. Місто Київ має найвищий показник – 343 автомобілів на 1000 жителів [79, 81, 82]. Темпи зростання розвитку автотранспорту значно вищі, ніж промислового виробництва, тому є очевидним, що частка забруднення атмосферного повітря автотранспортом у майбутньому буде зростати.

Негативний вплив автомобільного транспорту на екосистеми полягає в: зниженні ефективності функціонування ВДМ; споживанні природних ресурсів (атмосферного повітря, що потрібне для перебігу робочих процесів у двигунах внутрішнього згоряння транспортних засобів; нафтопродуктів і природного газу, для отримання палива ; води для систем охолодження двигунів і мийки автомобілів, земельних ресурсів, а саме відведенні під будівництво об'єктів дорожньо-транспортного комплексу автомобільних доріг), забрудненні атмосфери, ґрунтів, водних об'єктів шкідливими речовинами; виділенні теплоти в довкілля; створенні високих рівнів шуму, вібрації, електромагнітних випромінювань; травмуванні та загибелі людей, тварин, нанесення матеріальних збитків внаслідок аварій; порушенні ґрунтово-рослинного покриву тощо (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Негативний вплив автомобільного транспорту на довкілля

Надходження забруднюючих речовин в атмосферне повітря від автомобіля у процесі його експлуатації залежить передусім від типу двигуна та його потужності, вікового стану і ступеня зношеності його основних механізмів, умов експлуатації, аеродинамічних характеристик кузова тощо. Найбільше автомобілі забруднюють повітря під час руху з малою швидкістю та частих зупинках [15, 52, 77].

Негативний вплив автомобільного транспорту в першу чергу полягає у забрудненні атмосферного повітря, водних об'єктів, зміні хімічного складу ґрунтів і мікрофлори, утворенні виробничих відходів. Забруднюючі речовини негативно впливають на створені людиною системи, особливо на будівельні матеріали, історичні архітектурні і скульптурні пам'ятники та інші твори мистецтва, викликають корозію металів;

Якщо оцінювати внесок автомобільного транспорту в загальне забруднення атмосферного повітря в Україні, то викиди транспортних засобів (ТЗ) складають приблизно 40% усіх забруднюючих речовин. Разом з тим в багатьох містах України викиди автотранспорту становлять від 60 до

90% загальної кількості викидів, що на сьогодні є значною проблемою для великих міст [28]. Значний внесок в дослідження цього питання зробили Гутаревич Ю.Ф., Бакуліч О.О., Сніжко С.І., Шевченко О.Г., Олійник Р.В., Маренко А.М., Кіптенко Є.М. та інші. Вченими досліджено вплив основних характеристик транспортного руху на рівень забруднення повітря міських автомагістралей та процес розсіювання забруднюючих речовин від автотранспорту в умовах великих міст. А також, досліджені деякі аспекти впливу мікрокліматичних особливостей на рівень забруднення атмосферного повітря ТП [10-14, 47-49, 55-59, 89-92].

Специфіка забруднення атмосферного повітря ТП полягає в їх безпосередній близькості до житлових районів, територіальному розподілі, приземному розташуванні. При цьому поля концентрації забруднюючих речовин, які утворюються в приземному шарі атмосфери мають просторово-часову неоднорідність, що пояснюється як динамічними (інтенсивність, склад транспортного потоку, метеорологічні умови) так і статичними (геометричні характеристики ВДМ, рельєф місцевості, наявність зелених насаджень, регульованих перехресть, просторова орієнтація вулиці тощо) чинниками [4, 14, 31, 32, 73].

Основну небезпеку щодо забруднення атмосферного повітря мають відпрацьовані гази (ВГ). У ВГ входить більше 1000 різних забруднюючих речовин, що шкідливо впливають на довкілля. Основними серед них є оксид вуглецю (CO), вуглеводні (C_mH_n), оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO_2), тверді частинки (C), альдегіди, сполуки свинцю тощо [13, 28, 63].

Оксид вуглецю являється продуктом неповного згоряння палива. Його концентрація у ВГ залежить від складу паливоповітряної суміші. Основний негативний вплив CO полягає у порушенні газового обміну в організмі людини. Довготривале вдихання оксиду вуглецю призводить до серцево-судинних захворювань, враження центральної нервової системи, розвитку легеневих захворювань.

Вуглеводневі сполуки являють собою газоподібні частинки палива, що не згоріло. У ВГ їх міститься декілька сотень різновидів. Основний чинник, що впливає на концентрацію вуглеводнів у ВГ є склад паливоповітряної суміші. Специфіка дії вуглеводнів на організм людини проявляється в їх впливі на центральну нервову систему. Також вуглеводні спричиняють виникнення серцево-судинних захворювань, аритмію серця, зміни у складі крові.

Утворення оксидів азоту у ВГ в процесі згоряння палива, насамперед, пов'язане з високою температурою в циліндрах двигуна. Оксиди азоту мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки. А також здатні глибоко проникати в легені, викликаючи пошкодження їх тканин.

Утворення сажі (С) під час згоряння палив пов'язане з термічним розкладом вуглеводнів палива в умовах високих температур і нестачі кисню. Основною небезпекою сажі є накопичення на своїй поверхні великої кількості вуглеводневих сполук, найбільш небезпечною серед яких є бензапірен. Крім того, сажа погіршує прозорість атмосфери.

Частка забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом розподілено наступним чином: за оксидом вуглецю становить 49%, за вуглеводнями – 32%, за оксидами азоту – 20% [20, 28, 44].

В Україні діє єдина система державного моніторингу навколишнього природного середовища в яку входять входять збір, обробка, зберігання та подальший аналіз інформації про стан атмосферного повітря. Сучасна система моніторингу якості атмосферного повітря складається з постів двох типів: стаціонарних та маршрутних.

У м. Києві постійний контроль за забрудненням повітря виконує Центральна геофізична обсерваторія. Моніторинг забруднення атмосферного повітря проводиться щоденно на 16 стаціонарних постах у 8 районах столиці [14, 50, 77]. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря проводиться методом порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин з відповідними гранично допустимими концентраціями (ГДК). Гранично

допустимою концентрацією шкідливої речовини вважається така концентрація домішок у навколишньому середовищі, яка не чинить на людину прямого чи опосередкованого негативного впливу, не зменшує її працездатність, не впливає на самопочуття і настрої, не шкодить її здоров'ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків.

Виділяють максимально-разові, середньодобові та ГДК у робочій зоні. Основною характеристикою небезпеки шкідливої речовини є максимальна разова ГДК. Вона встановлюється з метою попередження рефлекторних реакцій людини при короточасній дії (до 20 хв.) поллютантів. Рівень забруднення повітря у місті значною мірою зумовлений викидами автомобільного транспорту.

Якщо має місце наявність кількох забруднювачів, то сума відношень концентрацій до ГДК не повинна перевищувати одиницю:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (1.1)$$

де: C_i – концентрація i -ої забруднюючої речовини, $мг/м^3$;

$ГДК_i$ – гранично-допустима концентрація i -ої забруднюючої речовини, $мг/м^3$;

За характеристику якості повітря в містах та виявлення речовин, що вносять найбільший внесок у забруднення атмосфери обрано комплексний індекс забруднення атмосфери (ІЗА). Комплексний ІЗА дозволяє визначити у скільки разів сумарний рівень забруднення повітря кількома домішками перевищує допустиме значення [74, 81, 94].

В більшості європейських країн, США, Канаді тощо для контролю рівня забруднення атмосферного повітря використовується індекс якості атмосферного повітря (AQI). При розрахунку AQI концентрація забруднюючих речовин визначається шляхом натурних досліджень

(моніторингу) або математичним моделюванням. В багатьох країнах створені національні мережі станцій контролю атмосферного повітря в режимі on-line. Моніторинг забруднення ведеться переважно за шістьма основними забруднюючими речовинами: діоксидом сірки, завислими частинками розміром до 10 мікрон (PM_{10}), завислими частинками розміром до 2.5 мікрон ($PM_{2.5}$), оксидами азоту, оксидами вуглецю і озону на основі яких визначається індекс якості повітря. Для оцінки якості повітря у Європі використовують Загальний Індекс якості повітря (CAQI). Три різні показники дозволяють зіставляти різні часові масштаби: щогодинний індекс описує якість повітря, виходячи з щогодинних значень та оновлюється кожну годину, щоденний індекс відповідає за загальну якість повітря попереднього дня, базується на основі щоденних значень забруднення і оновлюється раз в день, щорічний індекс демонструє індекс якості повітря протягом всього року [16, 20, 77]. В деяких країнах дані про вміст основних забруднювальних речовин при розрахунку AQI трансформуються в оціночну шкалу від 0 до 500 одиниць. Ця шкала поділена на 5 діапазонів, залежно від можливого впливу забруднення повітря на здоров'я людей.

1.2 Методи і моделі формування та управління транспортними потоками міст

Транспортний потік та сукупність умов, в яких він рухається, є типовим прикладом складної системи, яка містить велику кількість взаємно пов'язаних і взаємозалежних між собою елементів. Рух ТП є результатом безперервної взаємодії між окремими елементами системи "водій – автомобіль – дорога – навколишнє середовище" (ВАДС) у просторі та часі. Особливістю такої системи є функціонування в умовах дії значної кількості випадкових факторів.

Метою моделювання дорожнього руху є оцінка та прогноз усіх параметрів функціонування ВДМ, таких як інтенсивність руху на всіх

елементах транспортної мережі, щільність руху, обсяги перевезень громадського транспорту, середні швидкості руху, затримки та втрати часу тощо [66].

Моделювання руху ТП включає розробку математичної моделі, яка може точно відображати характеристики їх функціонування, а саме інтенсивності руху на ділянці дорожньої мережі, середньої швидкості руху тощо. Ці моделі можуть відрізнятися за функціональністю, математичним апаратом, вхідними даними та рівнем деталізації. Зазвичай моделі ТП поділяються на імітаційні моделі, що відтворюють динаміку руху автотранспорту, прогнозні моделі, що прогнозують завантаження доріг, а також оптимізаційні. [67, 79, 81, 82].

Прогнозні моделі призначені для моделювання ТП у транспортних мережах з відомою геометрією та характеристиками, при відомому розміщенні потокоутворюючих об'єктів міста. Такі моделі застосовуються при вирішенні питань у сфері планування розвитку міста, для аналізу наслідків тих чи інших заходів щодо організації дорожнього руху, вибору альтернативних проектів розвитку транспортної мережі міста.

Даний клас моделей охоплює різноманітні математичні підходи до опису динаміки ТП з різним ступенем деталізації. Ці моделі можна класифікувати за типом змінних (неперервні, дискретні, напівдискретні), рівнем деталізації (субмікроскопічні, мікроскопічні, мезоскопічні, макроскопічні), ступенем визначеності (детерміновані, стохастичні), методом розв'язання (аналітичний, метод моделювання) та областю застосування (вулично-дорожня мережа, окремі ділянки мережі, перехрестя вулиць і доріг).

Імітаційне моделювання досліджує відтворення всіх умов руху ТП і дозволяє визначити затримки на перехрестях, швидкість руху, динаміку та довжину черг та інші характеристики руху. Моделі даного типу широко застосовуються при вдосконаленні організації руху. Прогнозні та імітаційні моделі доволі часто доповнюють один одного. Так, прогноз інтенсивності

руху може слугувати у якості вихідних даних для імітаційного моделювання роботи системи координованого управління. А поліпшення умов руху призводить до перерозподілу ТП у вулично-дорожній мережі. Маршрут із найкращими умовами руху залучає додатковий обсяг руху [66, 82].

Оптимізаційні моделі вирішують задачі оптимізації маршрутів пасажирських та вантажних перевезень, розрахунку оптимальних планів роботи світлофорної сигналізації, вибору оптимальної конфігурації транспортної мережі. При розробці оптимізаційної моделі необхідно визначити цільову функцію та встановити обмеження. В якості цільової функції може прийматися витрати на рух, час переміщення тощо для якої потрібно знайти мінімальне або ж максимальне значення. Обмеженнями можуть слугувати вимоги безпеки руху або забезпечення мінімальних потреб у пересуванні.

Мікроскопічні та субмікроскопічні імітаційні моделі ТП забезпечують детальний опис просторово-часових характеристик кожного елементу системи (водія, транспортного засобу, дороги, оточуючого середовища та інших), де всі складові взаємодіють та залежать одна від одної. Наприклад, в таких моделях зміна смуги руху автомобіля у потоці автотранспорту буде відтворюватися через послідовність рішень, що приймаються водієм.

Мікроскопічні імітаційні моделі дозволяють математично описати рух окремих автомобілів та дії водія. У таких моделях, для кожного моменту часу положення, швидкість руху і прискорення автомобіля визначаються відповідно до дій водія та характеристик автомобіля [67, 82].

Детальний аналіз мікроскопічних імітаційних моделей представлено в роботі [95], де розглядається близько 50 моделей, більшість з яких описує рух і маневри (зміну смуги руху) автомобіля, як "рух за лідером". Прикладом мікроскопічних моделей може бути AIMSUN2, FOSIM, модель Відемана та ін. [116, 151].

При мікроскопічному моделюванні ТП також використовують моделі клітинкових автоматів [107, 132]. У таких моделях ділянка дороги

поділяється на окремі комірки однакової довжини і рух автомобіля розглядається дискретно від комірки до комірки.

Отже, мікроскопічне моделювання дозволяє аналізувати рух автомобільного транспорту на перехрестях, враховувати вплив режиму роботи світлофорів на динаміку його руху, оцінювати ефективність заходів з організації дорожнього руху на різних ділянках і перехрестях ВДМ тощо.

Мезоскопічне моделювання функціонування ТП є проміжним рівнем моделювання, що описується в агрегованих показниках, зокрема, за допомогою функцій розподілу ймовірностей. До таких моделей відносяться моделі розподілу інтервалів руху (модель черг, пуасонівська модель), кінетичні моделі [114, 117].

Мезоскопічні моделі, що базуються на кінетичному рівнянні, дозволяють описати динаміку фазової щільності ТП. Вони дозволяють аналізувати щільність розподілу автомобілів як за координатою, так і за їхньою індивідуальною швидкістю. До основних недоліків мезоскопічних моделей відносяться наступні аспекти: вони не враховують динаміку руху; функції розподілу ймовірностей не залежать від способу переміщення, типу транспортного засобу, мети переміщення та інших факторів.

Макроскопічні моделі ТП описують стан потоку через взаємозв'язок його основних параметрів – інтенсивність, щільність та швидкість руху. Моделі, що відносяться до цього класу, як правило виводяться із аналогії потоків у суцільних середовищах. Основною вважається гідродинамічна модель, в якій введено рівняння неперервності транспортного потоку та передбачається, що швидкість є функцією щільності потоку.

Макроскопічні моделі мають деякі обмеження, оскільки не враховують розміри окремих автомобілів. Деталізований опис руху автомобіля в ТП забезпечується за допомогою мікроскопічного моделювання, де враховується зв'язок між автомобілями через відстань між ними та їхню швидкість руху. Також виділяють моделі, які базуються на аналогії процесів, що

відбуваються в електричних колах, які можуть застосовуються, зокрема, в логістиці при моделюванні ТП.

Серед моделей прогнозування основних параметрів дорожнього руху виділяють моделі прогнозування на основі архівних даних, моделі на основі алгоритму фільтрації Калмана, моделі регресії, метод опорних векторів. Також на сьогоднішній день існує ряд методик щодо управління ефективністю роботи ВДМ, а також низка моделей для контролю та прогнозування критичних ситуації, що пов'язані з пропускнуою здатністю ВДМ міста. В даних моделях використовуються методи теорії масового обслуговування, теорії випадкових процесів на основі ланцюгів Маркова, теорія нечітких множин, моделі нейронних мереж, гідродинамічна аналогія тощо [35, 82, 124].

Питанню вирішення завдань управління ТП та організації дорожнього руху присвячена значна кількість наукових праць вітчизняних та зарубіжних учених, зокрема Абрамової Л.С., Гаврилова Е.В. Дзюби О.П., Єресова В.І., Капітанова В.Т., Кременця Ю.А., Лобанова Є.М. Поліщука В.П., Прокудіна Г.С., Хабутдінова Р.А., Янішевського С.В., Billinge H., Drew D., Frank M., Haight F., Lighthill M., Marshall C., Whitham G., Wolfe P. та інших.

На сьогоднішній день вирішення питань транспортного моделювання та прогнозування здійснюється за допомогою спеціалізованих пакетів транспортного планування, які дають змогу кількісно оцінити основні параметри транспортного процесу.

Незважаючи на те, що на ринку послуг розроблено велику кількість програмних продуктів, що дозволяють проводити кількісну оцінку транспортного моделювання, однак жоден з програмних продуктів не може забезпечити абсолютну точність прогнозу, а також не надає рекомендацій до вибору відповідного інструментарію. Вони здатні програмно реалізувати існуючі методи моделювання та прогнозування з певним наближенням, що і визначає корисність відповідного програмного продукту. Найбільш поширеними недоліками, які обмежують широке застосування таких програм

є те, що більшість з них створювалися під конкретних користувачів та для вирішення конкретних задач, емпіричні дані є застарілими та не відповідають сучасним реаліям, а також використання спрощених алгоритмів та методик.

Серед імітаційних програмних пакетів моделювання ТП на мікрорівні найбільш поширеними в європейських країнах є VISSIM, AIMSUN2, SISTM, DRACULA тощо.

Варто зазначити, що деякі з них здатні моделювати як показники індивідуальних транспортних засобів, так і систем громадського транспорту. Так програмний комплекс AIMSUN - Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks представляє повнофункціональний комплекс інструментів аналізу та прогнозування транспортних потоків, а також пасажирських перевезень. Даний програмний продукт має можливість імпортувати та обробляти масив даних з багатьох геоінформаційних систем, таких як ESRI, Atlas тощо, а також він здатен відтворювати реальні умови транспортного руху в міській вуличних мережах. Оскільки програма заснована на мікроскопічному моделюванні, то, на основі моделей поведінки водія, показники кожного транспортного засобу в транспортній мережі постійно коригується у часі [54].

Програмний продукт DRACULA - Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro-simulation розроблений у Великобританії в інституті транспортних досліджень, забезпечує мікромоделювання транспортних процесів. На сьогоднішній день дана модель активно вдосконалюється. Вона дозволяє моделювати наслідки спеціальних умов таких як нещасні випадки, погодні умови, які негативно відбиваються на пропускній здатності доріг, а також моделює наслідки попиту та пропозиції в транспортній мережі.

Одним з найбільш поширених програмних продуктів транспортного планування є програмний комплекс VISSIM, що включає в себе низку програмних продуктів, які використовують багатофакторні, достовірні та перевірені часом моделі. Програмного комплекс VISSIM здійснює

планування транспортної мережі на всіх рівнях, починаючи від перехрестя та закінчуючи транспортною мережею всього міста або країни.

VISSIM – багатоцільовий комплекс програм для моделювання ТП на мікрорівні та призначений для аналізу, оптимізації міських та міжміських транспортних сполучень. Він дозволяє управляти системами контролю трафіку та альтернативних маршрутів, аналізувати ємність стоянок, а також моделювати ТП з різними ТЗ на різних рівнях, включаючи пересадки, перетини. VISSIM використовує ГІС для відображення і редагування транспортної мережі, а також надає можливість збору статистичних даних на будь-якій ділянці дороги [54].

Підвищення якості транспортного моделювання включає верифікацію, валідацію і калібрування моделі. Процес верифікації належить до перевірки вихідним даним, які використовуються у моделі, процес "валідації" полягає в перевірці працездатності алгоритму розрахунку. Калібрування моделі забезпечує відтворення типової поведінки реального ТП при моделюванні. У процесі калібрування параметри моделі коригуються до досягнення прийнятної відповідності між модельними та натурними даними, що спостерігаються.

Процедура калібрування моделі здійснюється ітераційно і включає такі етапи: збір натурних даних про параметри ВДМ, проведення вибірових спостережень за станом ТП; встановлення початкових оцінок параметрів моделі, використовуючи наявні дані щодо геометричних та функціональних особливостей ВДМ та ТП; моделювання транспортного потоку та отримання даних про стан транспортної мережі у контрольних перерізах; порівняння змодельованого та отриманого в результаті спостережень станів ТП; при значущих відмінностях, необхідна модифікація параметрів моделі з повторенням процедури калібрування; при незначних відмінностях процес калібрування закінчується.

Найчастіше під час калібрування використовують наступні змінні: інтенсивність руху, швидкість руху, зайнятість контрольного перерізу

транспортної мережі, час руху. Для мікроскопічних імітаційних моделей калібруванню підлягає розподіл швидкостей у транспортному потоці при сталій інтенсивності руху [41, 68, 54].

1.3 Методологічні підходи оцінки масових викидів забруднюючих речовин транспортними потоками та заходи спрямовані на зниження негативного впливу автомобільного транспорту

Сучасний автопарк міста уявляє собою велику сукупність різноманітних ТЗ, які вирізняються широким спектром марок, моделей, серій. При визначенні рівня забруднення довкілля, необхідно враховувати склад ТП, тип двигуна, технічний стан, час перебування в експлуатації автомобіля тощо. Тому кількісна оцінка техногенного впливу від ТП, що функціонує в умовах великого міста, є складною, багатофакторною задачею [79, 80, 88].

Методологія оцінки викидів забруднюючих речовин ТП, що використовується в різних країнах подібна. Вона заснована на використанні статистичних даних про кількість спожитого палива або на дослідженні характеристик ТП та використанні питомих пробігових викидів.

Головним завданням при визначенні інгредієнтного забруднення є розробка основних принципів поділу ТП на окремі групи і віднесення кожної з груп до конкретної типової моделі автомобіля. Складність даної задачі полягає перш за все у тому, наскільки об'єктивну інформацію про інтенсивність та якісну структуру ТП можна зібрати за допомогою натурних досліджень [15].

Для оцінки інгредієнтного забруднення від ТП розроблено ряд методик як вітчизняними так і зарубіжними науково-дослідними інститутами [60-62]. Дані методики можна умовно поділити на два типи. До першого типу належать методики інвентаризації забруднюючих речовин в масштабах

автомобільного парку підприємства або країни в цілому за певний період часу. Вони засновані на використанні статистичної інформації про структуру автопарку та витрати палива спожитого певним типом ТЗ. А також включають оцінку забруднення від ТЗ, різних марок, моделей, що відповідають різним екологічним нормам, які експлуатуються в міських умовах і призначені для розрахунку викидів забруднюючих речовин та оцінки забруднення атмосфери ТЗ різних екологічних категорій. Згідно даних методик, розрахункова інвентаризація викидів проводиться за типами ТЗ: легкові автомобілі, вантажні автомобілі та автобуси повною масою до 3500 кг; вантажні автомобілі повною масою більше 3500 кг; автобуси повною масою більше 3500кг. При цьому кожен тип автотранспортного засобу в залежності від виду палива поділяється на автомобілі, які працюють на бензині, дизельному паливі, зрідженому нафтовому газі та стиснутому природному газі. Крім того, ТЗ поділяються на екологічні класи у відповідності до їх екологічних характеристик. Питомі масові викиди забруднюючих речовин від автотранспортних засобів різних екологічних класів, оцінюють виходячи із середніх масових викидів забруднюючих речовин в міських умовах. Кількість ТЗ відповідного екологічного класу визначається на основі дослідження структури парку ТЗ, які зареєстровані на території даного міста. Інтенсивність руху, склад ТП в залежності від типу та умови руху визначаються за результатами моніторингу ТП. Дані методики інвентаризації викидів забруднюючих речовин від ТЗ, дозволяють лише наближено оцінити масові викиди забруднюючих речовин за умови, що відома кількість ТЗ даного типу, їх екологічний клас та вид палива, який вони споживають. Дана інформація отримується із дослідження структури парку ТЗ, які зареєстровані на території міста [13, 15, 60, 61].

До другого типу відносяться методики, які оцінюють викиди забруднюючих речовин на окремій ділянці вулично-дорожньої мережі. В якості вихідних даних використовуються результати натурних досліджень структури та інтенсивності ТП на автомагістралях міста з поділом ТЗ за

основними групами. В цьому випадку питомі викиди забруднюючих речовин уявляють собою усереднені викиди для досліджуваних груп автомобілів (рис. 1.5)

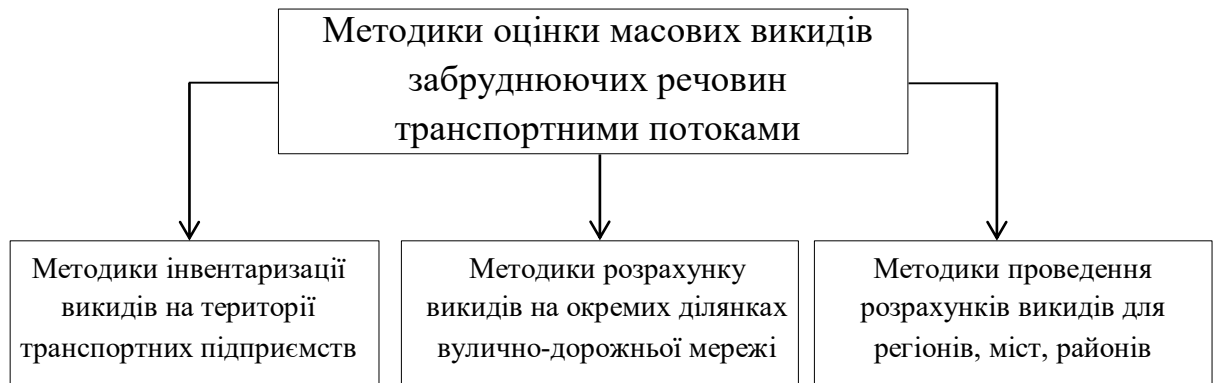


Рисунок 1.5 – Класифікація методик оцінки інгредієнтного забруднення транспортними потоками

Характеристики ТП, на вибраних ділянках ВДМ, встановлюються в результаті обліку ТЗ, що рухаються в обох напрямках, із розподіленням їх на групи за відповідним типом, а саме легкові бензинові, легкові дизелі, малі вантажні бензинові (до 5 тон), вантажні бензинові (6 тон і більше), вантажні дизелі, малі автобуси бензинові, малі автобуси дизелі, малі автобуси на зрідженому нафтовому газі, автобуси бензинові, автобуси дизелі, автобуси на зрідженому нафтовому газі. Розрахунок масових викидів забруднюючих речовин здійснюється на основі середньої експлуатаційної витрати палива, яка споживається певним типом ТЗ. Основним недоліком даних методик є складність віднесення автомобіля до певної групи під час натурних досліджень.

Для екологічної оцінки автомобільних двигунів як джерела забруднення використовують наступні показники:

Кількість і-того компоненту, що виділяється двигуном в одиницю часу, г/год:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вг}} , \quad (1.2)$$

де C_i – концентрація відповідного токсичного компоненту, $\text{г}/\text{м}^3$;

$V_{\text{вг}}$ - об'ємна витрата відпрацьованих газів, $\text{м}^3/\text{год}$.

Питомі викиди – викиди забруднюючих речовин, які надходять у повітря від споживання однієї тони пального двигунами внутрішнього згоряння ТЗ.

$$g = \frac{G_i}{N_e} , \quad (1.3)$$

де g - показник питомого рівня викиду шкідливих речовин, $\text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$;

N_e - ефективна потужність двигуна, кВт .

Пробіговий викид (q_i , $\text{г}/\text{км}$) - кількість викидів забруднюючих речовин за одиницю пройденого шляху автомобілем:

$$q_i = \frac{G_i}{v} , \quad (1.4)$$

Інтенсивність викиду ТП (Q_i , $\text{мг}/\text{м} \cdot \text{с}$) - це кількість токсичних компонентів, що викидається ТП в одиницю часу за одиницю пройденого шляху [28, 63].

В більшості Європейських країн для оцінки викидів забруднюючих речовин автомобільним парком використовується розрахункова методика Corpert 4. Вона заснована на використанні статистичних даних про структуру автопарку та на використанні питомих викидів по стандартному Європейському їздовому циклу з урахуванням коригуючих коефіцієнтів.

Таким чином, на сьогоднішній день, розробка методики визначення викидів забруднюючих речовин транспортними потоками, з використанням

статистичної інформації про склад парку транспортних засобів є актуальною задачею.

Природоохоронні заходи направлені на зниження рівня забруднення атмосферного повітря від транспортних потоків можна умовно поділити на такі групи: заходи спрямовані на поліпшення екологічних показників автомобілів (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Комплекс заходів щодо забезпечення екологічної безпеки довкілля міст

До них належать: використання альтернативних видів палива, застосування каталітичних нейтралізаторів, вдосконалення конструкцій двигунів та застосування нових типів силових установок; заходи з організації, управління дорожнім рухом, а також раціональної експлуатації автомобіля; заходи спрямовані на зменшення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

До першої групи належать наступні: використання альтернативних видів палива, застосування каталітичних нейтралізаторів, вдосконалення конструкцій двигунів, застосування нових типів силових установок тощо [5, 28, 63, 86].

Каталітичні нейтралізатори застосовують для зменшення забруднюючих речовин у ВГ. Для прискорення перебігу окисних і відновних реакцій в нейтралізаторах застосовують різні каталізатори (прискорювачі реакцій). Залежно від здатності активізувати ті або інші реакції каталізатори поділяють на: окисні, які прискорюють перебіг реакції окислення оксиду вуглецю і вуглеводнів; відновні – для відновлення оксидів азоту; двофункціональні, які одночасно активізують окисні та відновні реакції. Найбільш широко у практиці очищення відпрацьованих газів використовуються каталізатори на основі благородних металів – паладію і платини. Вони мають хорошу селективність, низькі температури початку ефективної роботи та довговічні. В окисних і відновних реакціях можна застосовувати відносно дешеві каталізатори на основі міді, марганцю, нікелю, хрому тощо. Але ці каталізатори недовговічні, і їх ефективність значно менша.

Трьохкомпонентний каталітичний нейтралізатор є елементом системи очищення ВГ як у двигунах з впорскуванням палива у впускний трубопровід так і безпосереднім впорскуванням палива. При перетворенні основних забруднюючих речовин утворюється водяний пар, вуглекислий газ та азот.

Для того, щоб відсоток перетворення забруднюючих речовин був найбільшим, необхідно мати стехіометричне відношення палива та повітря у суміші. У системах живлення з електронним керуванням подачею палива ефективність очистки відпрацьованих газів значно вища, ніж у звичайних системах. Досягають цього стабілізацією складу суміші, що надходить у двигун, до стехіометричного. Щоб досягти цього, застосовують принцип регулювання подачі палива із зворотним зв'язком, тобто регулювання складу суміші здійснюють за вмістом кисню у ВГ.

Коефіцієнт ефективності нейтралізації ВГ сучасних нейтралізаторів за трьома основними компонентами становить: $E_{CH}=85\%$, $E_{CO}=93\%$, $E_{NO}=95\%$.

Використання альтернативних палив є одним із перспективних напрямків зменшення токсичності ВГ та збереження енергетичних ресурсів. Серед замінників нафтових палив виділяють такі групи:

- видобувні та супутні газоподібні палива. Найбільш поширеними є природний газ та зріджений нафтовий газ.

- синтезовані і гідролізні альтернативні палива. Водень має значні переваги перед вуглеводневим паливом, оскільки під час згоряння водне повітряної суміші утворюється водяна пара, а шкідливі продукти неповного згоряння відсутні. Основними недоліки водню пов'язані з особливістю роботи двигуна та його добуванням та зберіганням.

- палива, що отримують з відновлювальних ресурсів. До них належать спирти (метанол і етанол). Основними перевагами даних палив є зменшення викидів більшості шкідливих речовин з відпрацьованими газами порівняно з бензином. Але в той же час спостерігається більш сильне зношування деталей двигуна.

- традиційні нафтові палива з добавками. В якості добавок до традиційних нафтових палив використовують водень, метанол, етанол, що дозволяє суттєво знизити викиди забруднюючих речовин.

Основними напрямками удосконалення бензинових двигунів є поліпшення паливної економічності та зменшення токсичності ВГ. Вирішення цих задач, насамперед, досягається шляхом стійкого згорання збіднених паливо повітряних сумішей в усіх експлуатаційних режимах роботи двигуна; застосуванням систем живлення з впорскуванням палива, удосконалення систем газорозподілу, удосконалення камер згоряння дизелів, удосконалення систем наддуву тощо. Також одним з перспективних заходів вважається заміна бензинових двигунів дизелями. Застосування дизелів на автомобілях в експлуатаційних умовах забезпечує зменшення витрати палива на 35-50% у порівнянні з бензиновими двигунами.

Перспективним напрямком застосування інших типів двигунів вважається використання електромобілів, гібридних двигунів [5, 28].

Заходи з організації дорожнього руху включають оптимальне управління транспортними потоками (попередження станів перевантаження ділянок вулично-дорожньої мережі, зменшення заторів), будівництво підземних пішохідних переходів та транспортних розв'язок, оптимальне світлофорне регулювання (організація руху за принципом “зелена хвиля”), покращення якості дорожнього покриття.

Оскільки рух у населених пунктах є циклічним, то довжина шляху циклу визначається відстанню між світлофорами, перехрестями, пішохідними переходами. Збільшення шляху циклу призводить до зменшення витрат палива та викидів забруднюючих речовин. Також суттєво впливає на кількість шкідливих викидів швидкість руху автомобілів.

Зменшенню викидів забруднюючих речовин сприяє раціональна експлуатація автомобілів: підтримка автомобілів у технічно справному стані, оптимальне управління автомобілем в експлуатаційних умовах, раціональне використання автомобілів під час виконання транспортної роботи. Значний вплив на кількість шкідливих викидів автомобілем має кваліфікація водія і використання ним раціональних прийомів управління [67].

Заходи спрямовані на зменшення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі включають будівництво інженерних споруд, які сприяють захисту навколишнього середовища, влаштування в буферній зоні смуг зелених насаджень тощо. Зелені насадження очищають повітря від шкідливих речовин, пилу, повертають у атмосферу вилучений кисень, підтримуючи постійний хімічний склад повітря. Крім того, зелені насадження мають властивість осадження та біологічної переробки токсичних сполук.

Оскільки найбільш ефективними, оперативними і економічно доцільними в умовах великих міст, є заходи з удосконалення організації та управління дорожнім рухом, тому їх розробка та вдосконалення є актуальною задачею при управлінні екологічним станом міста.

1.4 Теоретичні основи моделювання розсіювання забруднюючих речовин транспортними потоками

Оцінка стану забруднення атмосферного повітря міста ведеться за двома напрямками: натурні спостереження та математичне моделювання.

На сьогоднішній день спостереження за вмістом забруднювальних речовин у повітрі проводяться у 53 містах України. Сучасна система моніторингу якості атмосферного повітря складається зі стаціонарних та маршрутних постів. Для кожного міста кількість постів повинна визначатися з урахуванням його площі, рельєфу, розвитку промисловості, кількості населення тощо [51, 77, 89-92].

На відміну від моніторингу, що є досить витратним дослідженням, математичне моделювання здійснює не лише оперативну оцінку рівня забруднення атмосфери, а також дає змогу прогнозувати якість стану повітря та визначати стратегії скорочення викидів забруднюючих речовин.

Побудова математичних моделей базується на результатах теоретичного та експериментального дослідження закономірностей розповсюдження забруднюючих речовин, які дозволяють будувати поля забруднення та відображати їх просторово-часову динаміку. Крім того, під час розсіювання забруднюючих речовин можуть відбуватися такі процеси: хімічна трансформація забруднюючих речовин, вологе та сухе осадження тощо [5, 7, 16].

Розвиток математичних моделей розсіювання забруднюючих речовин здійснювався за допомогою двох підходів. Перший полягає в розробці теорії атмосферної дифузії. Такі моделі ґрунтуються на описанні фізичних та хімічних процесів. Даний підхід є більш універсальний, оскільки дозволяє досліджувати розповсюдження полутантів від різних типів джерел забруднення, та різних характеристик середовища. Інший підхід пов'язаний з емпірико-статистичним аналізом розповсюдження забруднюючих речовин з

використанням, головним чином, моделей Гаусівського типу. Дані моделі є більш простіші, що забезпечує їх широке використання [7, 57, 58].

Також моделі розсіювання забруднюючих речовин можна розділити за просторово-часовим масштабом: локальні, регіональні та глобальні моделі. У локальних моделях часовий масштаб процесів розсіювання складає від декількох хвилин до декількох годин. Просторовий – від декількох десятків метрів до декількох десятків кілометрів. Структура повітряного потоку, в основному, залежить від характеристик підстилаючої поверхні.

У регіональних моделях часовий масштаб складає від декількох годин до декількох днів, просторовий масштаб – від декількох десятків до декількох сотень кілометрів. Характер переносу забруднюючих речовин, головним чином, визначається синоптичними процесами та гідродинамічними ефектами у граничному шарі.

У глобальних моделях часовий масштаб складає більше тижня, просторовий масштаб – від декількох сотень до декількох тисяч кілометрів. Рух атмосфери, що визначає перенесення забруднюючих речовин формується великомасштабними атмосферними процесами [4, 5, 76].

Задача моделювання рівня забруднення атмосфери має спільну основу з вивченням атмосферної дифузії. Систематичні дослідження атмосферної дифузії пов'язані з проблемами забруднення атмосфери почалися у 50-х роках двадцятого століття.

Перенесення забруднюючих речовин у приземному шарі описується за допомогою рівняння турбулентної дифузії:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + R_c + S_c \quad (1.5)$$

де $C(x,y,z,t)$ – концентрація забруднюючої речовини, $мг/м^3$;

u, v, w – компоненти швидкості вітру за напрямками x, y, z відповідно, $м/с$;

K_x, K_y, K_z – коефіцієнти турбулентної дифузії, $м^2/с$;

R_c – характеризує внесок хімічних реакцій;

S_c – характеризує внесок джерела викидів та осадження забруднюючих речовин.

Якщо відомо поле швидкості вітру $\vec{V} = (u, v, w)$, то рівняння 1.5 представляє собою лінійне диференціальне рівняння другого порядку параболічного типу. Для його інтегрування необхідно задати початкові та граничні умови. Початкові умови в момент часу $t = 0$ задаються у вигляді початкового розподілу концентрації: $C = C_0(x, y, z)$, при $t = 0$. Граничні умови повинні задовольняти єдиному розв'язку крайової задачі.

Коефіцієнти турбулентної дифузії K_x, K_y, K_z , що входять в рівняння 1.5 визначаються за допомогою емпіричних моделей різного типу.

Існують різні моделі атмосферної дифузії, але всі вони в якості вхідних параметрів мають однакові характеристики турбулентності в граничному шарі атмосфери. У якості вхідних параметрів, зазвичай, виступають вертикальні профілі компонент швидкості вітру, вертикальні профілі дисперсій швидкості вітру, вертикальні профілі температури. Ці показники, як правило, визначаються через наступні параметри: швидкість геострофічного вітру, параметр шорсткості та висота граничного шару [2, 4].

Структуру турбулентних течій детально описати неможливо, через її складність, тому вивчення турбулентних течій атмосфери досягається шляхом визначення їх статистичних характеристик. З цією метою рух розбивається на дві складові: середній потік та пульсуючі турбулентні збурення. При визначенні середнього потоку необхідно виконати осереднення по досить великому числу незалежних реалізацій руху. Оскільки це зробити вкрай складно, то при побудові моделі припускається, що рух є статистично стаціонарним процесом і його середнє значення не змінюється з часом. Тому для кожного параметру необхідно вказувати час осереднення [4, 7].

Оскільки атмосферна дифузія визначається турбулентністю атмосфери, а рівняння механіки турбулентних потоків містять більше невідомих ніж

самих рівнянь, то для вирішення задачі розсіювання забруднюючих речовин необхідно залучення нових наближених припущень. Тому вирішення даної задачі може мати багато різних підходів.

Аналітичне вирішення задач атмосферної дифузії дозволили отримати важливі результати, а саме встановлення виду функціональних залежностей концентрації від основних факторів, що впливають на неї. Використовуючи їх можна отримати значення максимальних концентрацій та інших показників. В той же час використання аналітичних методів можливе лише при значних спрощеннях реальних умов в атмосфері [4, 72, 112, 125].

У зв'язку з цим вирішення задач доцільно проводити чисельними методами. Даний метод може бути реалізований з використанням ЕОМ. Крок сітки необхідно вибирати в залежності від області інтегрування. Чисельне інтегрування рівнянь може здійснюватися на будь-якій стадії аналізу. При замиканні рівнянь і формуванні граничних умов можливі як теоретичні так і напівемпіричні залежності.

Використання чисельних методів в дослідженні атмосферної дифузії були отримані в роботах М.Е. Берлянда, Т.І. Русакової [70-72].

Розвиток методів прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря є особливо актуальним з огляду на можливість використання його даних для регулювання промислових викидів, а також транспортним рухом у ті періоди, коли очікуються високі концентрації забруднювальних речовин.

Перші спроби передбачити високі рівні забруднення атмосферного повітря були здійснені у США 1955 р. В результаті цілої серії досліджень була створена система короткострокового прогнозування забруднення атмосфери по всій території країни. На сьогоднішній день прогнозування високих рівнів забруднення у містах, як правило, пов'язане з прогнозуванням несприятливих метеорологічних умов [36, 77].

Методика короткострокового прогнозування рівня забруднення, яка базується на використанні покрокової множинної регресії та метеорологічних факторів була розроблена Кіптенком Є.М. [47-49]. Гавриленко Л.І. розглядає

можливість короткострокового прогнозування забруднення атмосфери без використання метеорологічних чинників. Автором зроблена спроба прогнозування з використанням лише значення попереднього рівня забруднення і тенденції його очікуваної зміни.

В роботі [46] розроблено метод статистичного прогнозування середнього рівня забруднення атмосфери двоокисом сірки та двоокисом азоту у промислових центрах. У роботі [75] запропонований фізико-статистичний метод прогнозу забруднення атмосфери міст. Робота [6] присвячена особливостям розробки та програмної реалізації системи прогнозу забруднення атмосфери та моделювання процесів перенесення і розсіювання забруднювальних речовин.

Таким чином, для отримання більш повної та достовірної інформації про якість довкілля необхідно вдосконалювати існуючі моделі оцінки рівня забруднення приземних шарів атмосферного повітря.

Як відомо, до основних джерел забруднення відносяться транспортні потоки, які є динамічними та стохастичними джерелами. Їх особливість полягає в тому, що це низько розташовані (0,2-0,5 м) джерела забруднення, що занурені в міську забудову [11, 13, 52]. У зв'язку з цим, поля забруднення мають високі просторові градієнти та суттєву часову мінливість. Дослідження такого роду полів досить складна задача, оскільки для отримання достовірних даних необхідно проводити багаточисленні та широкомасштабні експерименти по встановленню концентрації рівня забруднення в примагістральному середовищі, що являється довготривалими та витратними дослідженнями. На практиці дана проблема, як правило, вирішується шляхом побудови математичних моделей, зокрема гаусівського типу, які дозволяють будувати поля забруднення та відображати їх просторово-часову динаміку [14, 76].

Для визначення рівня забруднення атмосфери міст автотранспортом виділяють такі класи моделей: моделі розсіювання для окремих

автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньйонах, статистичні моделі прогнозу концентрації (рис 1.7).

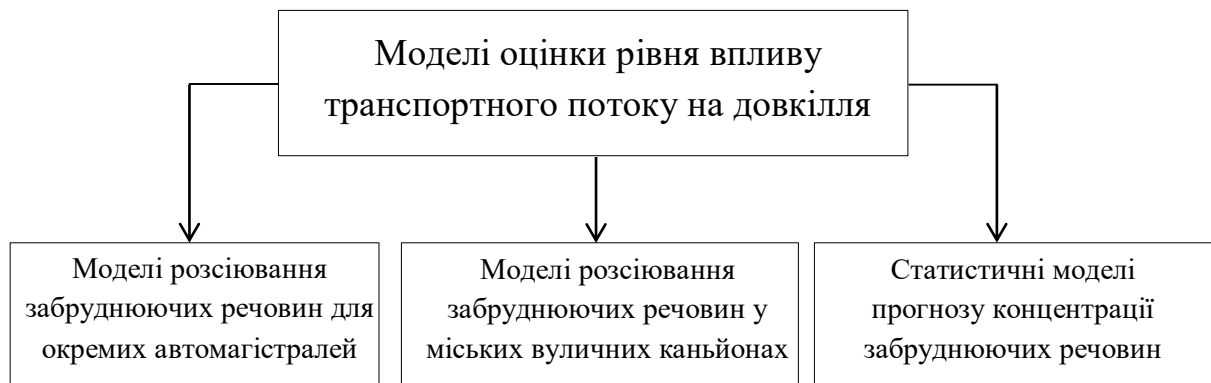


Рисунок 1.7 – Узагальнена класифікація моделей оцінки впливу транспортного потоку на довкілля.

Також можна виділити два основні підходи при визначенні концентрації забруднюючих речовин. В основі першого методу лежать емпіричні залежності, одержані внаслідок статистичної обробки даних натурних вимірів та фізичного моделювання. Другий підхід базується на розрахунково-теоретичних методах.

Найбільш поширеними є Гаусові моделі для лінійного джерела забруднення. Просторовий розподіл забруднюючих речовин за Гаусівським законом з дисперсіями σ_y^2 і σ_z^2 описується рівнянням, вперше запропонованим Сеттоном [115]:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U_x \sigma_y \sigma_z} e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right)}, \quad (1.6)$$

де Q – кількість забруднюючої речовини, г/с;

U_x – швидкість вітру в напрямку x , м;

H – висота джерела забруднення, м.

Осі x та y розташовані в горизонтальній площині, вісь z у вертикальній площині.

До таких моделей відносяться:

- моделі, що використовуються в США: CALINE-4 (California Line Source Model), ISC3 (Industrial Source Complex Model), ROADWAY 2.0, HIWAY-2;
- фінська модель CAR-FMI (Contaminants in the air from a road, by the Finnish Meteorological Institute);
- датська модель OSPM (Operational Street Pollution Model) – модель забруднення вуличних каньйонів, розроблена національним екологічним науково-дослідним інститутом Данії;
- шведський програмний комплекс AIRVIRO;
- румунська модель TRAF (micro-scale street model for dispersion of pollutant emissions generated by traffic);
- нідерландська модель CAR-2
- словацька модель AUTOMOD;
- угорська модель HNS-ROAD;
- естонська модель AEROPOL.

Серед таких моделей найбільш відомими є: California Line Source Dispersion Model (CALINE-4), HIWAY-2, STREET, Canyon Plum-Box (CPBM), Danish Operational Street Pollution Model (OSPM) та інші [100-103, 113, 115, 121-126, 138].

Модель CALINE-4 створена Каліфорнійським департаментом транспорту, заснована на гаусовій моделі факела [100]. Клас стійкості приземного шару атмосфери визначається за допомогою модифікованих кривих Паскуїла-Гіффорда. Дана модель потребує невеликої кількості вхідної інформації, що забезпечує її простоту і широке використання. Разом з тим, результати моделювання можна вважати лише наближеними, так як дана модель не враховує особливості міської забудови, рельєф місцевості, метеорологічні характеристики.

Фінська модель CAR-FMI (Contaminants in the air from a road, by the Finnish Meteorological Institute) включає оцінку викидів та розсіювання забруднюючих речовин автомобільним транспортом, а також статистичний аналіз часових рядів визначених концентрацій.

Розсіювання забруднення у містах значно відрізняється від розсіювання на відкритих територіях, оскільки будівлі суттєво впливають на формування повітряних потоків. Ця особливість поведінки повітряних потоків у міських каньйонах призводить до виникнення великих градієнтів концентрації забруднюючих речовин вздовж вулиць. Особливо це характерно для підвітряної та навітряної сторони вулиць.

Одна з перших моделей забруднення вулиць - модель Street (W. Johnson та ін.), де концентрація забруднюючих речовин оцінювалася за формулою:

$$C = \frac{Q}{u_b \left(\frac{W}{2}\right)} \cdot \frac{F}{1-F}, \quad (1.7)$$

де F – рециркулююча частина забруднення в каньйоні;

Q – об'єм викидів, $г/с$;

W – ширина автомагістралі, $м$;

u_b – швидкість вітру над будівлями, $м/с$.

Модель Street є однією з перших моделей забруднення вулиць міст. Дана модель, яку запропонував W. Johnson, базувалася на емпіричних дослідженнях зміни концентрації забруднюючих речовин на вулицях міста Сан-Хосе та Сент-Луїс (США). Дана модель використовувалась для визначення рівня забруднення за напрямків вітру на рівні даху близьких до 90° . У таких ситуаціях виникала вихрова циркуляція повітря у вуличному каньйоні, яка призводила до того, що забруднюючі речовини від ТП накопичувалися на підвітряній стороні вулиці в той час як біля навітряної сторони спостерігалися значно нижчі концентрації. Це є основним чинником

розсіювання забруднюючих речовин у вуличних каньйонах, тому модель Street з деякими незначними модифікаціями здатна прогнозувати більшість закономірностей розсіювання забруднюючих речовин у вуличних каньйонах та може використовуватися в інженерних цілях. Проте більш детальні ефекти розсіювання поллютантів не можуть бути описані даною моделлю. Її суттєвим недоліком є дуже груба параметризація залежності напрямку вітру. Крім того, при малих швидкостях вітру, близьких до штилю, очікується рівномірний розподіл забруднення по усьому вуличному каньйоні. Незважаючи на ці обмеження, модель є корисним інструментом для оперативної оцінки "першого порядку" якості повітря у вуличних каньйонах. [67, 100, 138].

В моделі CPBM (Canyon Plum-Vox Model) за допомогою поєднання моделі факела (для оцінки прямого впливу забруднення) з vox-моделлю (для визначення додаткового впливу забруднення, яке циркулює під впливом повітряних потоків), концентрація забруднюючих речовин у вуличному каньйоні розраховується, наступним чином [17]:

$$C = \frac{K}{U+U_s} \cdot \frac{H-z}{H} \cdot \sum \frac{Q_i}{W}, \quad (1.8)$$

де u – швидкість вітру над будівлями, $м/с$;

u_s – швидкість вітру, що виникає від руху автомобілів, $м/с$;

H, W – відповідно висота та ширина каньйону, $м$;

K – емпірична константа;

z – висота джерела забруднення, $м$;

Q_i – об'єм викидів від i -ої ділянки, $г/с$.

Модель OSPM (Operational street pollution model) використовує подібний підхід, що і модель Canyon Plum-Vox Model, проте при оцінці забруднення вона враховує конфігурації міських каньйонів (довжину, висоту

забудов) та механічну турбулентність, яка виникає внаслідок руху автомобілів. OSPM використовує спрощену параметризацію умов розсіювання потоку у вуличному каньйоні, яка була виведена в результаті обширного аналізу експериментальних даних і випробувань моделі. Недоліком OSPM є те, що вона не враховує деформацію загального вітрового потоку в залежності від конфігурації забудов та не дозволяє оцінити забруднення у віддалених від автомагістралі точках.

Модель OSPM орієнтована на визначення концентрації забруднюючих речовин від ТП у вуличних каньйонах з врахуванням метеорологічних умов, геометричних характеристик вуличних каньйонів: різні конфігурації вулиць, ширини, висоти, щільності забудов, також в моделі враховується механічна турбулентність, створена рухом транспортних засобів. Основним недоліком OSPM є неможливість врахування деформації вітрового потоку в залежності від конфігурації забудови [101-103, 110, 115, 121].

Згідно даної моделі концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньйону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання політантів (C_d , $мг/м^3$), концентрації спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньйоні (C_r , $мг/м^3$) та міською фоновією концентрацією (C_o , $мг/м^3$):

$$C = C_d + C_r + C_o . \quad (1.9)$$

В OSPM передбачається, що ТП і викиди від нього рівномірно розподілені по каньйону. Поле джерел забруднення розглядається як ряд нескінченно малих лінійних джерел, розташованих перпендикулярно напрямку вітру на рівні вулиці, шириною dx . Щільність викидів для такого лінійного джерела дорівнює:

$$dQ = \frac{Q}{W} \cdot dx , \quad (1.10)$$

де Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від ТП, мг/м·с;

W – ширина вуличного каньйону, м.

Внесок у зміну концентрації забруднюючих речовин на відстані x від лінійного джерела викиду, визначається як:

$$dC_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{dQ}{U_s \cdot \sigma_z(x)}, \quad (1.11)$$

де U_s – швидкість вітру на рівні вулиці, м/с;

$\sigma_z(x)$ – параметр вертикальної дисперсії на відстані x від джерела викиду [65].

Рівняння (1.11) інтегрується вздовж траєкторії вітру на рівні вулиці. Шлях інтеграції залежить від напрямку вітру, довжини зони рециркуляції та довжини вулиці. Максимальна довжина зони рециркуляції визначається шириною вулиці або довжиною виру, в залежності від того, що менше.

Таким чином, дослідження впливу викидів автомобільного транспорту на забруднення атмосферного повітря як на окремих ділянках ВДМ так і в містах в цілому з використанням моделювання є досить актуальною задачею.

1.5 Аналіз заходів щодо підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст

Вулично-дорожня мережа міста - це система дорожніх і пішохідних зв'язків, яка об'єднує різні елементи планувальної структури міста та різні частини його території в цілісний функціонально-планувальний комплекс [29]. Така система включає в себе мережу під'їздів до будинків, проїздів та житлових вулиць місцевого значення, а також магістральних вулиць і доріг,

що забезпечують зв'язок між житловими районами та спеціалізованими центрами обслуговування.

ВДМ – детермінована система структурних елементів міста, яка розраховується на довготривалий період експлуатації без суттєвих структурних змін. Вулиці та дороги утворюють мережу наземних шляхів сполучення, яка забезпечує рух транспортних засобів та пішоходів між різними точками міста чи іншого населеного пункту. Ця мережа доріг і вулиць відіграє важливу роль у забезпеченні мобільності людей і товарів у місті або регіоні. Класифікація ВДМ здійснюється за основним призначенням вулиць та доріг (табл. 1.1) [33].

Таблиця 1.1 – Класифікація та основні параметри ВДМ міст

Група поселень	Категорія вулиць і доріг	Розрахункові швидкості руху, км/год.	Ширина смуги руху, м	Кількість смуг проїзної частини	Макс. позовж. ухил, ‰	Мін. радіуси кривих у плані, м	Ширина тротуару, м
Магістральні вулиці й дороги:							
Мегаліси	загальноміського значення (безперервний рух)	100	3,75	6-8	40	500	4,5
	загальноміського значення (регульований рух)	80	3,75	4-6	50	400	3,0
	районного значення	70	3,75	4-6	60	250	2,25
Великі міста	загальноміського значення	80	3,75	4-6	60	400	3,0
	районного значення	60	3,75	2-4	60	250	2,25
Середні, малі міста	Магістральні вулиці /дороги/	60	3,75	2-4	60	250	2,25
Вулиці й дороги місцевого значення							
Усі групи поселень	житлові вулиці	40	3,75	2	70	125	1,5
	дороги в промислових і комунально-складських зонах	40	3,75	2	60	250	1,5
	проїзди	30	3,5	1-2	80	30	0,75
	пішохідні вулиці і дороги	4	0,75	2-6	60	-	-
	велосипедні доріжки	30	1,50	1-2	40	50	-

Призначення вулиць та доріг встановлюється враховуючи планувальну структуру міста, його зв'язок із приміською зоною, інтенсивності та швидкості руху транспортних засобів, пішохідного руху, характеру вуличної забудови, вимог охорони навколишнього середовища.

Європейська класифікація вулично-дорожньої мережі включає значну кількість ознак, серед яких: швидкість, дальність поїздки, рівень зв'язку, стратегічне значення, рух та доступ, мережеві функції, контроль доступу, інтенсивність руху, види руху, інші користувачі, навколишнє середовище, забудова, ширина вулиць та доріг.

Стрімке зростання кількості транспортних засобів, особливо індивідуальних, призвело до помітного перевантаження ВДМ України, що викликало ряд негативних факторів, а саме погіршення умов безпеки руху, збільшення дорожньо-транспортних пригод, втрата часу при переміщенні, перевитрати пального, екологічне навантаження тощо. Спостерігається стійка тенденція невідповідності існуючих ВДМ урбанізованих міст сучасному рівню функціонування транспортних потоків та відповідно потребам у транспортних послугах [69, 78]. Тому, на сьогоднішній день в містах України завдання організації підвищення ефективності функціонування ВДМ міст є вкрай актуальним.

Зростання інтенсивності руху ТП на окремих локальних територіях міста, особливо в центрі, призводить до прояву негативних ефектів різного характеру та механізму впливу на навколишнє середовище. У зв'язку з цим одним з визначальних критеріїв ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі є забезпечення її екологічної безпеки та екологічної стійкості. Екологічна стійкість ВДМ – це оптимізація ефектів взаємодії між її підсистемами, з метою мінімізації цільової функції - рівня техногенного забруднення [11].

До основних заходів підвищення ефективності функціонування ВДМ належать: містобудівні, законодавчо-нормативні, адміністративні, технічні, заходи пов'язані з організацією дорожнього руху.

Містобудівні заходи включають проектування та будівництво мережі доріг по найкоротшим напрямкам між основними пунктами міста, розвиток транспортної інфраструктури, раціональна забудова території міста з урахуванням еколого-економічних показників.

Адміністративні заходи підвищення ефективності функціонування ВДМ передбачають покращення умов роботи громадського транспорту, введення плати за проїзд, розвиток та заохочення екологічно чистого та енергоефективного транспорту тощо.

Технічні заходи передбачають будівництво та реконструкцію автомобільних доріг, транспортних розв'язок, мостових та пішохідних переходів, облаштування місць для паркування та зберігання транспортних засобів та інші.

Серед заходів організації дорожнього руху спрямованих на ефективне функціонування ВДМ виділяють установку або демонтаж світлофорних об'єктів, дорожніх знаків та дорожньої розмітки, використання одnobічного, реверсивного руху, впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом тощо [69, 81].

Таким чином, ефективне функціонування вулично-дорожньої мережі реалізується через збалансованість роботи всіх її елементів та задоволення інтересів транспортного, пішохідного руху.

1.6 Висновки до розділу 1

Проведений у першому розділі аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано основні джерела забруднення та сучасний стан довкілля міст. Показано, що автомобільний транспорт є основним антропогенним джерелом забруднення довкілля. Визначена специфіка динаміки впливу ТП на довкілля, що полягає в їх безпосередній близькості до житлових районів, територіальному розподілі, приземному розташуванні.

2. Досліджено основні підходи, методи, моделі формування та управління ТП міст, які можна класифікувати за типом змінних (неперервні, дискретні, напівдискретні), рівнем деталізації (субмікроскопічні, мікроскопічні, мезоскопічні, макроскопічні), ступенем визначеності (детерміновані, стохастичні), методом розв'язання (аналітичний, метод моделювання) та областю застосування (вулично-дорожня мережа, окремі ділянки мережі, перехрестя вулиць і доріг). Висвітлено підходи, методики оцінки інгредієнтного забруднення автомобільним транспортом та визначено їх основні переваги і недоліки. Проаналізовано заходи зниження рівня впливу ТП на довкілля.

3. Проведено аналіз моделей впливу транспортних потоків на довкілля ВДМ міст, серед яких: моделі розсіювання для окремих автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньйонах, статистичні моделі прогнозу концентрації. Найбільш коректною до відповідного напрямку досліджень є модель OSPM (Operational Street Pollution Model), яка орієнтована на визначення концентрації забруднюючих речовин від ТП у вуличних каньйонах з врахуванням метеорологічних умов, геометричних характеристик вуличних каньйонів, також в моделі враховується механічна турбулентність, створена рухом ТЗ.

4. Проведено аналіз та класифікацію ВДМ міста. Встановлено, що одним з визначальних критеріїв ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі є забезпечення її екологічної безпеки та екологічної стійкості. Розглянуто основні заходи підвищення ефективності функціонування ВДМ серед яких: містобудівні, законодавчо-нормативні, адміністративні, технічні, заходи пов'язані з організацією дорожнього руху.

РОЗДІЛ 2 КЛАСИФІКАЦІЯ КАНЬЙОНІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ЗАБУДОВИ

2.1 Дослідження впливу мікрокліматичних особливостей міста на стан довкілля вулично-дорожньої мережі

Аераційний режим міста зазнає найбільш сильних змін під впливом різних перешкод, таких як: планувальна схема ВДМ, висота та щільність примагістральної забудови, зелені насадження, водні об'єкти та інші перешкоди, що впливають на рух повітря в приземному шарі (шарі шорсткості) [3, 42]. Архітектурно-планувальні чинники міста спонукають до виникнення специфічних мікрокліматичних особливостей. Зокрема, будівлі впливають на рух повітряних потоків, деформують їх при обтіканні, змінюючи турбулентний характер течій.

В умовах сучасного міста клімат формується в результаті взаємодії атмосферних процесів і локальних особливостей самого міста. Мікрокліматичні урбаністичні особливості зумовлені географічним положенням, фізико-географічними умовами місцевості, різноманітністю ландшафтів, геометричними параметрами забудов (щільністю, висотою тощо), співвідношенням твердого покриття та озелененої території, наявністю великих водойм [10, 64, 72].

Антропогенний вплив формування урбаністичного мікроклімату проявляється внаслідок зміни характеристик підстильної поверхні, забруднення приземного шару атмосфери, виділення додаткового тепла внаслідок діяльності промисловості та транспорту.

Мікроклімат міста та поширення забруднюючих речовин у межах урбанізованої території значною мірою залежить від геометричних параметрів міської забудови, що збільшує шорсткість поверхні та як наслідок

спричинює зміни характеристик турбулентності, швидкості і напрямку вітру [36].

Міська атмосфера має більш складну структуру, що спричинено впливом забудови території на формування повітряних потоків (рис. 2.1).

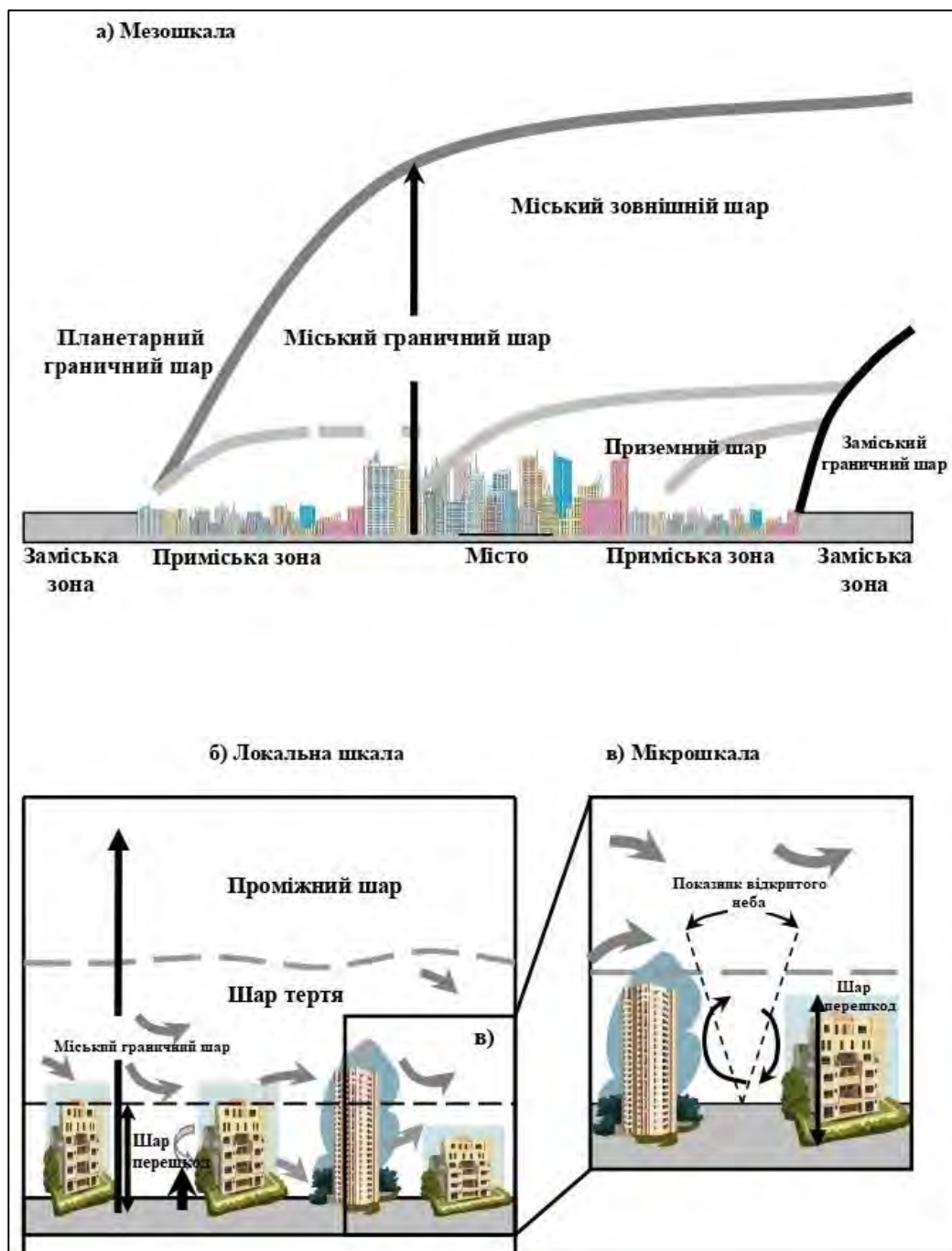


Рисунок 2.1 – Структура міських атмосферних шарів

У містах додатково виділяється шар повітря від поверхні землі до дахів будинків, який має назву шар перешкод, що є нижньою частиною міського шару тертя [136, 139].

Одним з важливих показників структури міської забудови є "фактор відкритого неба", оскільки будинки створюють додаткову закритість горизонту, зменшують тривалість сонячного випромінювання, трансформують повітряні потоки [64, 77].

Мікрокліматичні особливості Києва зумовлені географічними положенням, рельєфом місцевості, річки Дніпро. Мікрокліматичні розбіжності виникають внаслідок щільності і висоти забудов, співвідношення твердого покриття та озеленення території, а також антропогенними факторами: промисловим виробництвом, тепловими електростанціями, роботою транспорту [50].

Велика теплоємність будівельних матеріалів, темне дорожнє покриття призводить до зміни альбеда поверхні та теплоаккумуляції, як наслідок місто сильніше нагрівається і повільніше віддає тепло. Внаслідок теплофізичних особливостей міської поверхні і антропогенного забруднення відбуваються значні перетворення теплового балансу, що призводить до підвищення температури повітря порівняно з замиською територією і виникнення "острову тепла". Структура міської забудови, збільшуючи шорсткість поверхні зумовлює зміну характеристик турбулентності, швидкості і напрямку вітру.

Одним з основних факторів, що формує мікроклімат міста є сонячна радіація. Внаслідок забруднення атмосфери в місто надходить менше сонячної радіації ніж на прилеглу територію. У промислових районах та в районах з висотною забудовою тривалість сонячного сяйва знижується.

При визначенні впливу фізичних і оптичних властивостей атмосфери на умови надходження сонячної радіації до рівня підстильної поверхні використовується інтегральний і аерозольний показник мутності та коефіцієнт прозорості атмосфери. Найбільша мутність атмосфери в місті

Києві відмічається в лівобережному промисловому районі. Найпрозоріша для сонячних променів атмосфера спостерігається на північній околиці міста. Найбільша просторова неоднорідність характеристик прозорості у місті спостерігається в денні години, найменші – у ранкові, що зумовлено впливом роботи промислових підприємств та автотранспорту [49, 50, 64].

Температура повітря у місті залежить від додаткового виділення тепла зумовленого промисловістю, транспортом тощо. Інтенсивність і розміри “острову тепла” змінюються під впливом погодних умов, рельєфу міста, підстильної поверхні. Його ефект найбільше проявляється в умовах антициклонів.

Важливою особливістю розподілу температури в місті є наявність температурного контрасту між рівнинною лівобережною частиною та більш високим правобережним районом. Це зумовлено надходженням холодного повітря з правобережних схилів річки та загальним станом атмосфери протягом доби. Взимку неоднорідність температури відмічається більше. Так, поблизу Дніпра, після його замерзання, на лівобережжі температура повітря на $3,5^{\circ}\text{C}$ нижча ніж влітку.

У Києві за минуле століття більш помітним було зростання мінімальної температури ніж максимальної, оскільки “острів тепла” найчастіше виявляється у вечірні години. Формування теплових градієнтів між містом і прилеглою територією змінюється протягом року, місяця і доби. Просторовий розподіл температури у межах “острову тепла” визначається, насамперед, рельєфом, особливостями підстильної поверхні, антропогенним навантаженням тощо [50, 77].

Векторне поле вітру в місті має складну структуру, яка визначається, головним чином, структурою приземного шару атмосфери, особливостями шорсткості поверхні. Як правило, у середині міської забудови швидкість вітру менша ніж за її межами на тій же висоті. Іноді в місті спостерігається посилення вітру у порівнянні з заміською територією у випадку коли

напрямок вітру співпадає з напрямком вулиць. У Києві в усі сезони року швидкість вітру менша ніж за його межами [50, 96].

Внаслідок загальної та особливостей місцевої циркуляції атмосфери напрям та швидкість вітру постійно змінюються. Так, для м. Києва найбільш поширеним є західний та північний напрямки вітру, а швидкість вітру переважає до 5 м/с та 6-9 м/с (рис.2.2, 2.3).

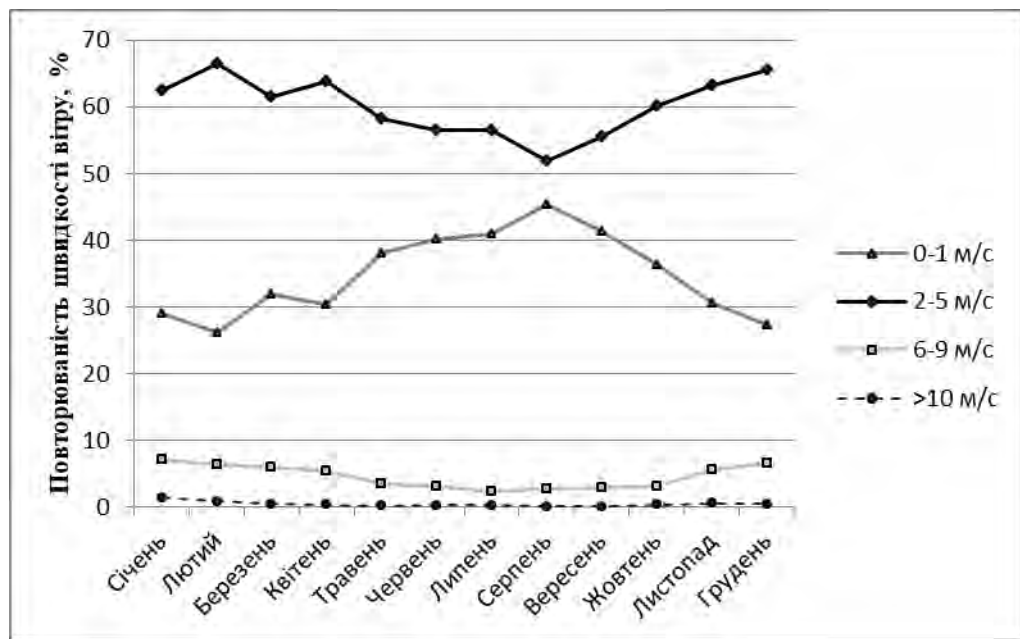


Рисунок 2.2 – Повторюваність швидкості вітру різних градацій

В зимовий і осінній сезони спостерігається більш різка зміна погоди порівняно з теплим періодом. У лютому та березні переважаючим напрямком вітру є південно-східний. Починаючи з квітня до серпня – північний, винятком є липень, коли переважає західний вітер. З жовтня по січень найбільш повторюваним є західний напрямок вітру. Найбільш повторюваний напрямок вітру протягом року є західний – 19,2%, найменш частим є східний напрямок вітру – 8.8%.

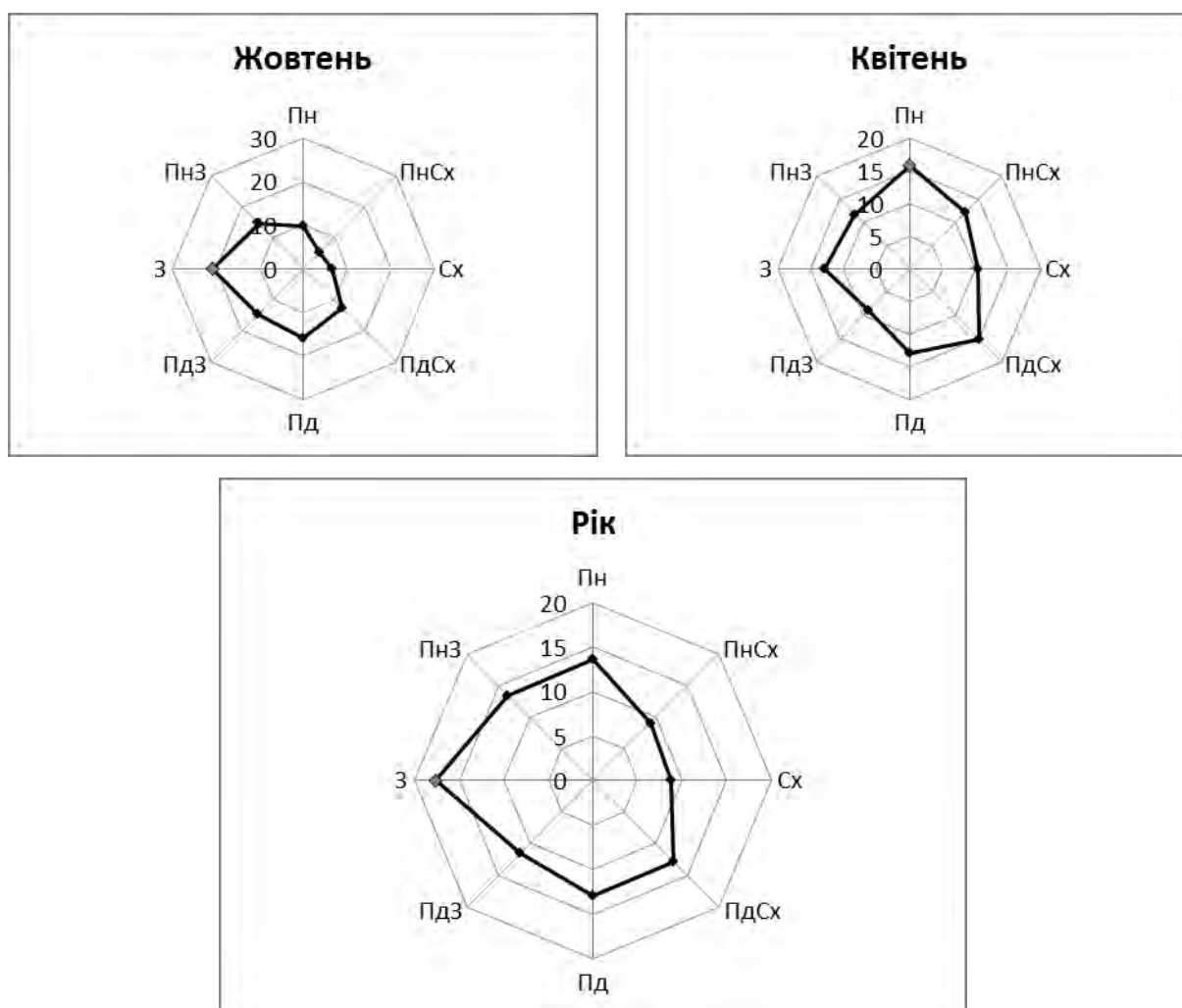


Рисунок 2.3 – Повторюваність напрямку вітру, %

Через відмінності у рельєфі та типах забудов, розташуванні водних об'єктів, наявності зелених насаджень тощо просторовий розподіл швидкості вітру в місті відрізняється. У межах міста середня річна швидкість вітру дорівнює 2,4 м/с.

Внаслідок конвекції, що створює вертикальний обмін атмосфери, швидкість вітру у денні години суттєво збільшується, а в нічні і ранкові години – зменшується [42, 50].

Вплив метеорологічних умов на рівень забруднення атмосферного повітря має складний характер. Основними метеорологічними чинниками, що впливають на розсіювання забруднюючих речовин є: швидкість та напрямок вітру, термічна стійкість атмосфери, ступінь вертикального

змішування домішок, вимивання забруднюючих речовин опадами та інші [36, 76].

2.2 Вуличний каньйон як елементарний архітектурно-планувальний елемент вулично-дорожньої мережі міста

При моделюванні рівня забруднення атмосфери міст структура міської території не може розглядатися як однорідний об'єкт. Найбільші рівні забруднення спостерігаються у вуличних каньйонах, де розсіювання забруднюючих речовин від ТП значно обмежено будівлями вздовж вулиць [10, 14, 99, 108].

Вуличний каньйон – це найпоширеніший архітектурно-планувальний елемент міста, який являє собою елементарну ділянку забудовану уздовж проїзної частини вулиці (автомагістралі). Простір між забудовами – це елементарна екосистема рівень техногенного забруднення якої визначає рівень екологічної безпеки даного каньйону. У вуличному каньйоні виділяють наступні зони: навітряна сторона, для якої характерний мінімальний рівень забруднення, що обумовлено надходженням чистого повітря; внутрішня частина та підвітряна сторона, для якої спостерігається максимальний рівень забруднення [10-12]. При дослідженні умов повітрообміну над вулицею (магістраллю) використовується аеродинамічна характеристика – коефіцієнт ажурності забудови, який уявляє собою відношення площі проекції розривів між будинками до загальної площі проекції фронту забудов на лінію магістралі.

Ще одним показником структури забудов є так званий "показник відкритого неба" SVF (Sky View Factor – англ.) Даний показник суттєво впливає на закритість горизонту, тривалість сонячного випромінювання, руху повітряних потоків.

Вуличні каньйони міста мають різні просторово-геометричні характеристики: ширина, довжина, щільність та композиція забудови, що

характеризується середнім кутом повороту будинків до осі вулиці (магістралі). Крім того, виділяють симетричні та асиметричні вуличні каньйони (рис. 2.4).

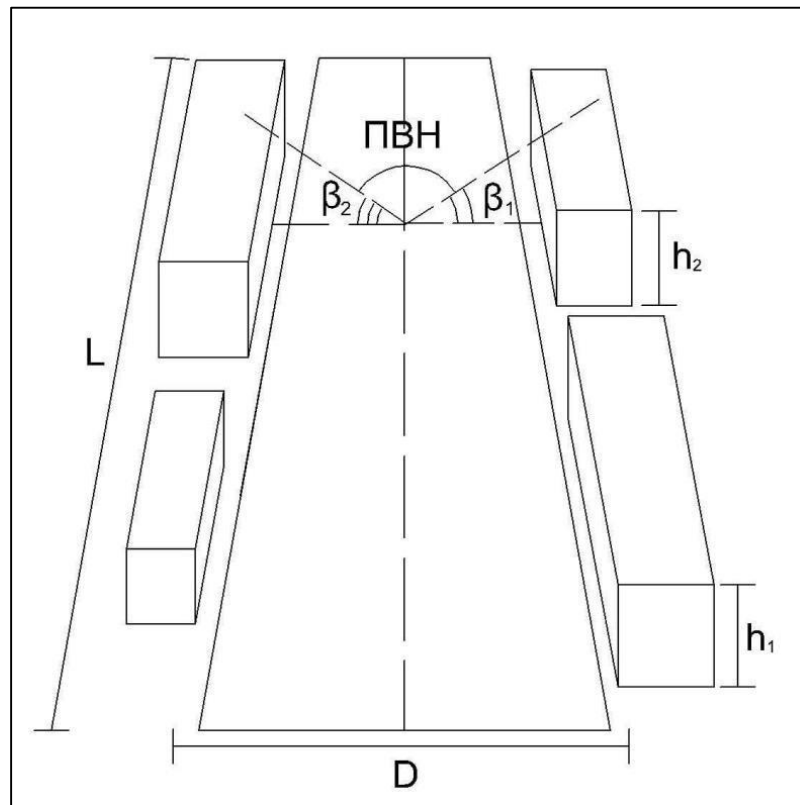


Рисунок 2.4 – Геометричні параметри вуличного каньйону

Сукупність цих характеристик формують елементарний екооб'єм – простір вуличного каньйону, де відбувається емісія і розсіювання інгредієнтного забруднення від автотранспортних засобів, потоки яких, в свою чергу, можуть бути представлені як лінійні та неперервні джерела забруднення. Екологічний об'єм (екооб'єм) - це обмежений об'єм навколишнього середовища, що характеризується своїми певними геометричними параметрами, а також екологічними показниками досліджуваних компонентів, що знаходяться в цьому об'ємі або функціональними змінними, що корелюють з ними.

На сьогоднішній день існує декілька критеріїв, за допомогою яких класифікують вуличні каньйони, до основних відносять наступні:

– відношення середньозваженої висоти забудови (h) до ширини (D) вуличного каньйону та його довжини (L) до середньозваженої висоти. Дані показники характеризують співвідношення геометричних параметрів у просторі (табл.2.1);

– просторова орієнтація вуличного каньйону, задається кутом між лінією, що проходить з півночі на південь та головною віссю вулиці;

– показник відкритого неба (SVF), тісно пов'язаний з відношенням ширини каньйону до висоти, так як він також описує поперечний переріз каньйону. Показник відкритого неба це частка небесного куполу, який видно з поверхні, або ж з певної точки, або інтегрований по всій площині вулиці.

Таблиця 2.1 – Класифікація вуличних каньйонів за геометричними параметрами

Співвідношення параметрів	Класифікація
$h/D < 0,5$	Низький каньйон
$h/D = 1$	Помірний каньйон
$h/D > 2$	Глибокий каньйон
$L/h < 3$	Короткий каньйон
$L/h = 5$	Середній каньйон
$L/h > 7$	Довгий каньйон

Показник відкритого неба може бути розрахований наступним чином:

$$SVF = (\cos\beta_1 + \cos\beta_2)/2, \quad (2.1)$$

де $\tg\beta_1 = (h_1/0,5D)$; $\tg\beta_2 = (h_2/0,5D)$,

h_1 і h_2 – середньозважена висота забудов відповідно з кожної сторони, м;

D – ширина вуличного каньйону, м.

Значення показника відкритого неба коливається між 0 та 1. Причому, коли даний показник дорівнює одиниці – забудови відсутні (повністю відкритий вуличний каньйон).

При моделюванні рівня забруднення розрізняють швидкість і напрямок вітру на рівні даху забудов, що визначається глобальним перенесенням повітряних мас та швидкість вітру на рівні вулиці. Також виділяється зона рециркуляції, яка характеризується надходженням забруднюючих речовин з іншої частини вуличного каньйону та визначається довжиною турбулентного вихору, геометричними показниками каньйону [10, 12, 14, 97].

2.3 Класифікаційний аналіз вуличних каньйонів міста індексним методом

Кожен із вуличних каньйонів має низку індивідуальних характерних особливостей (характер та інтенсивність руху автотранспорту, геометричні характеристики вуличного каньйону, величина ухилу можливих підйомів та спусків, географічна прив'язка на місцевості тощо), що впливають на ступінь його екологічної безпеки. Екологічна оцінка вуличних каньйонів ВДМ базується на врахуванні статичних та динамічних показників (індексів). Статичний індекс – це відносна характеристика зміни рівня будь-якої величини, явища чи процесу в просторі. Відповідні відносні характеристики будь-якої величини, що змінюються у часі, визначають динамічні індекси.

Потенційну екологічну безпеку вуличних каньйонів можна оцінити індексним методом, який полягає у проведенні класифікаційного аналізу на основі узагальнюючих індексів, що характеризують співвідношення в просторі деяких параметрів каньйону, а саме: $i_1 = l/L$ – відношення середньої довжини забудов до протяжності елементарної ділянки вулиці (магістралі); $i_2 = h/H$ – відношення середньозваженої висоти забудов до максимальної висоти забудов; $i_3 = d/D$ – відношення ширини проїзної частини до середньої ширини вуличного каньйону [10, 12]. Сукупність структурних елементів

вуличних каньйонів формують елементарний екооб'єм (E_{Vn}) величина якого визначається відношенням мінімального геометричного об'єму до добутку відповідних відносних показників (індексів) відповідного каньйону:

$$E_{Vn} = \frac{V_{min}}{i_{n1} \cdot i_{n2} \cdot i_{n3}} \quad (2.2)$$

де E_{Vn} – екооб'єм вуличного каньйону, m^3 ;

V_{min} – мінімальний геометричний об'єм каньйонів ВДМ, m^3 ;

i_{n1}, i_{n2}, i_{n3} – узагальнюючі індекси відповідних каньйонів.

Метод лінійної множинної регресії, застосований до всієї статистичної сукупності факторних ознак каньйонів ВДМ міста, дозволив побудувати математичну регресійну модель фазового екооб'єму вуличних каньйонів (2.3). Згідно t - критерію в модель не потрапили дві факторна ознака, а саме ширина проїзної частини дороги та максимальна висота забудови, значущий рівень яких не задовольняє вимозі $p < 0,05$ (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Результати регресії для залежної змінної екооб'єм (E_v): коефіцієнт кореляції $R=0,51$; коефіцієнт детермінації $R^2=0,26$; критерій Фішера $F(6,363)=21,3$; значущий рівень $p < 0,0000$.

$N=377$	b	Ст.пох. для b	B	Ст.пох. для B	$t(370)$	p -рівень
Вільн.член			10878,86	1524,836	7,13445	0,000000
l, m	-0,520635	0,082088	-89,50	14,111	-6,34240	0,000000
L, m	0,377154	0,079057	38,87	8,147	4,77063	0,000003
d, m	-0,093769	0,060110	-195,15	125,101	-1,55995	0,119642
D, m	0,174256	0,059948	109,89	37,804	2,90680	0,003876
h, m	-0,278192	0,059966	-361,60	77,944	-4,63918	0,000005
H, m	-0,041493	0,061271	-29,81	44,021	-0,67719	0,498714

Близькі значення приведених коефіцієнтів регресії b вказують на подібну вагомість чинників, при цьому необхідно відмітити, що при зростанні їх значень, окрім ширини вуличного каньйону, екооб'єм зменшується.

Рівняння лінійної множинної регресії для екооб'єму каньйонів вулично-дорожньої мережі міста має вигляд:

$$E_v = (109,8 - 0,9 l - 0,39 L + 1,1 D - 0,78 h) 10^{-2}, \quad (2.3)$$

У таблиці 2.3 наведено основні статистичні показники, а саме середні значення та середньоквадратичні відхилення параметрів вуличних каньйонів Печерського району міста Києва.

Таблиця 2.3 – Середні значення та показники варіації параметрів вуличних каньйонів: $n=373$

Параметри вуличних каньйонів	Середнє значення	Стандартне відхилення
l	104,8	75,5
L	202,4	126
d	9,4	6,2
D	35,9	20,6
h	14,4	10
H	24,1	18,1
E_v	5554,3	12978,7

Таблиця 2.4 та рисунок 2.5 демонструють парні коефіцієнти кореляції та взаємозв'язок між параметрами каньйонів вулично-дорожньої мережі міста.

Таблиця 2.4 – Матриця парних коефіцієнтів кореляції між параметрами вуличних каньйонів

	l	L	d	D	h	H	E _v
l	1,000000	0,804645	0,215275	0,187900	0,280828	0,348169	-0,297174
L	0,804645	1,000000	0,116441	0,217127	0,172428	0,204250	-0,071298
d	0,215275	0,116441	1,000000	0,627417	0,249846	0,245434	-0,132290
D	0,187900	0,217127	0,627417	1,000000	0,235827	0,204278	0,025406
h	0,280828	0,172428	0,249846	0,235827	1,000000	0,646856	-0,368542
H	0,348169	0,204250	0,245434	0,204278	0,646856	1,000000	-0,313096
E _v	-0,297174	-0,071298	-0,132290	0,025406	-0,368542	-0,313096	1,000000

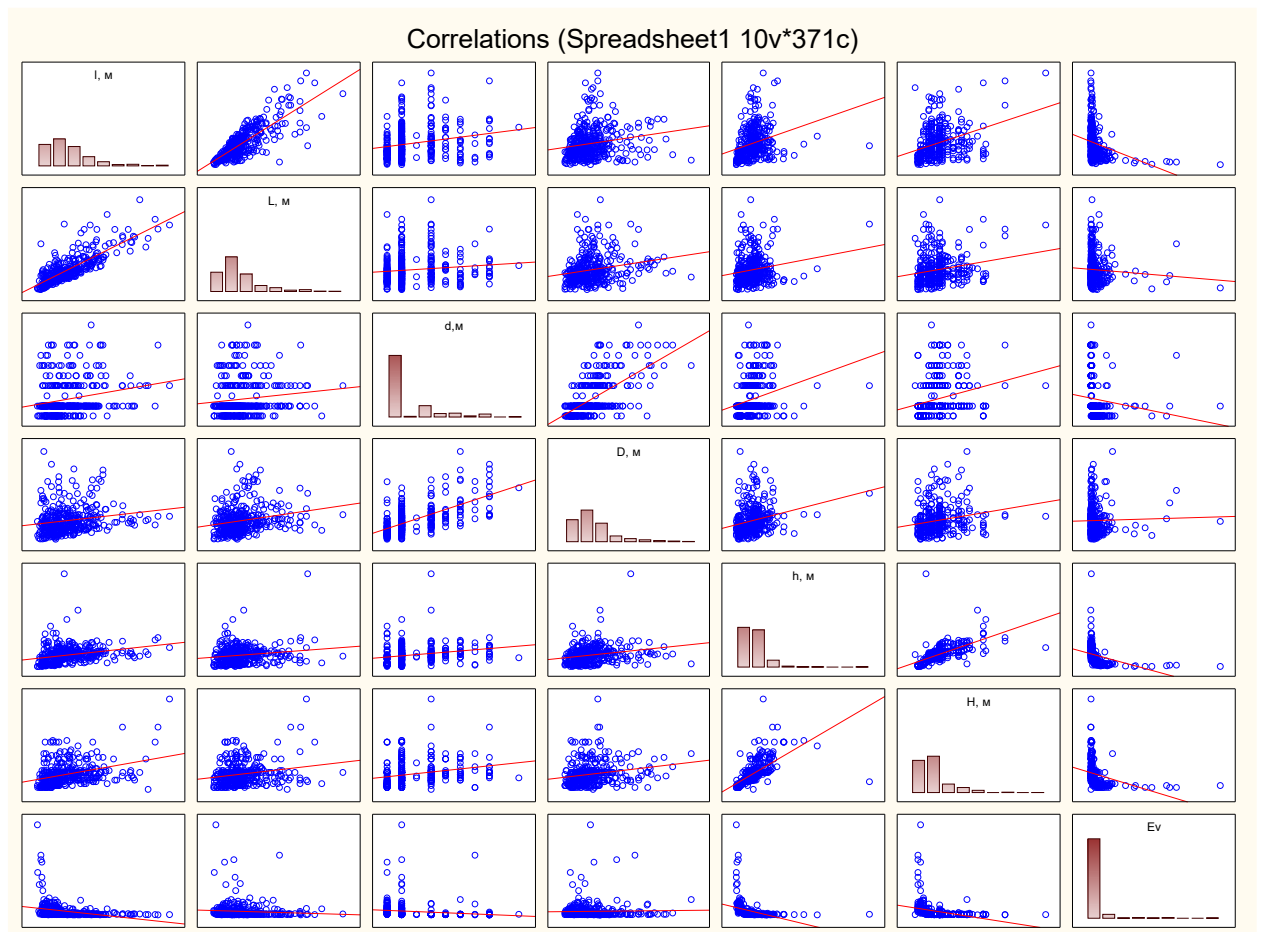


Рисунок 2.5 – Взаємозв'язок між параметрами каньйонів вулично-дорожньої мережі міста

Індексний метод був застосований для класифікації вуличних каньйонів, що наповнюють вулично-дорожню мережу Печерського району міста Києва. За елементарний вуличний каньйон приймалася ділянка із

забудовами вздовж вулиці між найближчими перехрестями. Після розбиття даної множини утворилося 377 вуличних каньйонів, для яких були емпірично встановлені значення відповідних показників, на основі їх просторово-геометричних характеристик (табл. 2.5)

Таблиця 2.5 – Показники вуличних каньйонів Печерського району міста Києва

<i>Вуличний каньйон</i>	<i>Індексний метод</i>			<i>Геометричні показники</i>		<i>Показник відкритого неба</i>
	i_1	i_2	i_3	h/D	L/h	
1.Липський провулок	0,677	0,389	0,856	0,856	10,065	0,511
2. вул. Липська; буд. 15, 16	0,732	0,500	0,483	0,725	15,271	0,568
3. вул. Пилипа Орлика; буд. 3, 4	0,554	0,353	0,683	0,516	15,415	0,697
...						
365. вул. Мічуріна; буд. 50, 52	0,283	0,163	1	0,140	50,667	0,963
366. вул. Землянська; буд. 5, 6	0,230	0,255	0,575	0,252	85,217	0,893
377. вул. Пирятинська; буд. 12, 19	0,370	0,219	1	0,188	15,333	0,936

Для встановлення сили взаємозв'язку між показниками різних методів були розраховані парні коефіцієнти кореляції (табл. 2.6). Слід відмітити, що для більшості пар показників сила зв'язку виявилася слабкою.

Таблиця 2.6 – Матриця парних кореляцій між показниками вуличних каньйонів

	i_1	i_2	i_3	h/D	L/h	SVF
i_1	1	0,08	0,35	0,3	-0,47	-0,44
i_2	0,08	1	-0,04	0,2	-0,13	-0,24
i_3	0,35	-0,04	1	0,64	-0,48	-0,62
h/D	0,3	0,2	0,64	1	-0,44	-0,92
L/h	-0,47	-0,13	-0,48	-0,44	1	0,5
SVF	-0,44	-0,24	-0,62	-0,92	0,5	1

При цьому індексний метод, серед наведених вище методів, виявився найбільш інформативним, оскільки містить як показники, що корелюють з показниками інших методів (i_1 , h/D , та SVF), так і некорельовані показники (i_2 , i_3), що несуть специфічну інформацію про геометрично-просторові характеристики вуличних каньйонів, яка недостатньо відображена в показниках інших методів. Це знайшло підтвердження при проведенні класифікації масиву вуличних каньйонів [10, 99, 108, 133].

Для встановлення статистичного зв'язку між показниками будувалися кореляційні поля між введеними індексами вуличних каньйонів (рис. 2.6), які вказують на відсутність мультиколінеарності між індексами i_1 , i_2 та i_3 . Для пари індексів i_1 , i_3 спостерігається деяка лінійна тенденція – при збільшенні i_1 дещо збільшується i_3 , проте парний коефіцієнт кореляції – 0,35, вказує на наявність слабого зв'язку. Отже, побудовані кореляційні поля, свідчать про незалежність показників індексного методу [10, 12].

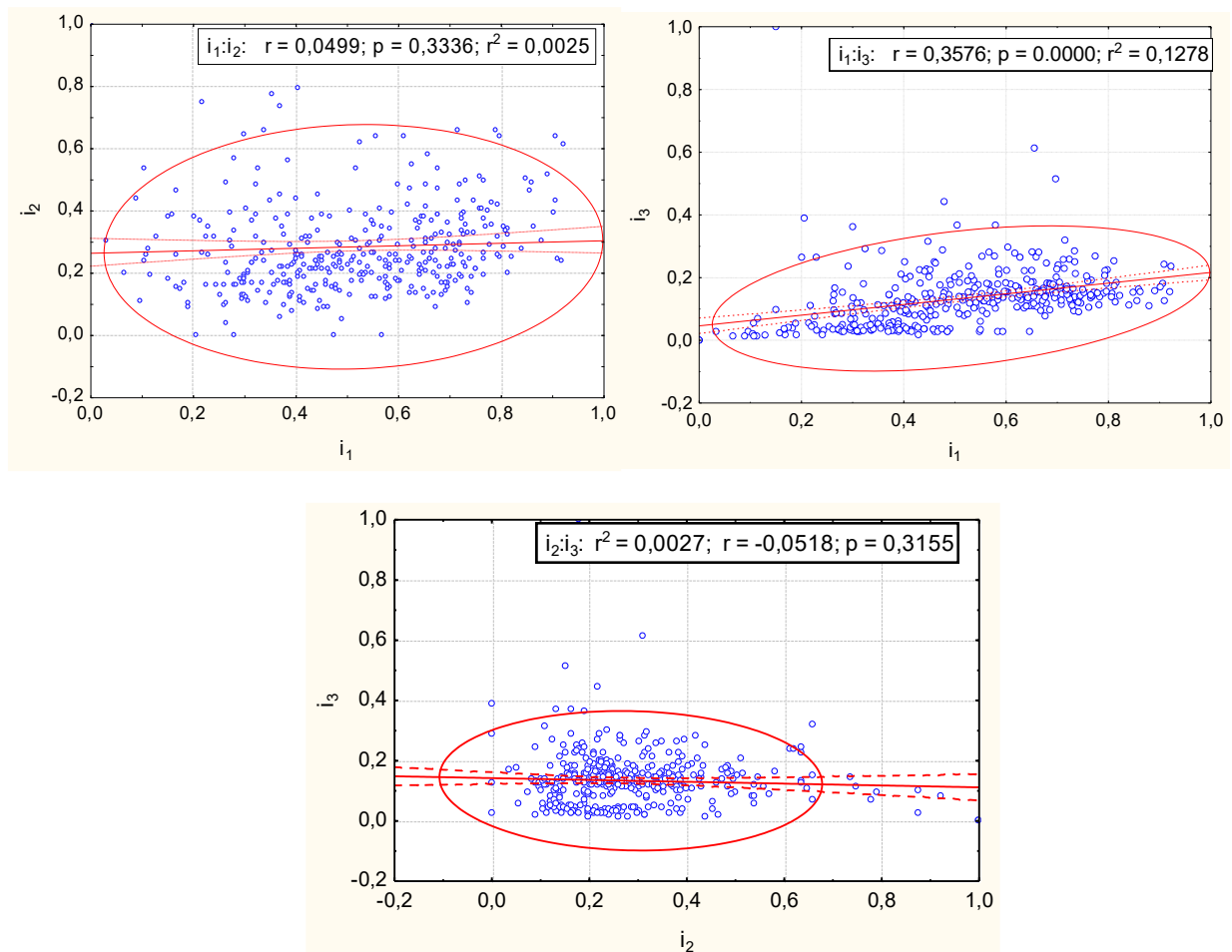


Рисунок 2.6 – Кореляційні поля показників індексного методу

Задача класифікації каньйонів Печерського району м. Києва за індексними показниками була вирішена на основі кластерного аналізу [8]. Для формування однорідних груп каньйонів, застосовувався метод к-середніх, який дозволив побудувати мінімальну кількість кластерів, рознесених на максимальні відстані в k -мірному просторі ($k=4$). Масив досліджуваних каньйонів вдалося поділити на однорідні групи, для яких значення індексних показників виявилися суттєво різними. Розбиття вихідного масиву проводилося в декілька етапів. На першому етапі масив вуличних каньйонів розділювався на два кластери (рис. 2.7), при цьому, перший кластер наповнили вуличні каньйони з просторово-геометричними характеристиками, які свідчать про їх екологічну безпечність, відповідно другий наповнили потенційно небезпечні каньйони. На другому етапі розбиття, перший кластер розщепився ще на два (1.1; 1.2), а другий відповідно на три кластери (2.1; 2.2; 2.3). Таким чином, множина вуличних каньйонів Печерського району м. Києва була поділена за просторово-геометричними характеристиками на п'ять однорідних груп. В кожній групі був встановлений типовий каньйон з параметрами, що відповідають модальним значенням, які знайдені з ймовірнісного розподілу відповідних показників каньйонів, що увійшли до даного кластеру. Щільність розподілу показників вуличних каньйонів в межах кожного кластеру, виявилася близькою до нормального закону, що підтверджено критеріями узгодженості Колмогорова-Смирнова та Шапиро-Уилка (рис.2.8).

У таблицях 2.7 та 2.8 наведено основні статистичні показники (середнє значення, дисперсія, середньоквадратичне відхилення) індексних показників для кластерів 1.1 та 1.2.

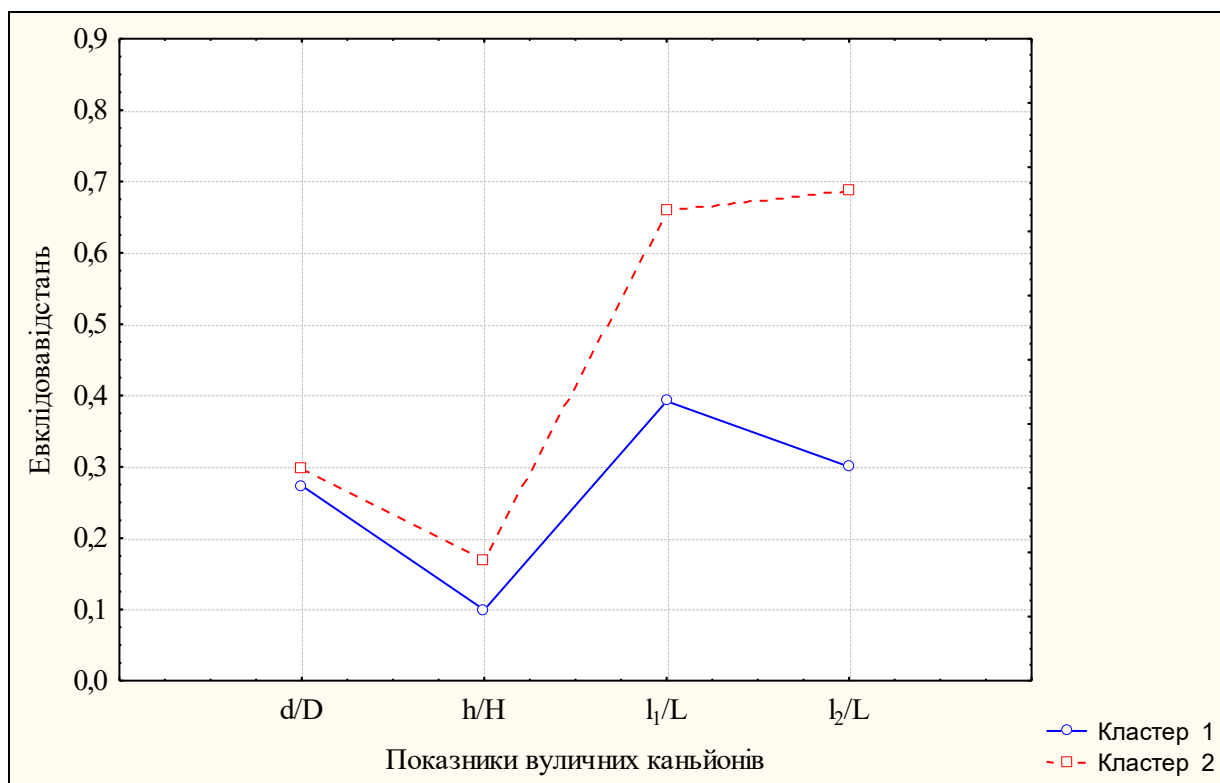


Рисунок 2.7 – Середні значення показників вуличних каньйонів

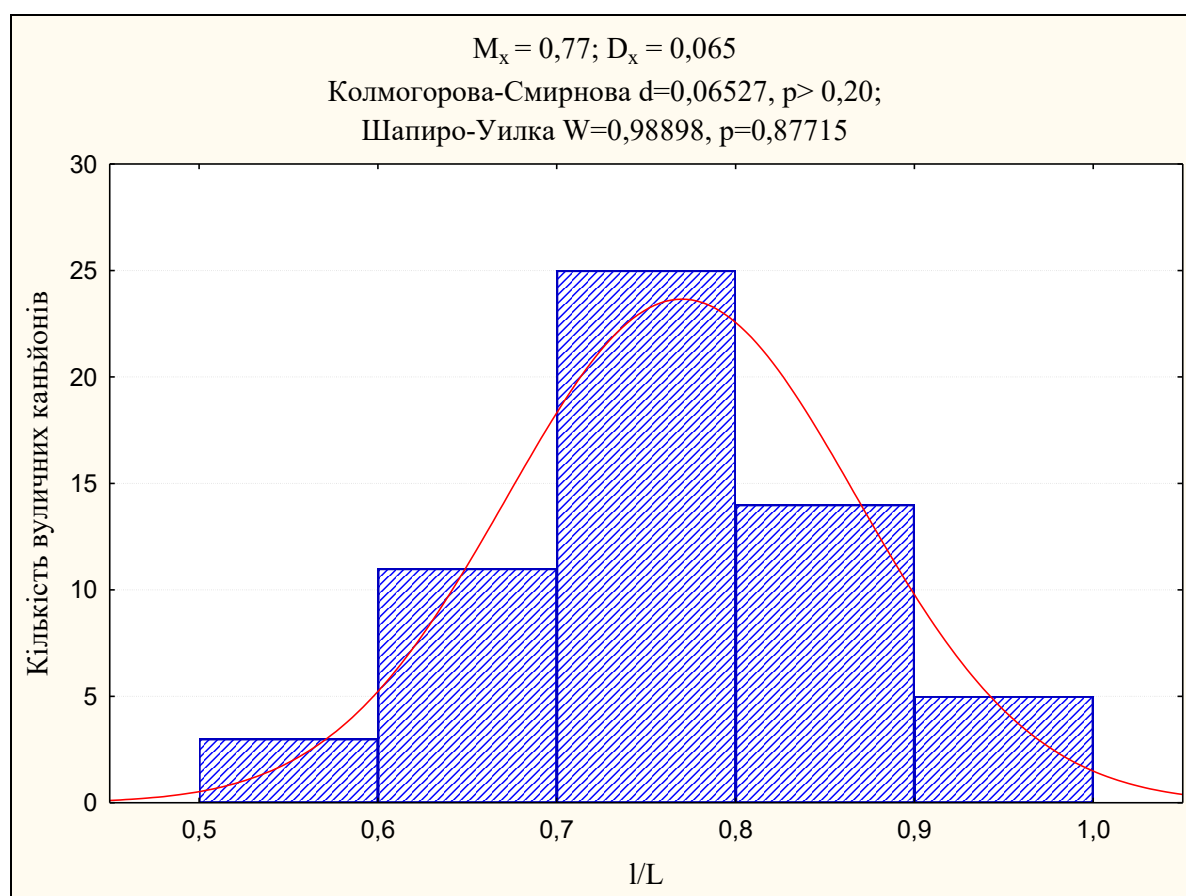


Рисунок 2.8 – Щільність розподілу вуличних каньйонів

Таблиця 2.7 – Описова статистика індексних показників вуличних каньйонів (кластер 1.1)

Індекси	Середнє значення	Стандартне відхилення	Дисперсія
l_1/L	0,39	0,22	0,05
l_2/L	0,3	0,2	0,04
d/D	0,27	0,19	0,03
h/H	0,1	0,1	0,01

Таблиця 2.8 – Описова статистика індексних показників вуличних каньйонів (кластер 1.2)

Індекси	Середнє значення	Стандартне відхилення	Дисперсія
l_1/L	0,66	0,16	0,03
l_2/L	0,69	0,15	0,02
d/D	0,3	0,13	0,02
h/H	0,17	0,07	0,005

Оптимальна кількість кластерів була вибрана на основі показників дисперсійного аналізу, які наведені в таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Показники варіації кластерів вуличних каньйонів

	Міжгрупова дисперсія	df	Внутрішньогрупова дисперсія	df	F	p -рівень
l_1/L	6,68	1	13,6	375	184,4	0,000
l_2/L	14,21	1	11,1	375	479	0,000
d/D	0,05	1	9,5	375	1,95	0,16
h/H	0,43	1	2,9	375	56	0,000

За допомогою агломеративно-ієрархічного методу, здійснена повторна кластеризація досліджуваного масиву вуличних каньйонів, в який додатково були введені вище знайдені показники типових каньйонів. При формуванні дендограм кластерів використовувався метод Варда – метод оптимізації мінімальної дисперсії всередині кластерів (рис.2.9). Це дозволило

ідентифікувати реальні вуличні каньйони, показники яких найкращим чином узгоджені з показниками типових каньйонів. Так, вуличний каньйон, що знаходиться на вулиці Інститутська, буд. 15, 20/8 виявився типовим для кластера 2.2. Аналогічно були ідентифіковані всі інші типові каньйони для відповідних кластерів (табл.2.10) [10-13].

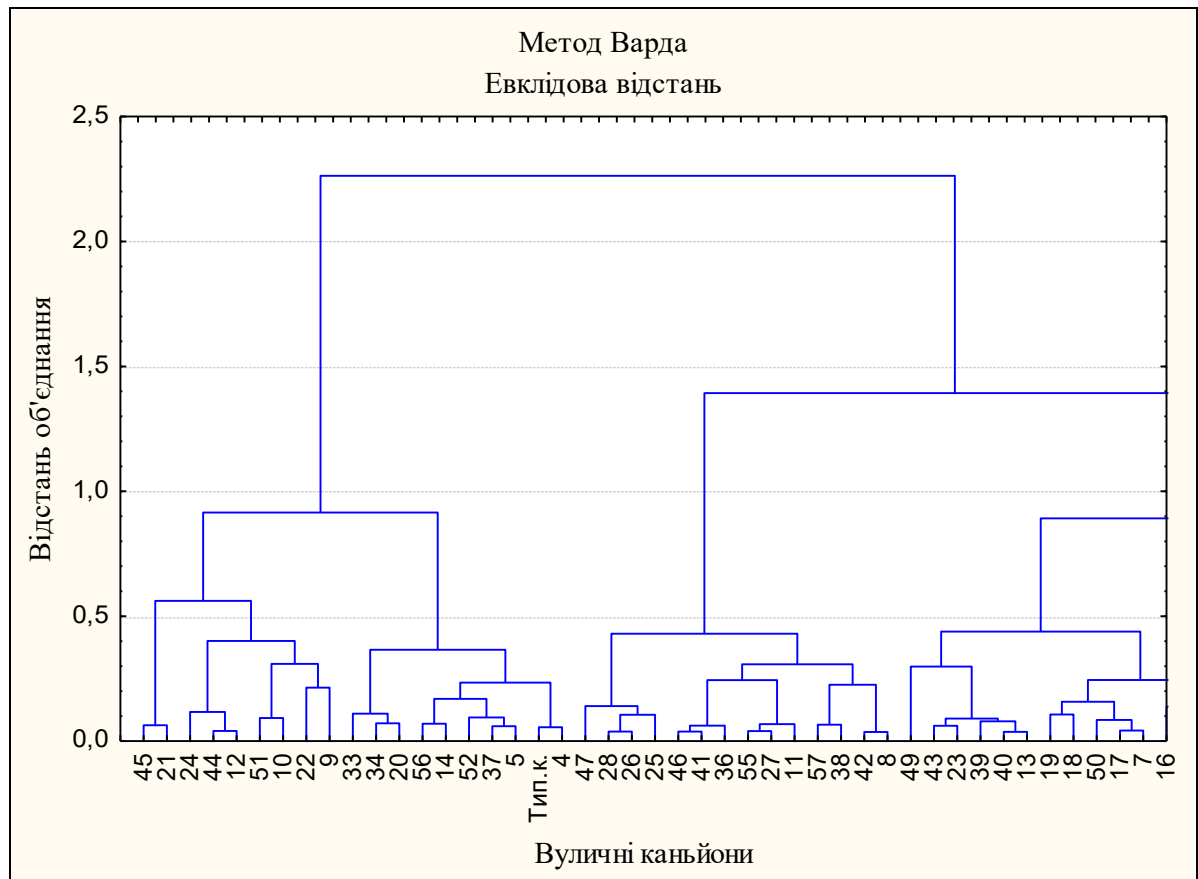


Рисунок 2.9 – Дендограма вуличних каньйонів (кластер 2.2)

Таблиця 2.10 – Типові вуличні каньйони Печерського району м. Києва

	Типові вуличні каньйони	i_1	i_2	i_3	$E_V, \text{м}^3$
Потенційно безпечні каньйони	вул. Грушевського; буд. 9, 32 (кластер 1.1)	0,316	0,368	0,119	1881,6
	вул. Звіринська; буд. 82, 73 (кластер 1.2)	0,355	0,199	0,038	9753,1
Потенційно небезпечні каньйони	вул. Ольгинська; буд. 3, 6 (кластер 2.1)	0,625	0,248	0,167	1013,3
	вул. Інститутська; буд. 15, 20/8 (кластер 2.2)	0,629	0,286	0,130	1124,4
	вул. Мазепи; буд. 11,12 (кластер 2.3)	0,768	0,371	0,141	652,4

Таким чином, в результаті класифікації вуличних каньйонів Печерського району м. Києва, вдалося сформувати п'ять однорідних груп, в яких ідентифіковані типові вуличні каньйони за показниками побудованими на основі просторово-геометричних характеристик відповідних каньйонів [12].

2.4 Визначення екологічної стійкості вулично-дорожньої мережі міста під впливом транспортних потоків

Екологічна стійкість та безпека міст є одним з основних критеріїв, що визначає рівень національної безпеки та якість умов проживання у ньому. У зв'язку з загостренням екологічних проблем, зокрема пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря автомобільним транспортом, екологічні обмеження повинні бути домінуючими в розвитку урбанізованої території, формування її інфраструктури і визначати якість життя на цій території [8, 20].

Екологічна стійкість міських екосистем – це оптимізація ефектів взаємодії між її підсистемами, з метою мінімізації цільової функції - рівня техногенного забруднення.

В якості показника, що визначає екологічну безпеку вуличного каньйону та екологічну стійкість ВДМ в цілому приймалася критична експозиція рівня забруднення, тобто час за який концентрація забруднюючої речовини досягає гранично допустимого значення [11, 29].

Якщо рівень забруднення i -го каньйону відповідає гранично допустимій концентрації j -го забруднювача ($ГДК_j$, $мг/м^3$), то критична експозиція забруднення ($\tau_{ij}^{кр}$, с) може бути визначена, через статичні та динамічні характеристики каньйону при номінальному навантаженні [6]:

$$\tau_{ij}^{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\Gamma\text{ДК}_j \cdot E_{Vi}}{M_j^{\text{ef}} \cdot I_i^{\text{ном}} \cdot \sin \frac{\pi}{2}}}, \quad (2.4)$$

де M_j^{ef} – потужність викиду j -ої шкідливої речовини ефективним транспортним засобом, г/с ;

$I_i^{\text{ном}}$ – розрахункова (номінальна) інтенсивність транспортного потоку в i -му каньйоні, авт/с ;

E_{Vi} – екооб'єм i -го каньйону, м^3 ;

β_i – кут між напрямком вітру та напрямком ділянки дороги для відповідного каньйону, (максимальний вплив при $\frac{\pi}{2}$);

$\tau_{ij}^{\text{кр}}$ – критична експозиція забруднення i -го каньйону, с ;

$\Gamma\text{ДК}_j$ – гранично допустима концентрація j -ої забруднюючої речовини, мг/м^3 .

Аналогічно, для фактичної експозиції забруднення τ_{ij} , маємо:

$$\tau_{ij} = \sqrt{\frac{C_{ij} \cdot E_{Vi}}{M_j^{\text{ef}} \cdot I_i \cdot \sin \beta}}, \quad (2.5)$$

де C_{ij} – рівноважна концентрація рівня забруднення j -ої шкідливої речовини в i -му каньйоні при експозиції забруднення τ , мг/м^3 .

Звідки, ваговий коефіцієнт j -го забруднення в i -му каньйоні ($\omega_{ij} = C_{ij}/\Gamma\text{ДК}_j$):

$$\omega_{ij} = \left(\frac{\tau_{ij}}{\tau_{ij}^{\text{кр}}}\right)^2 \cdot \frac{I_i}{I_i^{\text{ном}}} \sin \beta. \quad (2.6)$$

Для ідентифікації просторової орієнтації вуличних каньйонів вводився параметр α , кут, що утворений напрямком північ-південь та напрямком відповідного каньйону. Оскільки на рівень забруднення придорожного

простору впливає просторова орієнтація вулиці по відношенні до домінуючого напрямку вітру, то для цього визначався відповідний кутовий параметр $\beta=90+\alpha$ (рис.2.10) [11].

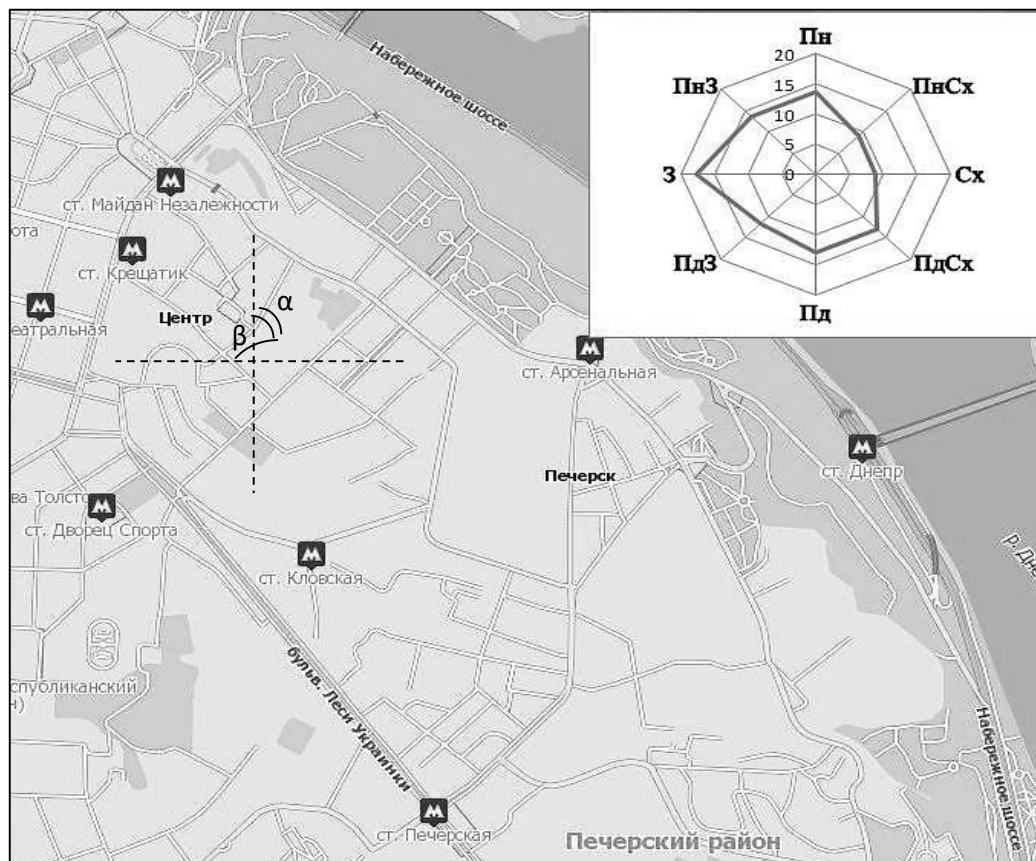


Рисунок 2.10 – Просторова орієнтація ВДМ в полі вітру

В якості інгредієнта забруднення розглядався оксид вуглецю, разова гранично допустима концентрація якого в повітрі становить $0,005 \text{ г/м}^3$.

На основі абсолютних значень статичних та динамічних характеристик вуличних каньйонів ВДМ Печерського району м. Києва, наведених в таблиці 2.11, визначено критичну експозицію рівня забруднення та здійснено ранжування каньйонів за екооб'ємом (E_{Vi}).

В табл. 2.11 наведені дані, які відповідають трьом ділянкам, що мають мінімальні та максимальні значення екооб'єму. Слід відмітити, що величини екооб'єму не мають повної кореляції зі значеннями критичної експозиції забруднення (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,24).

Таблиця 2.11 – Статичні та динамічні характеристики однорідних ділянок ВДМ Печерського району м. Києва

№ ділянки	Назва Вуличного каньйону	E_{Vi} , м ³	$I_i^{ном}$, авт./год	α , град	β , град	$\tau_{ij}^{кр}$, год
128	Лесі Українки	174,5	1200	120	30	0,13
127	Еспланадна	209	500	40	130	0,18
41	Скоропадського	229,4	800	170	80	0,14
...						
183	Добровольчих батальйонів	87703,7	200	45	135	6,22
373	М. Міхновського	95214,5	1200	160	70	2,3
366	Звірінецька	143374	200	130	40	8,4

На основі критичних параметрів мережі, було побудовано функцію щільності розподілу ймовірностей критичних експозицій забруднення ($ГДК_{CO}$) для вуличних каньйонів ВДМ Печерського району м. Києва, яка на основі висунутої нульової гіпотези про логарифмічно нормальний розподіл, має вигляд:

$$f(\tau_{ij}^{кр}) = \frac{1}{1,52 \cdot \tau_{ij}^{кр}} \cdot e^{-\frac{\ln(\tau_{ij}^{кр}) + 0,32}{0,74}}, \quad (2.7)$$

де числові коефіцієнти (1,52; 0,32; 0,74) характеризують параметри розподілу: середнє значення та дисперсію досліджуваної величини.

Для кількісного порівняння ступеня потенційної екологічної небезпеки вуличних каньйонів були розраховані рівні перевищення значень ГДК для оксиду вуглецю, що дало підстави оцінити стійкість ВДМ при номінальних навантаженнях мережі транспортними потоками.

Отже, змодельоване поле рівня забруднення вуличних каньйонів Печерського району м. Києва та представлено 3D поверхнею (рис.2.11) в залежності від модельних значень експозиції забруднення в діапазоні від 0 до 4,5 годин та з кроком 0,5 годин при номінальній інтенсивності

автотранспортного потоку на кожній ділянці [10-12]. Таке моделювання дозволяє виявляти потенційно екологічно небезпечні ділянки ВДМ та виконувати контроль екологічної стійкості мегаполісу та безпеки міста.

Аналіз стійкості вулично-дорожньої мережі Печерського району дозволив виявити потенційну екологічну небезпеку вуличних каньйонів міста Києва.

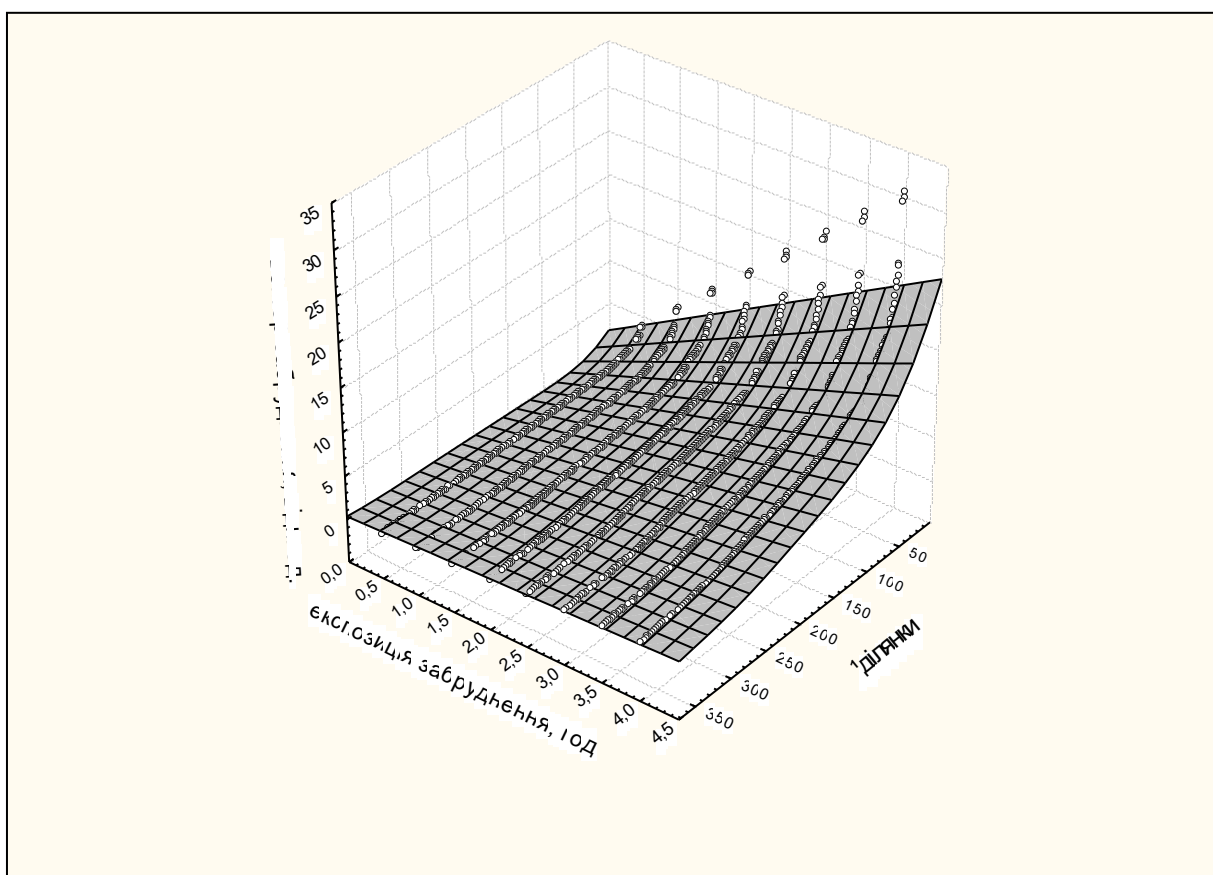


Рисунок 2.11 – 3D поверхня поля рівня забруднення вуличних каньйонів Печерського району м. Києва оксидом вуглецю

Так, наприклад, для деяких вулиць (Еспланада, Л.Українки) спостерігається перевищення ГДК у 20 разів у той зріз часу, коли забруднення останнього вуличного каньйону (вул. Тимірязівська) досягне гранично-допустимого значення.

2.5 Аналіз стану довкілля вулично-дорожньої мережі міста за розподілом вітрових потоків

Рівень забруднення атмосфери міст автотранспортом обумовлений впливом як статичних (геометричні параметрами забудови та просторової орієнтації вулиць), так і динамічних (транспортні потоки, метеорологічні умови) чинників. При цьому, поля забруднення, які утворюються, мають значні просторові градієнти концентрації з сильною часовою мінливістю. Під час моделювання таких полів, необхідно визначати не тільки потужніють джерел викиду, а й мінливість метеорологічних полів, зокрема векторного поля вітру в шарі шорсткості вуличного каньйону, яка обумовлена специфічними особливостями підстильної поверхні [18, 36, 47, 48]. Метеорологічні умови можуть сприяти як накопиченню забруднюючих речовин так і розсіюванню їх за межі міста. Для моделювання векторного поля швидкості вітру у приземному шарі необхідно виділяти внутрішній приземний шар (шар шорсткості) в якому детально розглядаються елементи шорсткості (забудова, зелені насадження), форма та розмір вуличних каньйонів міста.

У зв'язку з цим проведено аналіз квазінеперервних значень швидкості та напрямку вітру (дискретність 1 хв.) в м. Києві за рік. Метеорологічна інформація зі складових вітру була отримана з метеостанції Київ Центральної геофізичної обсерваторії, де вимірювання проводиться за допомогою двох основних вітровимірювальних приладів: анемометра МАРК та анеморумбометра М-63.

Протягом року найбільша середньомісячна швидкість вітру (2,7-2,9 м/с) спостерігається у зимові місяці. Починаючи з травня вона поступово зменшується і у серпні набуває найменших значень. Швидкість вітру у денні години значно вища, оскільки за рахунок конвекції створюється значний вертикальний обмін. В нічні і ранкові години збільшується стійкість повітря у нижніх шарах тому швидкість вітру нижча. Протягом лютого

середньодобові швидкості вітру становлять 1-5,7 м/с (рис.2.12). У нічні години коливання швидкості вітру менш значні, а в ранці і вдень дещо збільшується.

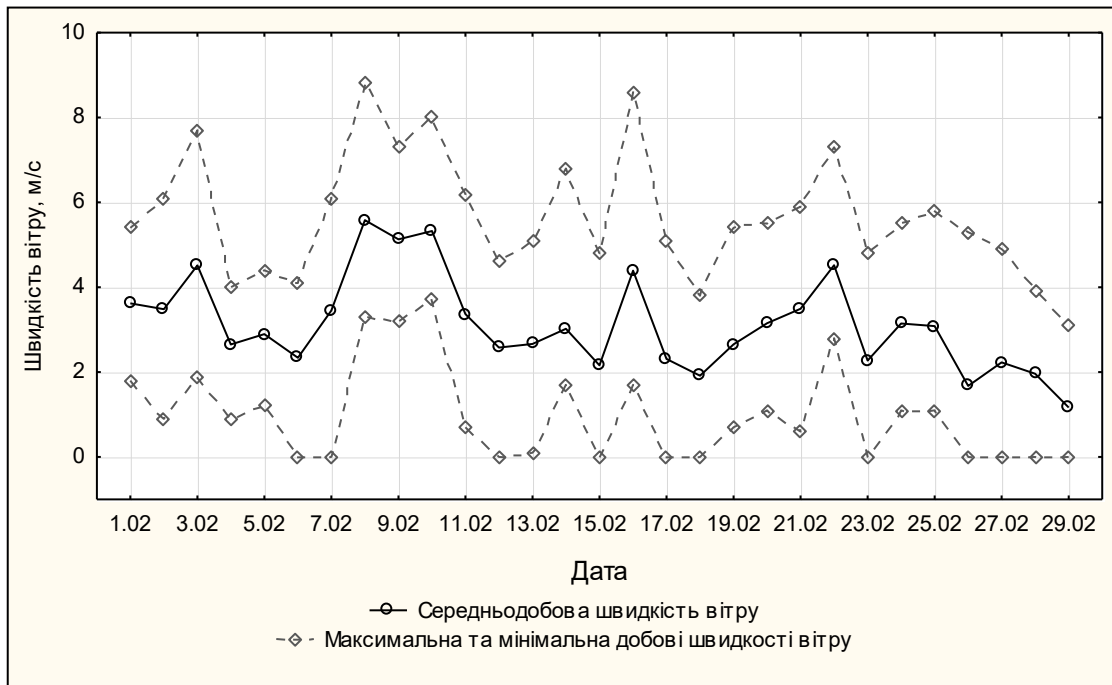


Рисунок 2.12 – Динаміка середньодобових значень швидкості вітру

Найбільш повторювальні напрями вітру: західний – протягом 6 місяців; північний – протягом 4 місяців та південно-східний – протягом 2 місяців.

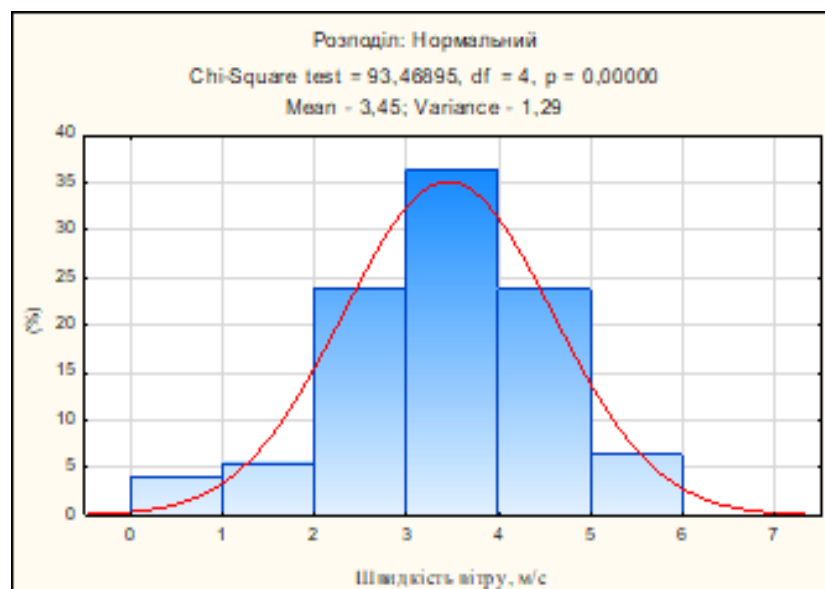


Рисунок 2.13 – Щільність добового розподілу швидкості вітру – 7.02.18

Щільність розподілу значень швидкості та напрямку вітру протягом доби, з незначними винятками, виявилися близькі до нормальних (рис. 2.13, 2.14).

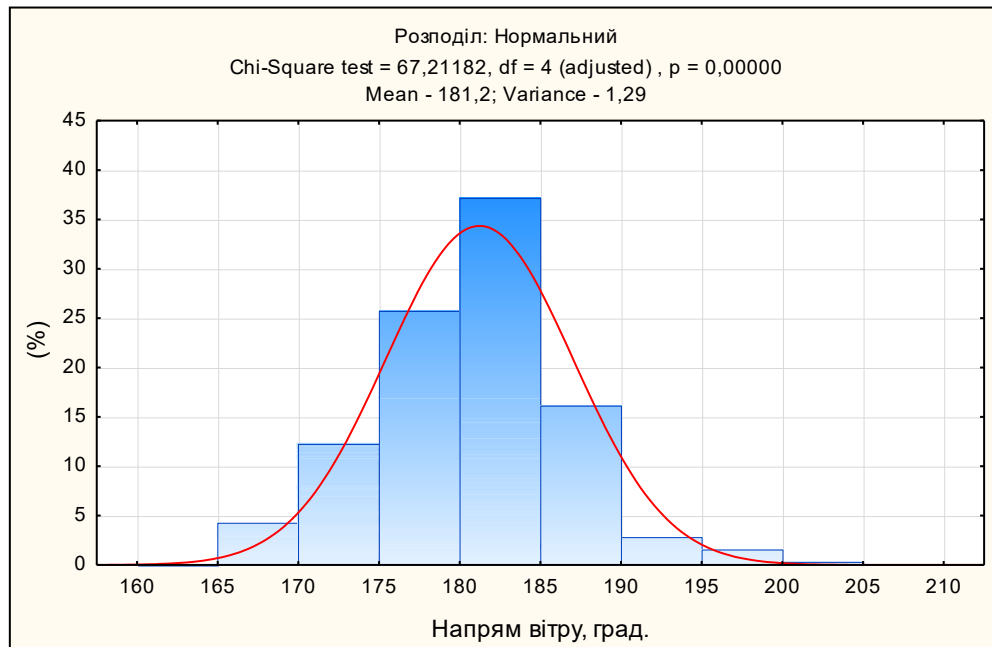


Рисунок 2.14 – Щільність добового розподілу напрямку вітру – 7.02.18

Ступінь закритості шару шорсткості – дієвого шару соціуму, значно більший ніж метеостанції Київ. Тому в даному шарі можуть виникати мікрокліматичні розбіжності викликані внаслідок щільності і висоти забудов, співвідношення твердого покриття, озеленення території тощо. Структура міської забудови, збільшуючи шорсткість може призводити до зміни характеристик турбулентності, швидкості та напрямку вітру [17, 42].

У зв'язку з цим проведений порівняльний аналіз між динамікою швидкості вітру в одному з типових вуличних каньйонів м. Києва та швидкістю глобальних повітряних мас виміряних на метеорологічній станції (рис.2.15). Вимірювання швидкості вітру у вуличному каньйоні проводилося за допомогою портативних чашечкових анемометрів з часовою дискретністю 1 хв. Результати аналізу свідчать про відсутність кореляційного зв'язку: коефіцієнт кореляції $< 0,1$ та сильні відмінності між значеннями швидкості

вітру (середньодобові значення швидкості вітру у шарі шорсткості та на метеостанції становлять 0,5м/с та 5,3м/с відповідно).

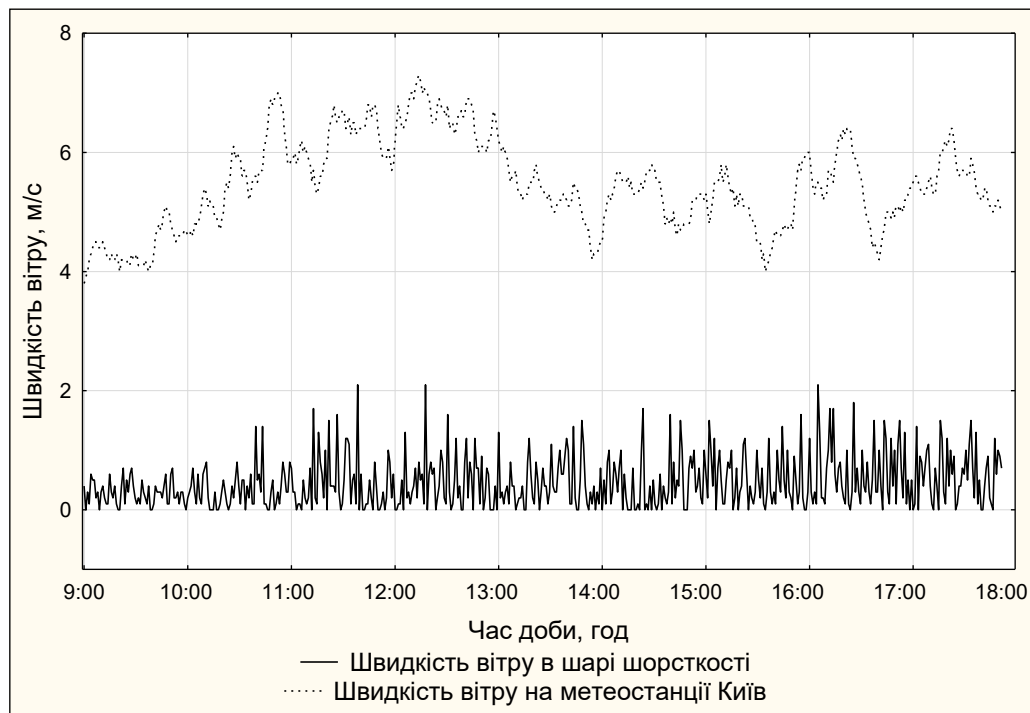


Рисунок 2.15 – Порівняння добового ходу швидкості вітру (22.02.18)

Таким чином, поле швидкості вітру у місті має досить складну структуру, яку необхідно враховувати для коректного моделювання рівня забруднення атмосфери.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано основні чинники що формують мікрокліматичні розбіжності міст, серед яких щільність і висота забудов, співвідношення твердого покриття, озеленення території, а також антропогенні фактори: промислове виробництво, теплові електростанції, транспорт тощо. Досліджено основні метеорологічні показники міста Києва, що впливають на стан довкілля, а саме швидкість та напрямок вітру, термічна стійкість

атмосфери, ступінь вертикального змішування домішок, вимивання забруднюючих речовин опадами та інші.

2. Проведено аналіз методів класифікації вуличних каньйонів. Результати класифікації виявили, що індексний метод є найбільш інформативним, оскільки містить як показники, що корелюють з показниками інших методів, так і некорельовані показники, які несуть додаткову інформацію про геометрично-просторові характеристики вуличних каньйонів.

3. Розроблено структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст, на основі аналізу просторово-геометричних характеристик архітектурно-планувальних елементів міської забудови та закономірностей формування полів вітрових потоків в умовах урбанізованих територій, для забезпечення ефективного екологічного моніторингу ВДМ.

4. В результаті класифікації вуличних каньйонів Печерського району м. Києва, сформовано п'ять однорідних груп, в яких ідентифіковано типові вуличні каньйони за показниками побудованими на основі просторово-геометричних характеристик відповідних каньйонів. Формування однорідних груп (кластерів) здійснювалося за допомогою методу k-середніх кластерного аналізу, ітераційно, з різною кількістю кроків розбиття доти, коли не вдалося досягнути мінімальних розбіжностей між значеннями аналізованих структурних ознак елементів мережі (індексів) у кожному сформованому кластері.

5. Проведений порівняльний аналіз між динамікою швидкості вітру в одному з типових вуличних каньйонів м. Києва та швидкістю глобальних повітряних мас виміряних на метеорологічній станції, який свідчить про відсутність кореляційного зв'язку та сильні відмінності між значеннями швидкості вітру.

РОЗДІЛ 3 СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ

3.1 Контроль і нормування інгредієнтного забруднення під впливом транспортних потоків

Нормування екологічних показників автомобілів та їх двигунів проводять на стадії виробництва та в процесі експлуатації. На стадії виробництва екологічні показники автомобілів перевіряють, випробовуючи ТЗ на стендах тягових якостей та гальмівних стендах. У процесі експлуатації перевірку відповідності допустимим нормам забруднюючих речовин проводять на ТЗ під час роботи двигунів в окремих режимах, які є характерними для експлуатації.

Першим, хто законодавчим шляхом обмежив викиди забруднюючих речовин у ВГ був штат Каліфорнія (США). Після того як вступили в дію в середині 60-их рр. перші Каліфорнійські норми, які обмежували викиди від автомобілів з бензиновими двигунами, у подальшому значення допустимих концентрацій токсичних компонентів у ВГ постійно зменшувалися. Пізніше усі індустріально розвинуті країни ввели стандарти, які встановлюють гранично допустиму концентрацію токсичних речовин у ВГ бензинових та дизельних двигунів, а також регламентують методи їх контролю [5, 22, 28].

Найбільш важливими стандартами (нормами) по обмеженню шкідливих речовин є: стандарт CARB (Управління з охорони атмосферного повітря, шт. Каліфорнія); норми EPA (Агентство по охороні навколишнього середовища США); стандарт EU (Європейський Союз); норми Японії.

В залежності від класу автомобіля та цілей випробування регламентується застосування трьох методів проведення випробувань:

- випробування на відповідність стандартам для отримання загального дозволу на виготовлення даного автомобіля;

- контроль серійно виготовленої продукції у вигляді вибіркової перевірки існуючого виробництва;
- контроль автомобілів в дорожніх умовах з ціллю перевірки визначених компонентів у ВГ.

В європейських країнах випробування і нормування ТЗ щодо викидів забруднюючих речовин здійснюють згідно із правилами Європейської Економічної Комісії (ЄЕК) ООН та Директивами ЄС.

Нормування викидів забруднюючих речовин ТЗ категорії M1 і N1 було запроваджено у 1970 році, а також прийняті Правила ЄЕК ООН №15 та Директива ЄС 70/220. На основі цих правил та документів здійснювалися обмеження викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів автомобілями відповідних категорій з бензиновими двигунами. Випробування ТЗ згідно з Правилами ЄЕК ООН №15 відбувається на стенді з біговими барабанами, імітуючи умовний рух транспортного засобу під час їздового циклу. Їздовий цикл включає сукупність характерних режимів руху автомобіля в міських умовах експлуатації та населених пунктах. У подальшому, до вказаних Правил та Директив додавалися поправки, в яких ввели обмеження викидів оксидів азоту, більш суворо обмежували викиди CO і C_nH_m , а також поширили застосування обмежень на автомобілі з дизелями.

Наприкінці 1987 року для відповідних категорій транспортних засобів, були прийняті Правила ЄЕК №83, що удосконалювали Правила №15. Згідно даних правил під час випробування автомобілів категорії M1 було вперше введено їздовий цикл, що включає, окрім чотирьох звичайних міських циклів, додатковий їздовий цикл, який імітує рух транспортного засобу поза містом [5].

Методи випробування і норми гранично допустимих викидів забруднюючих речовин ТЗ та їх двигунів встановлюють з урахуванням класифікації ТЗ. Згідно із Правилами і Директивами Європейської економічної комісії ООН і Європейського Союзу, автотранспортні засоби поділяються за категоріями: M (M_1 , M_2 , M_3) – ТЗ, які мають не менше ніж

чотири колеса і які використовують для перевезення пасажирів; N (N₁, N₂, N₃) – автотранспортні засоби, які мають не менше ніж чотири колеса і які призначені для перевезення вантажів; L – ТЗ, які мають менше ніж чотири колеса. Крім того, ТЗ категорії N1 а також M1 з числом місць для сидіння більше ніж 6 і повною масою більше ніж 2,5 т поділяються на три вагові класи. Для кожного вагового класу встановлюється окрема норма викидів [22].

У першій половині 90-х років минулого століття європейські країни почали розробляти нову систему заходів спрямованих на покращення екологічних показників. Згідно неї виробників транспортних засобів і автомобільних двигунів зобов'язали поступово вдосконалювати свою продукцію у напрямку зменшення викидів забруднюючих речовин. Нові встановлені вимоги до максимальних викидів шкідливих речовин ТЗ мають назву: "Євро-0", "Євро-1", "Євро-2", "Євро-3", "Євро-4", "Євро-5", "Євро-6", "Євро-7", в залежності від ступеня жорсткості вимог (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Екологічні норми згідно з Директивою 70/220/ЕЕС та Правилами ЄЕК ООН №83 для ТЗ категорії M1a

Рівень вимог	Дата введення в ЄС	Допустимі викиди забруднюючих речовин, г/км				
		CO	CH	CH+NO _x	NO _x	ТЧ
Дизельне паливо						
Євро 1 ^б	07.1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)
Євро 2, IDI	01.1996	1	-	0,7	-	0,08
Євро 2, DI	01.1996 ^г	1	-	0,9	-	0,1
Євро 3	01.2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Євро 4	01.2005	0,50	-	0,3	0,25	0,025
Євро 5 ^в	07.2008	0,50	-	0,25	0,2	0,005
Бензин						
Євро 1 ^б	07.1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Євро 2	01.1996	2,2	-	0,5	-	-
Євро 3	01.2000	2,3	0,2	-	0,15	-
Євро 4	01.2005	1	0,1	-	0,08	-
Євро 5 ^в	07.2008	1	0,075	-	0,06	0,005 ^д

В Україні вміст забруднюючих речовин у ВГ автомобілів регламентуються Правилами ЄЕК ООН та державними стандартами ДСТУ 4277(Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі) та ДСТУ 4276 (Норми і методи вимірювань димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями).

Нормування шкідливих викидів двигунами ТЗ категорій М2, М3, N2 і N3 розпочалося після прийняття Правил ЄЕК ООН №49 (15.04.1982) та Директиви 88/77/ЕЕС. Згідно з Правилами №49 випробування проводяться на дизелі, встановленому на гальмівний стенд, в режимах тринадцяти ступінчастого циклу. Норми викидів встановлюють відносно одиниці роботи, виконаної дизелем (табл. 3.2) [22, 65].

Таблиця 3.2 – Екологічні норми викидів забруднюючих речовин для дизельних двигунів великовантажних ТЗ, г/кВт·год (димність у м⁻¹)

Рівень вимог	Дата введення в ЄС	Тестовий цикл	Допустимі викиди забруднюючих речовин, г/кВт·год (димність у м ⁻¹)				
			СО	СН	NO _x	ТЧ	Димність
Євро-1	1992, <85кВт	ECE-49	4,5	1,1	8	0,612	
	1992, >85кВт		4,5	1,1	8	0,36	
Євро-2	10.1996		4	1,1	7	0,25	
	10.1998		4	1,1	7	0,15	
Євро-3	10.1999, тільки для EEV	ESC та ELR	1,5	0,25	2	0,02	0,15
	10.2000		2,1	0,66	5	0,3	0,8
Євро-4	10.2005		1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Євро-5	10.2008		1,5	0,46	2	0,02	0,5

Основну інформацію про показники роботи транспортних засобів можна отримати шляхом вимірювання під час руху автомобіля за їздовими циклами. Їздові цикли включають усталені та перехідні режими роботи двигуна автомобіля у широкому діапазоні, які дозволяють з високою точністю визначати значну кількість вихідних параметрів. На сьогоднішній

день існує велика кількість різновидів їздових циклів. Усі вони були отримані в результаті вивчення режимів руху автомобілів в конкретних містах з урахуванням багатьох факторів, а саме: умов експлуатації, типу транспортного засобу тощо. Найбільш відомими з них є американський, європейський та японський випробувальні цикли [28].

У країнах Європи випробування ТЗ здійснюється на стенді з біговими барабанами при умовному русі ТЗ за Європейським міським їздовим циклом. Цей цикл був визначений за результатами замірів режимів руху легкових автомобілів у великих містах та умовно позначений як ECE R-15 і введений Правилами ЄЕК ООН №15 в 1970 році, коли було започатковано нормування викидів шкідливих речовин легковими автотранспортними засобами. Він включає чотири елементарних міських їздових цикли. Довжина умовного шляху циклу 4052 м, час виконання 780 с, максимальна швидкість ТЗ 50км/год. Перед випробуванням ТЗ витримують у спеціальному боксі при температурі $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ не менше ніж 6 годин. Після цього запускають двигун, який повинен працювати при мінімальній частоті обертання холостого ходу протягом 40 с. Загальна тривалість Європейського міського їздового циклу становить 820с, а середня швидкість – 18,7 км/год, враховуючи попередню роботу двигуна в режимі холостого ходу та послідовного виконання чотирьох елементарних циклів.

Для отримання більш точних та повних результатів під час проведення випробувань легкових автомобілів на токсичність застосовують модифікований їздовий цикл (рис. 3.1). Він включає, окрім чотирьох звичайних наборів міських режимів, додатковий набір режимів, що імітує рух автомобіля за містом.

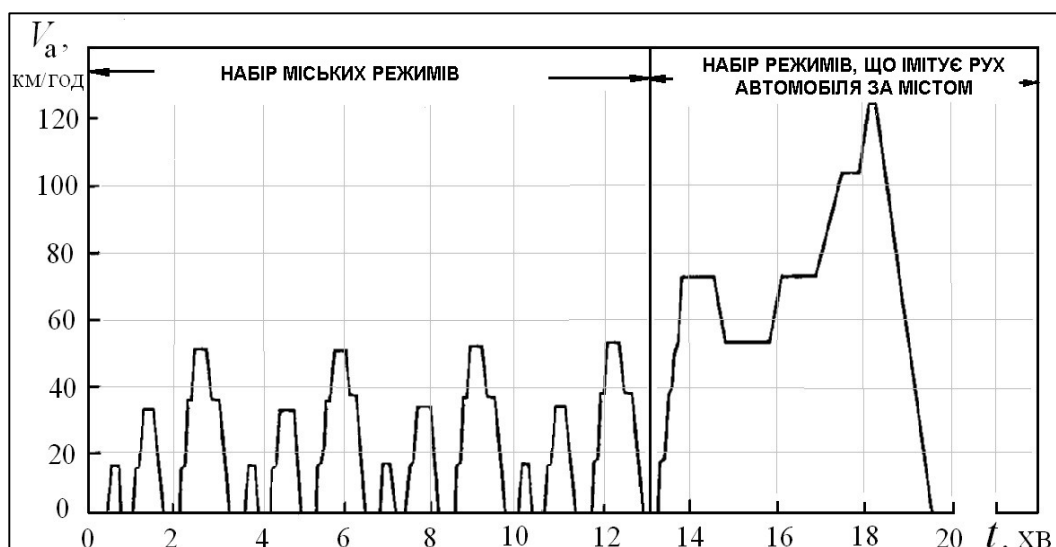


Рисунок 3.1 – Модифікований Європейський їздовий цикл

Час виконання такого циклу становить до 1180 с, довжина умовного шляху автомобілів – 11 км, максимальна швидкість – 120 км/год (для автомобілів з двигунами невеликої потужності - 90 км/год), середня швидкість - 33,6 км/год.

У Сполучених Штатах Америки для випробування легкових автомобілів використовується більш складний їздовий цикл. У ньому практично відсутні усталені режими руху. Довжина умовного шляху в ньому складає – 17,8 км, час його виконання – 1877 с, максимальна швидкість руху – 91,2 км/год, середня швидкість руху – 34,1 км/год (рис. 3.2).

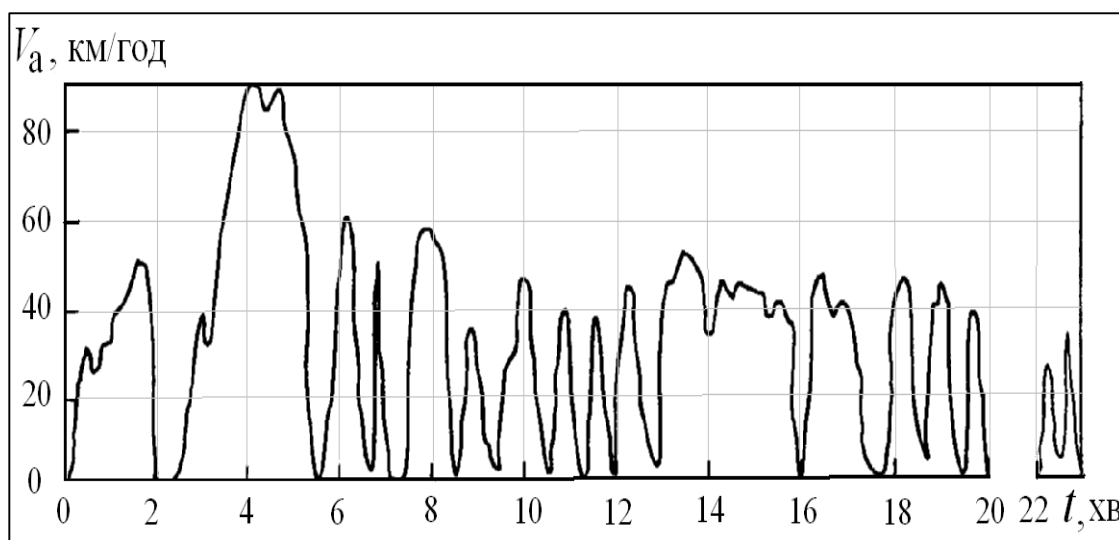


Рисунок 3.2 – Міський федеральний випробувальний цикл США

В Японії випробування транспортних засобів з масою менше 2,5 т та можливою кількістю пасажирів менше 10 проводиться за декількома їздовими циклами, а саме холодні випробування за 11 режимним циклом без попереднього прогріву двигуна та з попереднім прогрівом двигуна за 10-15 режимним циклом. Кожна з фаз циклу триває 120 с, довжина яких становить 1021 м, середня швидкість руху дорівнює 30,6 км/год. Довжина такого циклу становить – 4,16 км, час виконання – 660 с, максимальна швидкість руху – 70 км/год, середня швидкість руху – 22,7 км/год (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – 10-15-режимний їздовий цикл (Японія)

Визначення витрати палива і викидів забруднюючих речовин при випробуванні автомобілів за будь-яким їздовим циклом здійснюється на основі рівняння тягового балансу за яким визначають крутний момент двигуна та частоту обертання, а за ними в свою чергу, використавши навантажувальні характеристики двигуна, можна знайти годинну витрату палива і викиди шкідливих речовин [5, 22].

3.2 Статистична модель "ефективного" транспортного потоку

Оцінка рівня забруднення екосистем міста автомобільним транспортом базується на інформації про кількісно-якісний склад ТП. Сучасний автопарк міста уявляє собою велику сукупність різноманітних ТЗ, що характеризується широким спектром марок, моделей, серій. Окрім того, визначаючи рівень забруднення, необхідно враховувати тип двигуна, технічний стан, час перебування в експлуатації автомобіля тощо. Тому кількісна оцінка техногенного впливу від ТП, що функціонує в умовах великого міста, є трудомісткою задачею, яка може бути розв'язана лише наближено [5, 13, 15, 27, 32].

Усі методи розрахунку масових викидів забруднюючих речовин використовують екологічні характеристики ТЗ. Методики розрахунку мають різний рівень теоретичного обґрунтування. У них через прямі та функціональні залежності, а також поправочні коефіцієнти враховуються фактори що визначають обсяги шкідливих викидів: інтенсивність, склад, щільність ТП, навантажувально-швидкісні режими руху ТЗ, характеристики ВДМ, організація дорожнього руху, тощо. Зазвичай у методиках використовуються усереднені значення характеристик ТП для певної території міста та часу.

Методологія оцінки викидів забруднюючих речовин ТП, що використовується в різних країнах подібна. Вона заснована на використанні статистичних даних про кількість спожитого палива або на дослідженні характеристик ТП та використанні питомих пробігових викидів.

Основною задачею під час визначення інтенсивності викидів забруднюючих речовин є диференціація транспортного потоку на певні групи та встановлення відповідності конкретного транспортного засобу до відповідної групи. Дана задача ускладнюється через можливість отримання об'єктивної інформації про інтенсивність та якісну структуру транспортного потоку.

Основні підходи оцінки інтенсивності викидів забруднюючих речовин автомобільним транспортом умовно поділяються на методики інвентаризації забруднюючих речовин в масштабах автомобільного парку підприємства або країни в цілому за певний період часу. Вони засновані на використанні статистичних даних про структуру автомобільного парку, витрат палива спожитого певним типом транспортного засобу та включають оцінку рівня забруднення від транспортних засобів, різних марок, що відповідають різним екологічним нормам, які експлуатуються в міських умовах.

А також методики, що оцінюють викиди забруднюючих речовин на окремій ділянці вулично-дорожньої мережі. У них в якості вихідних даних використовуються результати експериментальних досліджень складу та інтенсивності транспортного потоку на автомагістралях міста з поділом транспортних засобів за основними групами. У даному випадку масові викиди забруднюючих речовин уявляють собою усереднені викиди для досліджуваних груп автомобілів.

Пробіговий викид від транспортних потоків оцінювався на основі концепції "Ефективного" транспортного потоку [13, 15, 66].

"Ефективний" ТП це модельний потік, техногенна ефект-дія якого на навколишнє середовище еквівалентна дії реального ТП, що містить аналогічну кількість ТЗ. "Ефективний" ТП, являється статистичною сукупністю "ефективних" транспортних засобів відповідних категорій, яка визначається [66]:

$$N_{ef} = N_{ef}(M_1) + N_{ef}(M_2) + N_{ef}(M_3) + N_{ef}(N_1) + N_{ef}(N_2) + N_{ef}(N_3) + N_{ef}(L) \quad , \quad (3.1)$$

де: N_{ef} - кількість "ефективних" ТЗ всіх категорій, що наповнюють автопарк (потік) міста, *од*;

$N_{ef}(M_1) = N_{ef}\omega_1$ - кількість "ефективних" ТЗ категорії M_1 , *од*;

$N_{ef}(M_2) = N_{ef}\omega_2$ - кількість "ефективних" ТЗ категорії M_2 , *од* і т.д.;

ω_i - нормований ваговий коефіцієнт, що визначає частку ТЗ даної категорії в автопарку (потоці) міста.

Вагові коефіцієнти наведених категорій для автотранспортного парку знаходяться на основі даних про структуру автопарку даного міста (генеральної статистичної сукупності), а для "ефективного" ТП, що функціонує у ВДМ (вибіркової статистичної сукупності), знаходяться на основі моніторингу його структури в реальних умовах.

"Ефективний" ТЗ відповідної категорії це віртуальний транспортний засіб, техніко-експлуатаційні характеристики якого відповідають середньозваженим характеристикам автомобілів всіх марок, моделей, серій автомобілів, що відносяться до даної категорії з урахуванням їх вагових коефіцієнтів. При побудові "ефективного" ТЗ залучалися, в першу чергу, техніко-експлуатаційні характеристики (об'єм двигуна, потужність, вид палива, витрата палива, маса, габарити тощо), які безпосередньо або опосередковано впливають на рівень потужності інгредієнтного (хімічного) забруднення [13, 66, 133].

Техніко-експлуатаційні характеристики "ефективного" автомобіля це середньозважені значення кожної характеристики для всього ряду (марка, модель, серія) даної категорії. Вагові коефіцієнти це частка ТЗ певної марки, моделі, серії від загальної кількості автомобілів даної категорії. При цьому, вагові коефіцієнти нормовані та ранжирувані: $\omega_1 > \omega_2 > \omega_3 > \dots > \omega_n$ і

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1.$$

До основних характеристик "ефективного" ТЗ відповідної категорії відносяться:

- об'єм двигуна (V_{ef}):

$$V_{ef} = V_1 \cdot \omega_1 + V_2 \cdot \omega_2 + \dots + V_n \omega_n = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \omega_i, \quad (3.2)$$

де V_i – об'єм двигуна i -ої марки, моделі, серії ТЗ, m^3 ;

n – кількість ТЗ певної марки, моделі, серії для даної категорії, *од*;

- потужність (P_{ef}):

$$P_{ef} = P_1 \cdot \omega_1 + P_2 \cdot \omega_2 + \dots + P_n \omega_n = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \omega_i , \quad (3.3)$$

де P_i – потужність i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *к.с.*;

- витрата палива (G_{ef}):

$$G_{ef} = G_1 \cdot \omega_1 + G_2 \cdot \omega_2 + \dots + G_n \omega_n = \sum_{i=1}^n G_i \cdot \omega_i , \quad (3.4)$$

де G_i – витрата палива i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *л/100 км*;

- повна маса (M_{ef}):

$$M_{ef} = M_1 \cdot \omega_1 + M_2 \cdot \omega_2 + \dots + M_n \omega_n = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \omega_i , \quad (3.5)$$

де M_i – повна маса i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *кг*;

- споряджена маса (m_{ef}):

$$m_{ef} = m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 + \dots + m_n \omega_n = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \omega_i , \quad (3.6)$$

де m_i – споряджена маса i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *кг*;

- довжина (l_{ef}):

$$l_{ef} = l_1 \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \omega_2 + \dots + l_n \omega_n = \sum_{i=1}^n l_i \cdot \omega_i , \quad (3.7)$$

де l_i – довжина i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *мм*;

- ширина (b_{ef}):

$$b_{ef} = b_1 \cdot \omega_1 + b_2 \cdot \omega_2 + \dots + b_n \omega_n = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \omega_i , \quad (3.8)$$

де b_i – ширина i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *мм*;

- висота (h_{ef}):

$$h_{ef} = h_1 \cdot \omega_1 + h_2 \cdot \omega_2 + \dots + h_n \omega_n = \sum_{i=1}^n h_i \cdot \omega_i , \quad (3.9)$$

де h_i – висота i -ої марки, моделі, серії ТЗ, *мм. і т.д.*

3.2.1 Методика визначення "ефективного" транспортного засобу

При визначенні масових викидів шкідливих речовин від ТП необхідно мати не тільки кількісний, але й якісний його склад [13, 28, 88]. Одним із способів вирішення цієї проблеми є визначення "ефективного" автомобіля, який би був "еталонним" і як найкраще відображав увесь ТП. Для визначення "ефективного" автомобіля використовувався розподіл автомобілів зареєстрованих у підрозділах Державтоінспекції міста Києва по маркам та моделям. Так за інформацією Державтоінспекції м. Києва у столиці України налічується більше 1 млн. автомобілів, серед яких 920 тисяч – легкові. Незважаючи на зростаючу популярність автомобілів з дизельними двигунами, в Києві загальна частка їх залишається досить невеликою – близько 11,5% від усієї кількості автомобілів (рис.3.4). Щодо вікового стану автомобілів, то найбільш поширеними є автомобілі з часом перебування в експлуатації більше 10 років (рис.3.5) [5].

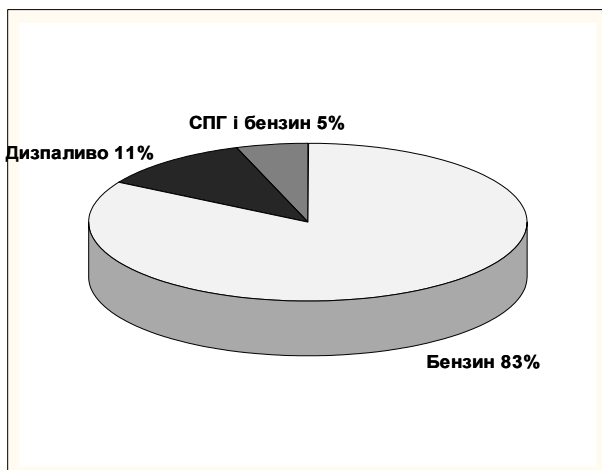


Рисунок 3.4 – Розподіл автомобілів залежно від типу двигуна у м. Києві

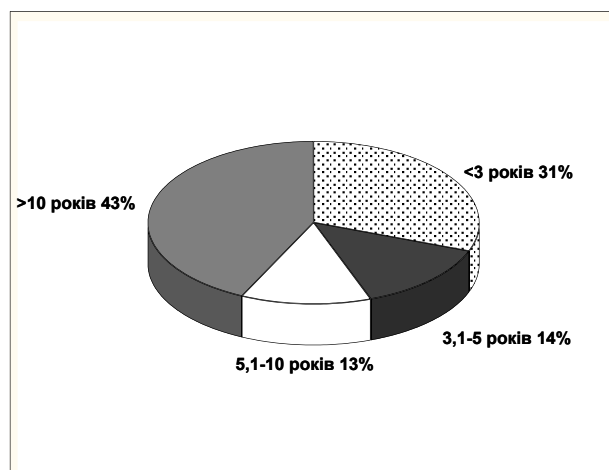


Рисунок 3.5 – Розподіл автомобілів залежно від часу перебування в експлуатації у м. Києві

Під час визначення "ефективних" ТЗ кожної з категорій створювалися вибірки найбільш поширених марки та моделей автомобілів, що зареєстровані в місті Києві для яких, в подальшому, досліджувалися техніко-

експлуатаційні характеристики. На рисунку 3.6 відображено найбільш поширені транспортні засоби категорії М1, до 75% кумулятивного наповнення яких увійшли 153 автомобілів (Додаток Ж).

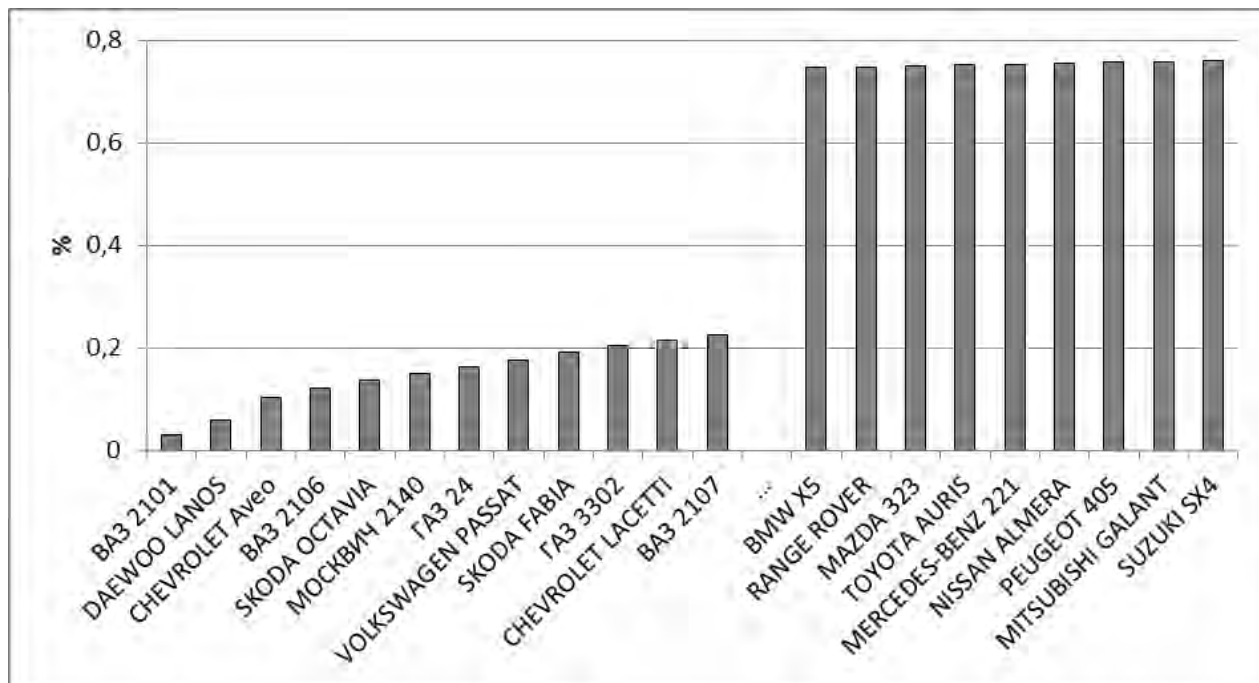


Рисунок 3.6 – Гістограми кумулятивних частот транспортних засобів категорії М1

В якості ознак за якими визначався “ефективний” ТЗ були вибрані наступні техніко-експлуатаційні характеристики: об’єм двигуна, ($см^3$); потужність, ($кВт$); витрата палива, ($л/100км.$); маса (повна та споряджена), ($кг$); габарити (довжина, ширина, висота), ($мм$); час перебування в експлуатації; тип двигуна (Додаток Ж). Додатково для ТЗ категорії М2 та М3 додавалася характеристика – пасажиромісткість, а для категорії М1 – час розгону до 100 км [15, 66].

У таблиці 3.3 наведено основні статистичні (середні величини, показники варіації тощо) оцінки техніко-експлуатаційних характеристик досліджуваних транспортних засобів.

Таблиця 3.3 – Статистичні показники техніко-експлуатаційних характеристик транспортних засобів, n=153

Техніко-експлуатаційні характеристики	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Стандартне відхилення
Час розгону, с	4381,7	1293	28166	17506441	4184,1
Об'єм двигуна, м ³	12,6	4,5	26	17	4,1
Потужність, к.с.	1920	995	6208	518941	720,4
Витрата палива в місті, л/100 км	127,7	53	544	5097	71,4
Витрата палива поза містом	10,5	6,8	18,2	4,4	2,1
Змішана витрата палива, л/100 км	6,7	4,2	11	2,6	1,6
Максимальна маса, кг	8,4	5	13,3	3,4	1,85
Споряджена маса, кг	1814,5	1110	2990	162468	403,1
Довжина, мм	1306,9	710	2170	106740	326,7
Ширина, мм	4386,8	3495	5292	119994	346,4
Висота, мм	1749,4	1496	2880	18600	136,4

"Ефективний" транспортний засіб кожної з категорій визначався усередненням відповідних техніко-експлуатаційних характеристик автомобілів з врахуванням їх вагових коефіцієнтів.

Для того, щоб з'ясувати, які моделі за своїми технічними характеристиками подібні до "ефективного" автомобіля було використано кластерний аналіз – багатомірна статистична процедура, яка виконує збір даних, які містять інформацію про вибірку об'єктів, і потім їх упорядковує в порівняно однорідні групи (кластери). Головною перевагою цього методу є те що класифікація об'єктів відбувається одразу по декільком параметрам – техніко-експлуатаційним характеристикам. [29, 30].

Основним завданням кластерного аналізу є розбиття множини об'єктів (автомобілів), враховуючи дані, які містяться у множині (технічні характеристики транспортних засобів), на однорідні групи (кластери). При цьому автомобілі, які знаходяться в одному кластері повинні мати подібні

технічні характеристики. Послідовність об'єднання кластерів можна представити візуально у вигляді деревовидної дендрограми (рис. 3.7, 3.8, 3.9).

Дендрограма дозволяє відобразити взаємні зв'язки між досліджуваними об'єктами з заданого переліку. Для створення дендрограми будується матриця подібності, яка визначає рівень близькості між парами об'єктів. Найбільш поширені є агломеративні методи (Додаток 3).

Кластеризація відбувається ітераційно на основі матриці подібності за $N-1$ кроків. На першому кроці об'єкти розглядаються як самостійні кластери, а на останньому кроці всі об'єкти об'єднуються в одну велику групу. Розв'язком такої задачі є розбиття, яке задовольняє критерію оптимальності. В ролі критерію обрана сума квадратів відхилень по всім характеристикам кожної моделі автомобіля і середнього значення для даного кластеру (метод Варда).

$$W = \sum (X_j - \bar{X})^2, \quad (3.10)$$

де X_j – вектор техніко-експлуатаційних характеристик j -го автомобіля; $\bar{X}$ – середній вектор характеристик.

Тому, на кожному кроці об'єднуються такі дві моделі, які призводять до мінімального збільшення цільової функції (відповідного критерію).

Схожість між об'єктами визначається через поняття метрики (відстані) $d(X_i; X_j)$ між векторами характеристик X_i та X_j . Розрахунок елементів відстаней розбіжності відповідних параметрів проводиться на основі евклідової відстані:

$$d_e(X_i, X_j) = (\sum (X_{ik} - X_{jk})^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (3.11)$$

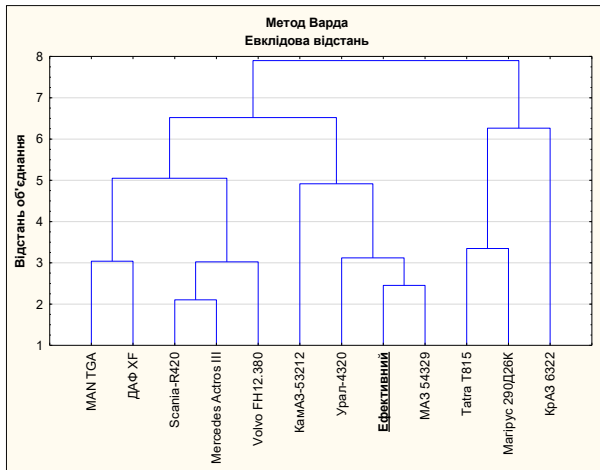


Рисунок 3.7 – Дендограма
транспортних засобів категорії N3

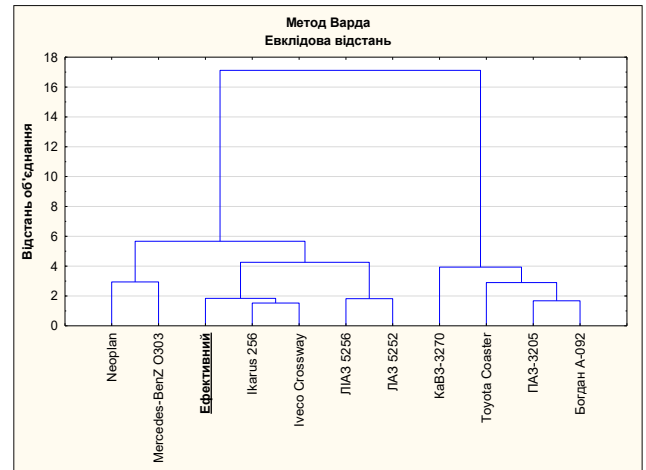


Рисунок 3.8 – Дендограма
транспортних засобів категорії M3

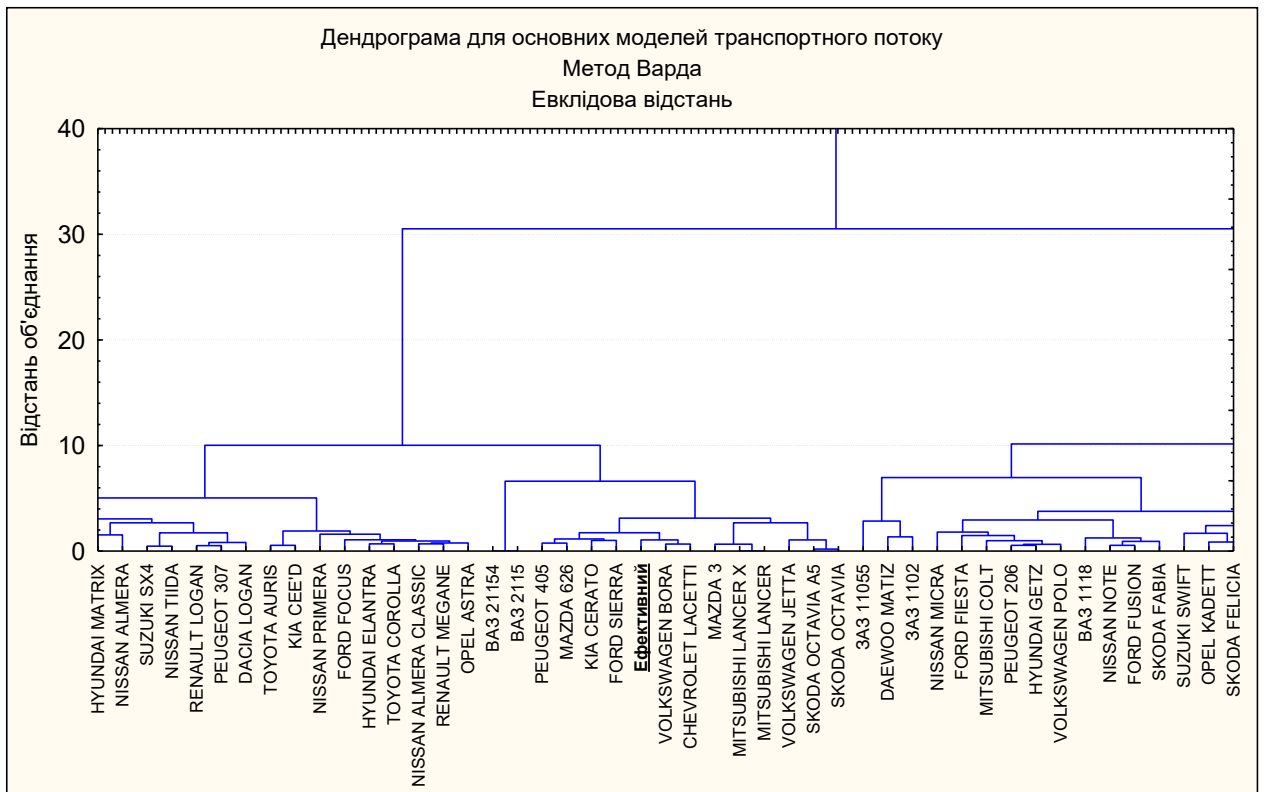


Рисунок 3.9 – Дендограма транспортних засобів категорії M1

Автомобільний парк міста є динамічною системою оскільки постійно відбувається оновлення його складу. Але в той же час дана система є досить інерційною через значну кількість існуючих автомобілів у порівнянні з тією частиною транспортних засобів, яка змінюється. Тому, визначати

"ефективні" ТЗ кожної з категорій рекомендується з певною періодичністю, а саме не рідше ніж раз на п'ять років [5, 15, 79].

В таблиці 3.4 наведені основні техніко-експлуатаційні характеристики "ефективних" автомобілів усіх основних категорій та марки, моделі, серії автомобілів, чиї характеристики найбільш близькі до характеристик "ефективного" автомобіля.

Таблиця 3.4 – Характеристики "ефективних" автомобілів кожної з категорій

Модель автомобіля	Час розгону до 100 км, с	Об'єм двигуна, см ³	Потужність, к.с.	Змішана витрата палива, л	Повна маса, кг	Споряджена маса, кг	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Об'єм бензобака, л	Пасажири місткість
"Ефективний" автомобіль категорії М1	13,5	1750	112	8,3	1718	1232	4332	1717	1495	-	-
Chevrolet Lacetti 1.6 MT SE	11,5	1598	109	8,1	1660	1185	4295	1725	1445	-	-
"Ефективний" автомобіль категорії М2	-	2315	100,3	9,9	3977	2422	5485	2049	2322	72,1	15
ГАЗ 32213	-	2286	98	10,5	3445	2400	5540	2075	2200	70	13
"Ефективний" автомобіль категорії М3	-	7898	192,7	26,6	14045	9126	10019	2528	3112	232,2	59,5
Ikarus 256	-	10350	210	32	15593	10400	10990	2500	3150	300	47
"Ефективний" автомобіль категорії N1	-	1937	84,4	9,9	2838	1650	4908	1952	2190	67,5	-
Isuzu Midi	-	2100	85	10,5	3000	1800	4790	1790	2185	75	-
"Ефективний" автомобіль категорії N2	-	4559	132,3	21	8557	3854	6438	2409	2411	142,4	-
ГАЗ 3307	-	4678	111	19,6	8180	3530	6435	2380	2350	90	-
"Ефективний" автомобіль категорії N3	-	12814	320,5	30	18610	8611	7557	2524	3378	404,4	-
МАЗ 54329	-	14000	240	28,5	16000	7050	7140	2500	2650	350	-

Таким чином оцінку викидів забруднюючих речовин від ТП можна проводити шляхом вимірювання екологічних показників реальних транспортних засобів, техніко-експлуатаційні характеристики яких відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам автомобілів відповідної категорії.

3.3 Динаміка формування стану довкілля в межах вулично-дорожньої мережі під впливом транспортних потоків

Зміна рівня забруднення вулиць міст протягом доби залежить від динамічних чинників, зокрема, інтенсивності та якісного складу ТП. Оскільки інтенсивність руху має нерівномірний характер, то найбільш небезпечними інтервалами доби будуть "пікові" періоди за яких спостерігаються максимальні значення інтенсивності руху ТП. Своєчасне розуміння майбутньої поведінки добового розподілу інтенсивності руху дозволить робити оперативні прогнози рівня забруднення атмосфери міст та попереджати критичні ситуації, за яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення [32, 41, 78].

Дорожній рух характеризується рядом показників, таких як: пропускна здатність автомобільної дороги; інтенсивність ТП; щільність ТП; швидкість руху ТП; склад ТП; затримки руху ТП; рівень завантаження автомобільної дороги. Добовий розподіл інтенсивності ТП являє собою нестационарний часовий ряд, поведінка якого залежить від детермінованих (структурні ознаки вулиць та доріг, засоби організації та регулювання дорожнього руху та ін.) та стохастичних (склад ТП, метеорологічні умови та ін.) чинників [1, 67, 69, 106].

Для дослідження закономірностей інтенсивності руху були проведені системні натурні спостереження за інтенсивністю та складом ТП на найбільш типових вуличних каньйонах Печерського району м. Києва (вул. І. Мазепи, вул. Інститутська та ін.). За елементарний вуличний каньйон приймається

ділянка із забудовами вздовж вулиці між найближчими перехрестями. Обстеження проводилися в період доби 7:00-22:00 год., у різні дні тижня. Так, характер зміни інтенсивності добового ходу на вул. І. Мазепи, яка має регульовані перехрестя та чотири смуги руху (по дві смуги в кожному з напрямків) зображено на рисунку 3.10.

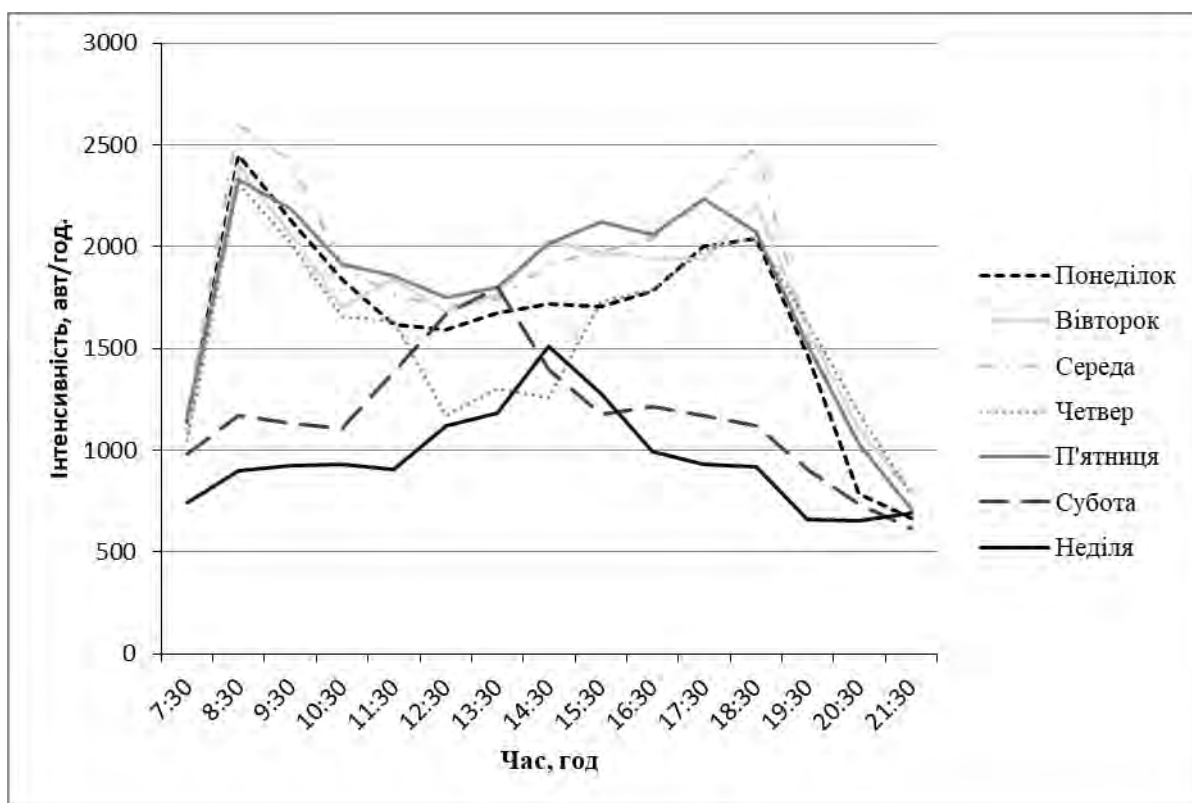


Рисунок 3.10 – Добовий розподіл інтенсивності ТП по дням тижня (вул. І. Мазепи)

Протягом доби спостерігаються ранкові та вечірні "пікові періоди", що пояснюються поїздками від будинку до місця роботи й навпаки. Також можна виділити й "міжпіковий" період, коли інтенсивність руху знижується (з 10 год., до 16 год.). Найбільша інтенсивність руху спостерігається у середу та п'ятницю, найменша – у суботу та неділю. На години "пік" доводиться 12–15% добового обсягу руху [13, 21, 31].

Розподіл інтенсивності руху по напрямках у містах, як правило, симетричний, хоча у деяких вуличних каньйонах є помітно виражені

відхилення, що пов'язано з їхнім розташуванням та особливостями планування ВДМ. На період з 7 до 22 годин припадає близько 90% добового обсягу руху (рис.3.11, 3.12).



Рисунок 3.11 – Добовий розподіл інтенсивності ТП по напрямкам руху (вул. І. Мазепи)



Рисунок 3.12 – Добовий розподіл інтенсивності ТП (вул. І. Мазепи)

Розподіл транспортних засобів в залежності від категорії наведено на рис. 3.13. Близько 90 % від усієї кількості автомобілів становлять ТЗ категорії М1, ТЗ категорії N3 практично відсутні.

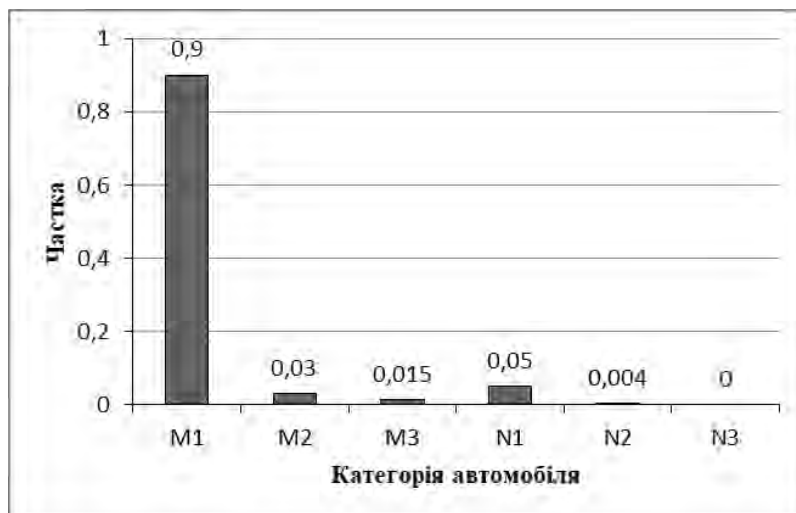


Рисунок 3.13 – Розподіл транспортних засобів за категоріями (вул. І. Мазепи)

Таким чином, для центральних районів мегаполісів основний внесок у формування ТП мають ТЗ категорії M1 і складають більше 90%. При цьому аналіз показує, що основний внесок у формування відповідного рівня забруднення атмосфери вносить саме ця категорія ТЗ.

Інтенсивність викидів забруднюючих речовин визначається наступним чином:

$$Q = \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^k q_i \cdot I_i, \quad (3.12)$$

де Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин, $мг/м \cdot с$;

q_i – пробіговий викид i -ої категорії ТЗ, $г/км$;

I_i – інтенсивність i -ої категорії ТЗ, $авт/год$.

Пробіговий викид від ТЗ відповідної категорії визначається на основі концепції "ефективного" ТП.

В таблиці 3.5 наведені основні техніко-експлуатаційні характеристики "ефективного" автомобіля категорії M1 та марки, моделі, серії автомобілів,

чий характеристики найбільш близькі до характеристик "ефективного" автомобіля. Відповідні фізичні параметри саме цих автомобілів використовуються при оцінці пробігових викидів [15].

Таблиця 3.5 – Характеристики "ефективного" автомобіля категорії M1

Модель автомобіля	Час розгону до 100 км, с	Об'єм двигуна, см ³	Потужність, к.с.	Витрата палива, л			Повна маса, кг	Споряджена маса, кг	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм
				У місті	Поза містом	Змішана					
Chevrolet Lacetti 1.6 MT SE	11,5	1598	109	11,4	6,1	8,1	1660	1185	4295	1725	1445
Volkswagen Bora 2.0 MT	11	1984	115	11,2	6,1	8	1780	1207	4338	1740	1450
Skoda Octavia Tour Hatch 1.6 MT	14,1	1595	102	11,2	6,1	7,9	1850	1315	4569	1769	1462
Daewoo Lanos 1,5i MT	12,5	1498	86	10,4	5,7	7,9	1540	1086	4234	1679	1433
"Ефективний" автомобіль	13,5	1750	112	10,3	6,6	8,3	1718	1232	4332	1717	1495

На основі екологічних показників реальних транспортних засобів, техніко-експлуатаційні характеристики яких відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам автомобілів відповідної категорії, побудовано добовий хід інтенсивності викидів основних забруднюючих речовин, рис. 3.14, 3.15.

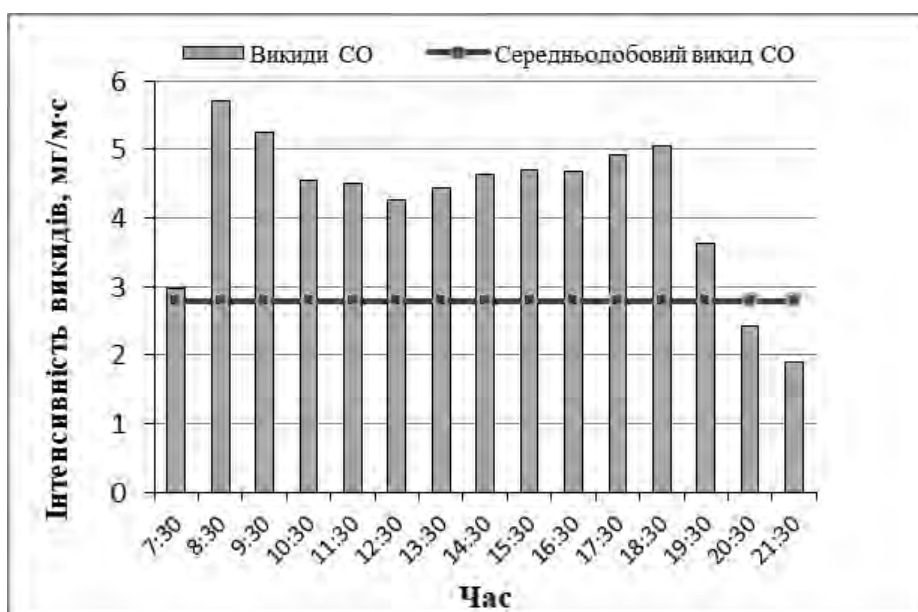


Рисунок 3.14 – Динаміка інтенсивності викидів оксиду вуглецю ТП (вул. І.Мазепи)

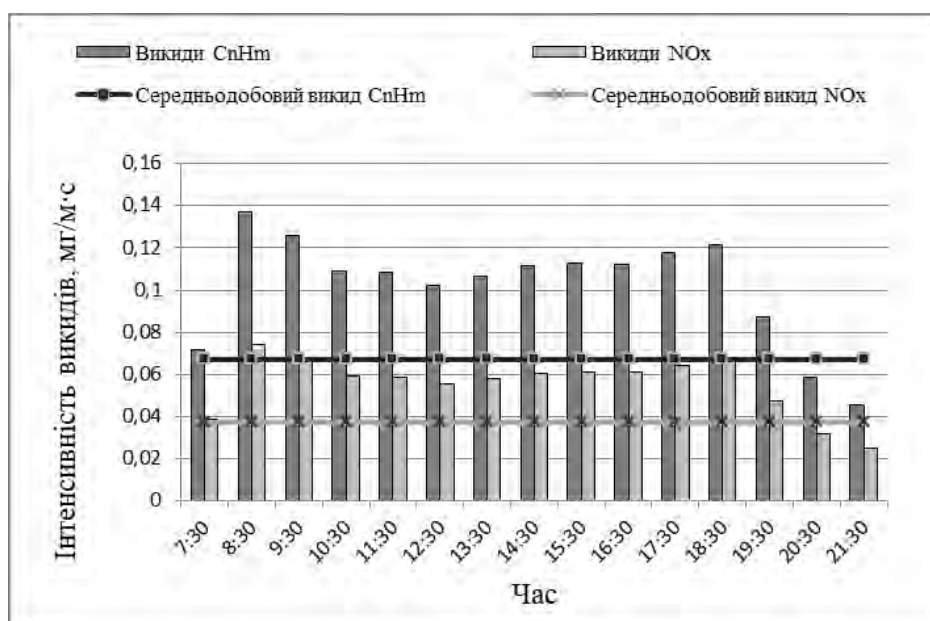


Рисунок 3.15 – Динаміка інтенсивності викидів оксидів азоту та вуглеводнів ТП (вул. І.Мазепи)

У таблиці 3.6 наведено інтенсивність викидів основних забруднюючих речовин, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів в залежності від інтенсивності руху транспортного потоку.

Таблиця 3.6 – Інтенсивність викидів забруднюючих речовин

Інтенсивність ТП, <i>авт/год</i>	CO, <i>мг/м·с</i>	C _m H _n , <i>мг/м·с</i>	NO _x , <i>мг/м·с</i>
200	0,556	0,133	0,072
400	1,111	0,267	0,144
600	1,667	0,400	0,217
800	2,222	0,533	0,289
1000	2,778	0,667	0,361
1200	3,333	0,800	0,433
1400	3,889	0,933	0,506
1600	4,444	1,067	0,578
1800	5,000	1,200	0,650
2000	5,556	1,333	0,722

Таким чином, отримані результати можуть бути використанні при визначенні концентрацій забруднюючих речовин у вуличних каньйонах міст, що дозволить робити оперативні прогнози рівня забруднення атмосфери.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Проведено аналіз основних стандартів нормування інгредієнтного забруднення автомобілів. Найбільш важливими стандартами по обмеженню шкідливих речовин є: стандарт CARB (Управління з охорони атмосферного повітря, шт. Каліфорнія); норми EPA (Агентство по охороні навколишнього середовища США); стандарт EU (Європейський Союз); норми Японії.

2. Створено модель ТП, яка уявляє собою статистичну сукупність "ефективних" ТЗ відповідних категорій. При побудові "ефективного" ТЗ залучалися, в першу чергу, техніко-експлуатаційні характеристики (об'єм двигуна, потужність, вид палива, витрата палива, маса, габарити тощо), які безпосередньо або опосередковано впливають на рівень забруднення.

3. Досліджено кількісний, якісний та віковий склад автопарку міста Києва. Визначені техніко-експлуатаційні характеристики ефективних ТЗ для найбільш поширених автомобілів відповідних категорій. За допомогою кластерного аналізу визначені моделі, які за своїми технічними характеристиками подібні до “ефективного” автомобіля.

4. Шляхом вимірювання показників токсичності реальних ТЗ, техніко-експлуатаційні характеристики яких відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам визначено пробігові викиди для кожної з категорій автомобілів. Розроблено метод оцінки динаміки інгредієнтного забруднення транспортними потоками для здійснення короткострокових прогнозів рівня забруднення атмосферного повітря вулично-дорожньої мережі міст.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ДОВКІЛЛЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

4.1 Застосування моделі OSPM (Operational street pollution model) для оцінки рівня забруднення вуличних каньйонів

На сьогоднішній день рівень забруднення атмосфери є одним з основних чинників, що визначає якість умов проживання в мегаполісах. У багатьох містах концентрація забруднюючих речовин значно перевищує гранично-допустимі значення.

Моделювання полів забруднення в містах є досить складною задачею, оскільки структура міської забудови є неоднорідною. Тому, доцільно представляти архітектурно-планувальний фрагмент міської забудови сукупністю елементарних вуличних каньйонів з відповідними просторово-геометричними характеристиками [8, 16, 65, 94, 146].

Аналіз вуличних каньйонів Печерського району м. Києва дозволив сформулювати п'ять однорідних груп в яких ідентифіковано найбільш типові вуличні каньйони на основі їх просторово-геометричних показників (табл.2.4). ВДМ Печерського району м. Києва налічує 377 елементарних каньйонів, для яких емпірично були встановлені просторово-геометричні характеристики [10-12].

У вуличному каньйоні виділяють наступні зони: навітряна сторона, для якої характерний мінімальний рівень забруднення, що обумовлено надходженням чистого повітря; внутрішня частина та підвітряна сторона, для якої спостерігається максимальний рівень забруднення. При моделюванні рівня забруднення розрізняють швидкість і напрямок вітру на рівні даху забудов, що визначається глобальним перенесенням повітряних мас та швидкість вітру на рівні вулиці. Також виділяється зона рециркуляції, яка характеризується надходженням забруднюючих речовин з іншої частини

вуличного каньйону та визначається довжиною турбулентного вихору, геометричними показниками каньйону (рис. 4.1) [14, 65].

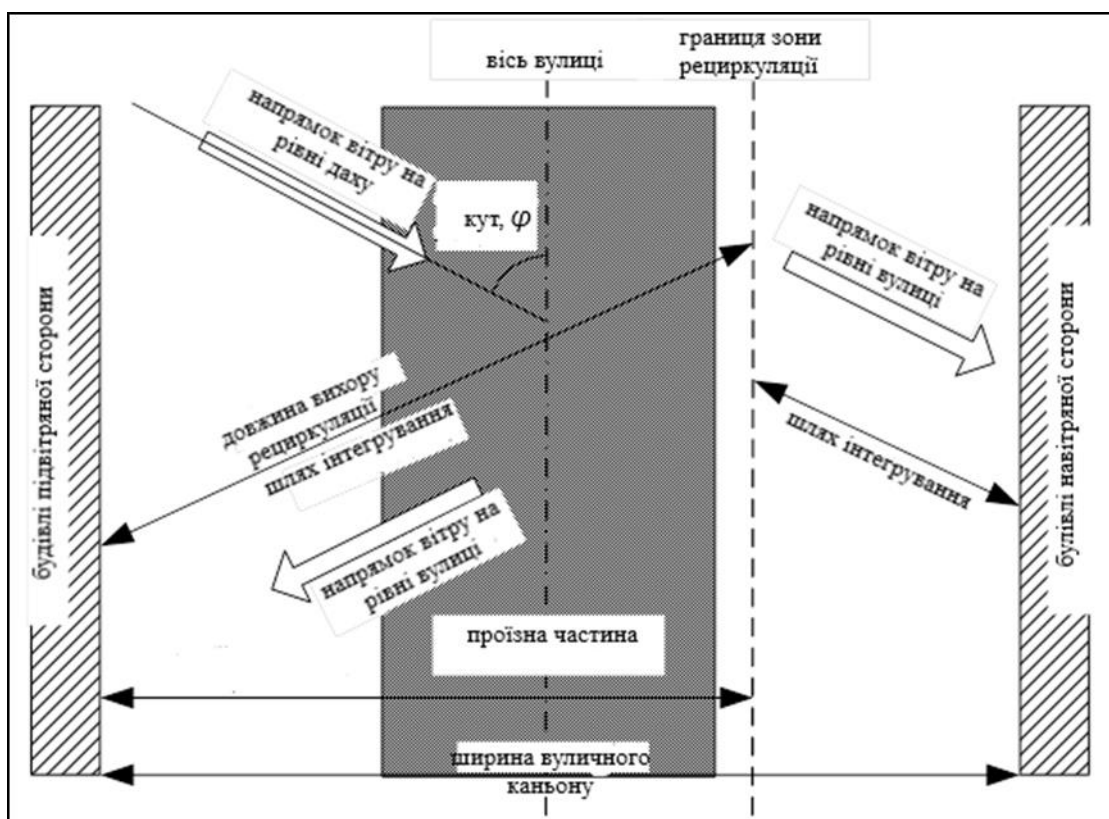


Рисунок 4.1 – Основні просторово-геометричні характеристики вуличного каньйону

Величина концентрації забруднюючих речовин у вуличних каньйонах від транспортних потоків визначалася на основі методології Operational Street Pollution Model. Модель заснована на гаусівському типу розсіювання забруднюючих речовин в поєднанні з характеристиками вулично-дорожньої мережі міст. В OSPM передбачається, що ТП і викиди від нього рівномірно розподілені по каньйону. Поле джерел забруднення розглядається як ряд нескінченно малих лінійних джерел, розташованих перпендикулярно напрямку вітру на рівні вулиці, шириною dx . Розсіювання за допомогою молекулярної дифузії нехтується. Згідно даної моделі концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньйону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання поллютантів ($C_d, \text{мг/м}^3$), концентрації

спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньйоні (C_r , $мг/м^3$) та міською фоновною концентрацією (C_o , $мг/м^3$) [14, 65, 97, 102, 133].

$$C = C_d + C_r + C_o . \quad (4.1)$$

Концентрація прямого розсіювання забруднюючих речовин від ТП дорівнює:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{Q dx}{U_s W \sigma_z(x)} , \quad (4.2)$$

де Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від “ефективного” ТП, $мг/м \cdot с$;

U_s – швидкість вітру на рівні вулиці, $м/с$;

W – ширина вуличного каньйону, $м$;

$\sigma_z(x)$ – параметр вертикальної дисперсії на відстані x від джерела викиду.

Швидкість вітру на рівні вулиці (U_s) визначається, припускаючи логарифмічне зменшення швидкості вітру від середньої висоти даху будівель до землі вулиці. Швидкість вітру на рівні вулиці визначається наступним чином:

$$U_s = U_r \frac{\ln(h_0/z_0)}{\ln(H/z_0)} (1 - 0.2p \sin \varphi) , \quad (4.3)$$

де U_r – швидкість вітру на рівні даху, $м/с$;

z_0 – ефективний розмір нерівності, $м$, $z_0=0,6$;

h_0 – початкова висота розсіювання, $м$, $h_0=2$;

H – середня висота забудов вуличного каньйону (з навітряної та підвітряної сторони каньйону), $м$;

p – відношення висоти забудов з підвітряної сторони до середньої висоти забудов вуличного каньйону;

φ – кут напрямку вітру на рівні даху по відношенню до осі вулиці, *рад*.

Параметр вертикальної дисперсії (σ_z , *м*) моделюється, з огляду на те, що вертикальне розсіювання регулюється виключно механічною турбулентністю, яка виникає внаслідок вітру та руху ТП. Турбулентність, створена термічною стратифікацією – нехтується, оскільки вона, зазвичай, невелика на рівні вулиці.

$$\sigma_z(x) = \sigma_w \frac{x}{U_s} + h_0, \quad (4.4)$$

де σ_w – вертикальна дисперсія турбулентності, *м/с*;

x – відстань від джерела до розрахункової точки, *м*.

$$\sigma_w = \sqrt{(0.1U_s)^2 + \sigma_{w0}^2}, \quad (4.5)$$

де σ_{w0} – дисперсія турбулентності, викликана рухом транспортних засобів, *м/с*.

$$\sigma_{w0} = 0.3 \sqrt{\frac{NVS}{W}}, \quad (4.6)$$

де N – інтенсивність руху ТП, *авт/с*;

V – середня швидкість руху ТП, *м/с*;

S – середня площа, яку займає ТЗ, *м²*.

Концентрація забруднюючих речовин від прямого розсіювання при перпендикулярному напрямку вітру до осі вулиці визначається:

$$C_{\Pi} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{W \sigma_W} \ln \left(1 + \frac{W \sigma_W}{h_0 U_s} \right). \quad (4.7)$$

Зона рециркуляції характеризується надходженням забруднюючих речовин з іншої частини вуличного каньйону та визначається довжиною турбулентного вихору (l_v), геометричними показниками каньйону.

$$l_v = 2rH_{\text{підв.}}, \quad (4.8)$$

де r – показник, що залежить від швидкості вітру (для швидкостей вітру < 2 м/с, $r = U_r/2$, в інших випадках $r = 1$).

Концентрація від рециркуляції забруднюючих речовин в межах вуличного каньйону визначається наступним чином:

$$C_p = \frac{Q \cdot l_r}{W \cdot (\omega_t \cdot l_t + \omega_s \cdot l_s)}, \quad (4.9)$$

де l_r, l_t, l_s – геометричні характеристики зони рециркуляції, м;

ω_t, ω_s – швидкість розсіювання забруднюючих речовин відповідно через верхню та бокову частину вуличного каньйону, м/с [65].

$$\omega_t = \sqrt{(0,1U_r)^2 + 0,4\sigma_{w0}^2}, \quad (4.10)$$

$$\omega_s = \sqrt{U_s^2 + \sigma_{\omega 0}^2}. \quad (4.11)$$

На основі даної моделі виконана оцінка рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів Печерського району м. Києва. Оцінка проводилася з врахуванням добової динаміки інтенсивності ТП [14, 121, 133].

На рис. 4.2 побудовано добовий хід концентрації основних забруднюючих речовин, а саме оксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту в одному з найтипівіших вуличних каньйонів (вул. І.Мазепи) Печерського району. Швидкість вітру на рівні даху прийнята 5 м/с.

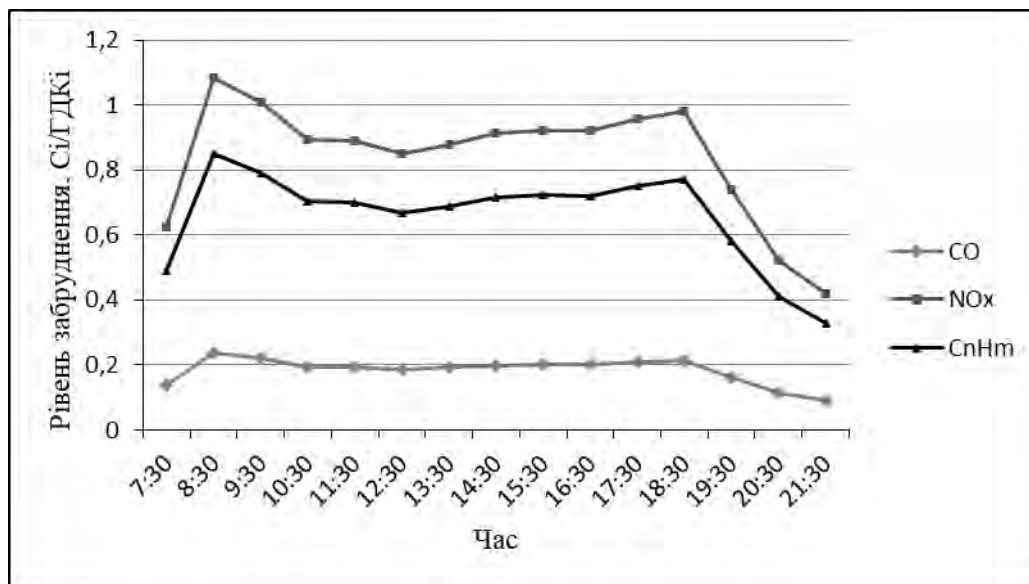


Рисунок 4.2 – Динаміка рівня забруднення атмосфери основними шкідливими речовинами при швидкості вітру 5 м/с (вул. І. Мазепи)

Найвищий рівень забруднення спостерігається для оксидів азоту та вуглеводнів, особливо в ранкові та вечірні періоди. Саме у ці періоди з найбільшою інтенсивністю руху концентрації забруднюючих речовин перевищують гранично допустимі значення.

У таблиці 4.1 наведено середньодобові рівні забруднення атмосферного повітря в одному з найбільш типових вуличних каньйонів (вулиця І. Мазепи) при різних швидкостях вітру. Перевищення рівня забруднення атмосферного повітря визначається шляхом порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин з відповідними гранично допустимими значеннями. Середньодобова гранично допустима концентрація для оксидів вуглецю становить 3 мг/м^3 , для оксидів азоту – $0,05 \text{ мг/м}^3$, для вуглеводнів – $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Максимально разова гранично допустима концентрація для оксидів вуглецю становить 5 мг/м^3 , для оксидів азоту – $0,085 \text{ мг/м}^3$.

Таблиця 4.1 – Рівні забруднення атмосферного повітря вуличного каньйону

Забруднюючі речовини	Середньодобова концентрація, мг/м^3	Гранично допустима концентрація, мг/м^3	Перевищення рівня забруднення
	Швидкість вітру 1 м/с		
CO	0,91	3	0,302
NO _x	0,118	0,05	2,35
C _m H _n	0,217	0,1	2,17
Швидкість вітру 3 м/с			
CO	0,55	3	0,18
NO _x	0,07	0,05	1,42
C _m H _n	0,131	0,1	1,31
Швидкість вітру 5 м/с			
CO	0,39	3	0,13
NO _x	0,05	0,05	1,01
C _m H _n	0,093	0,1	0,93
Швидкість вітру 7 м/с			
CO	0,297	3	0,099
NO _x	0,039	0,05	0,77
C _m H _n	0,071	0,1	0,71
Швидкість вітру 10 м/с			
CO	0,22	3	0,07
NO _x	0,028	0,05	0,57
C _m H _n	0,053	0,1	0,53

Найбільші рівні забруднення спостерігаються для оксидів азоту через їх значний негативний вплив на довкілля та, зокрема, на здоров'я людини. Хоча інтенсивність викидів оксиду вуглецю є найбільшою серед усіх забруднюючих речовин, відносний рівень забруднення залишається в межах нормативних значень.

4.2 Оцінка точності моделювання впливу транспортного потоку на стан довкілля

Похибкою називається величина, яка характеризує точність результату. При складанні прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря у вуличних каньйонах неминуче виникають похибки різних типів, серед яких похибка задачі, яка обумовлена наближеним характером вибраної моделі, а саме неможливістю повністю врахувати всі фактори, що впливають на рівень забруднення (дана похибка вважається неусувною); похибка заокруглень, методична похибка, що пов'язана зі способом вирішення відповідної задачі тощо. Одна з таких похибок обумовлена параметризацією вектору швидкості вітру [6].

Оскільки вектор швидкості вітру є випадкова величина, а його зміна з плином часу – це випадковий процес, то використання відповідних середніх значень призводить до істотних похибок в розрахункових значеннях концентрації забруднюючої речовини. У такому разі необхідно оцінити точність з якою можливо провести відповідні розрахунки. Для цього використовувалася інтервальна оцінка вектору швидкості вітру за t -критерієм. Інтервальні методи оцінювання дають змогу знайти інтервал, який з певною ймовірністю містить невідоме значення параметра. Інтервальною оцінкою називається статистична оцінка, що визначається двома числами – кінцями інтервалів. Різниця між статистичною оцінкою та її оцінювальним параметром називається точністю оцінки:

$$|\theta' - \theta| < \delta. \quad (4.12)$$

Ймовірність з якою береться нерівність 4.12 називається надійністю.

$$P(\theta' - \delta < \theta < \theta' + \delta) = \gamma. \quad (4.13)$$

Інтервал $[\theta' - \delta; \theta' + \delta]$, який охоплює оцінюваний параметр з заданою надійністю γ , називається довірчим.

Із заданою надійністю (0,95) були встановлені довірчі інтервали для швидкості та напрямку вітру з різним часовими періодами осереднення (рис. 4.3-4.5) [8, 17].

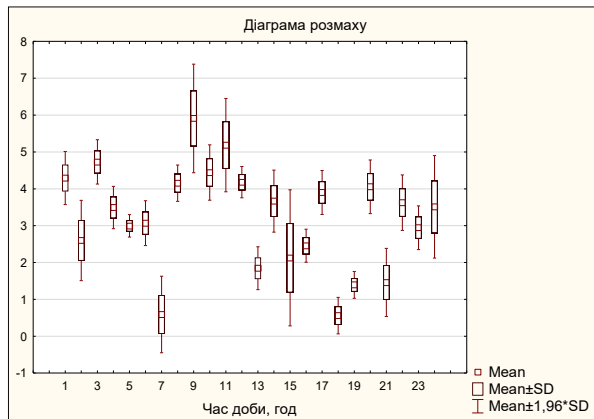


Рисунок 4.3 – бокс-діаграма середнього та інтервального значення швидкості вітру з часом осереднення 1 год.

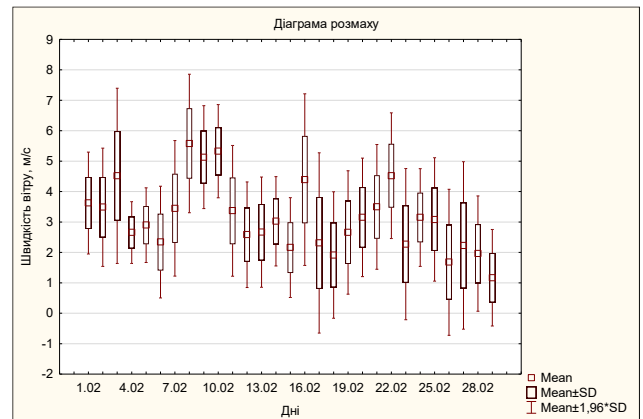


Рисунок 4.4 – бокс-діаграма середнього та інтервального значення швидкості вітру з часом осереднення 1 доба

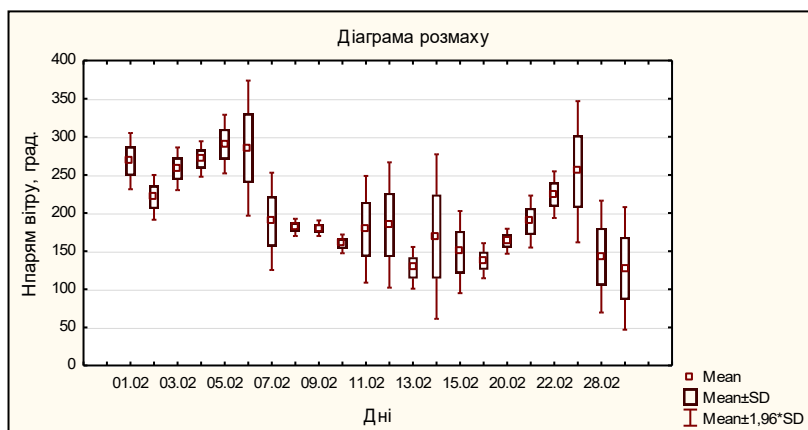


Рисунок 4.5 – бокс-діаграма середнього та інтервального значення напрямку вітру з часом осереднення 1 доба

На основі інтервальних оцінок визначені відносні похибки відповідних величин (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Відносні похибки при визначенні напрямку та швидкості вітру з різним часовим осередненням

Час осереднення (τ)	Відносна похибка швидкості вітру, %	Відносна похибка напрямку вітру, %
Місяць	94,6	84,9
Доба	71,8	36,2
6 годин	54,7	29,6
3 години	46,9	24,9
1 година	33,7	15,8
30 хвилин	29,5	14,1

Як слідує з табл. 4.2 на точність оцінювання швидкості вітру суттєво впливає тривалість періоду осереднення, що в свою чергу вплине і на точність оцінювання рівня забруднення.

Отже, з надійністю 95% визначені інтервальні межі забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів з врахуванням мінливості метеорологічних величин. На рис. (4.6, 4.7) зображено динаміку інтервального рівня забруднення основними шкідливими речовинами з періодом осереднення швидкості та напрямку вітру – 1 година.

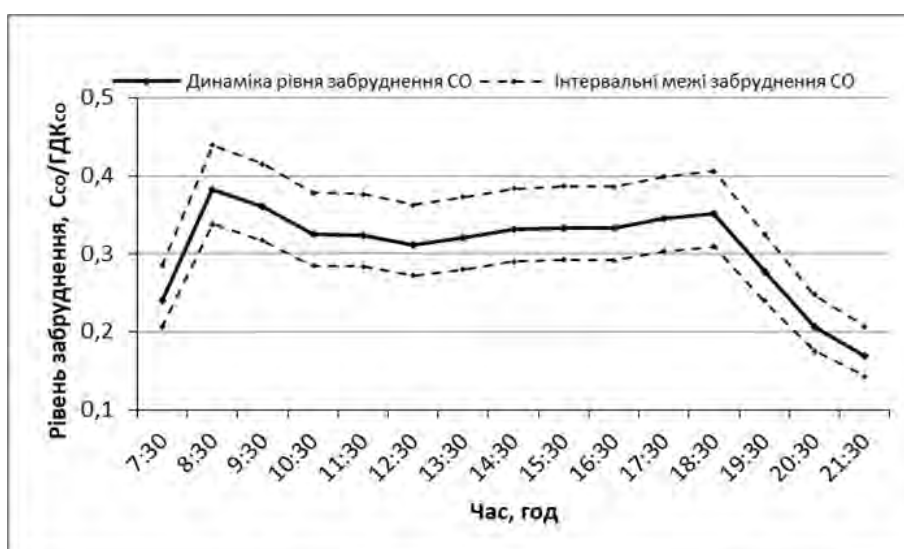


Рисунок 4.6 – Інтервальна оцінка динаміки рівня забруднення атмосфери CO при швидкості вітру 2 м/с (вул. І. Мазепи)

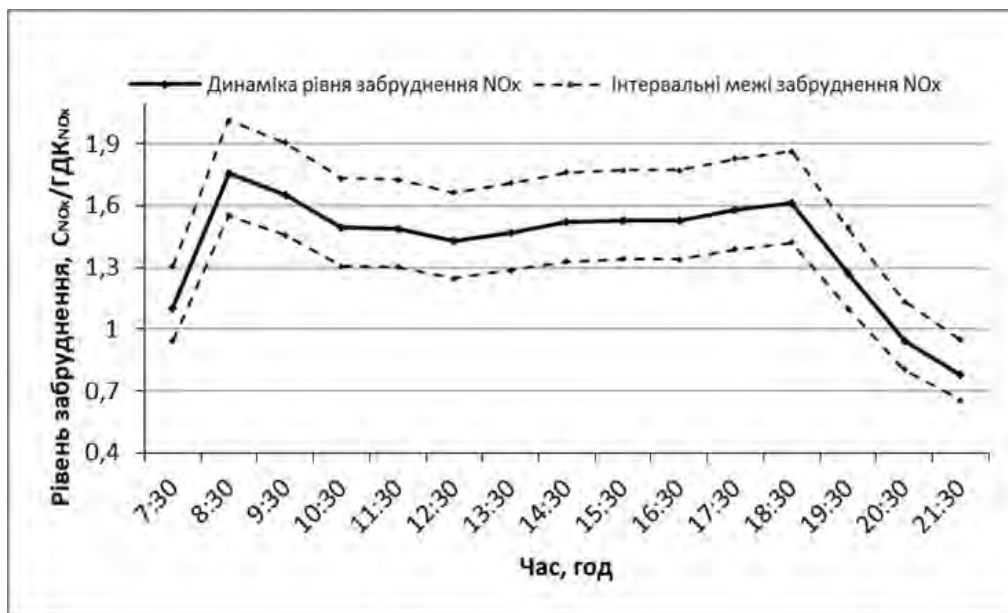


Рисунок 4.7 – Інтервальна оцінка динаміки рівня забруднення атмосфери NO_x при швидкості вітру 2 м/с (вул. І. Мазепи)

На рис. 4.8 визначена інтервальна оцінка середньодобового рівня забруднення повітря вуличного каньйону при різних швидкостях вітру з часом осереднення метеорологічних величин – 1 доба.

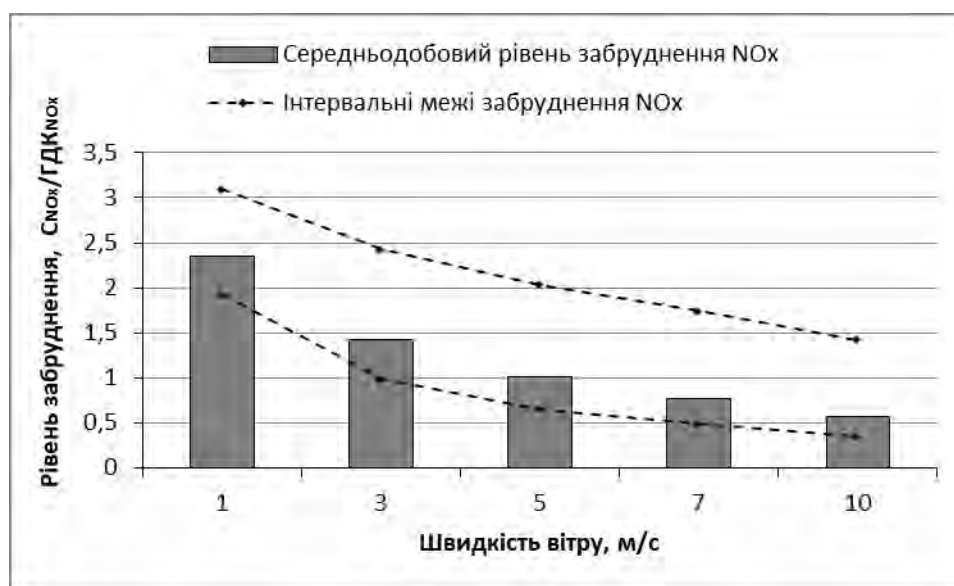


Рисунок 4.8 – Інтервальна оцінка середньодобового рівня забруднення атмосфери NO_x при різних швидкостях вітру (вул. І. Мазепи)

Наприклад, при швидкості вітру 1 м/с рівень забруднення оксидами азоту сягає близько 2,3 ГДК, а з врахуванням мінливості швидкості і напрямку вітру максимальне значення забруднення може сягати до 3 ГДК [8, 17, 73].

Таким чином, при складанні прогнозу полів забруднення необхідно задавати відповідний часовий масштаб осереднення виходячи з доцільності точності прогнозу.

4.3 Моделювання процесу підвищення екологічної безпеки довкілля в межах вулично-дорожньої мережі шляхом управління параметрами транспортного потоку міста

Основними динамічними чинниками, що впливають на рівень забруднення атмосфери автомобільним транспортом є метеорологічні умови, параметри ТП та характеристики дорожніх умов. Дорожній рух характеризується рядом показників, таких як: пропускна здатність автомобільної дороги; інтенсивність ТП; щільність ТП; швидкість руху ТП; склад ТП; затримки руху ТП; рівень завантаження автомобільної дороги [23, 27, 32, 81].

Управління параметрами ТП дозволяє прогнозувати якість стану атмосферного повітря та попереджати критичні ситуації, при яких рівень забруднення перевищує гранично-допустимі значення [44, 69, 129].

У зв'язку з цим проведена оцінка рівня забруднення в залежності від швидкості вітру на рівні даху будівель (швидкості вітру, що визначається глобальним перенесенням повітряних мас і не залежить від шорсткості поверхні) та інтенсивності ТП у вуличних каньйонах Печерського району [73].

На рис. 4.9, 4.10 визначено рівень забруднення вуличного каньйону в залежності від швидкості вітру на рівні даху для різної інтенсивності ТП.

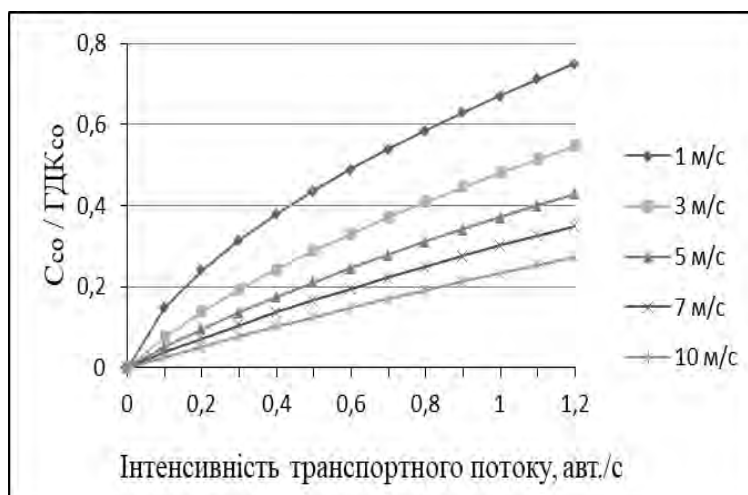


Рисунок 4.9 – Рівень забруднення CO для різних швидкостей вітру (вул. І. Мазепи)

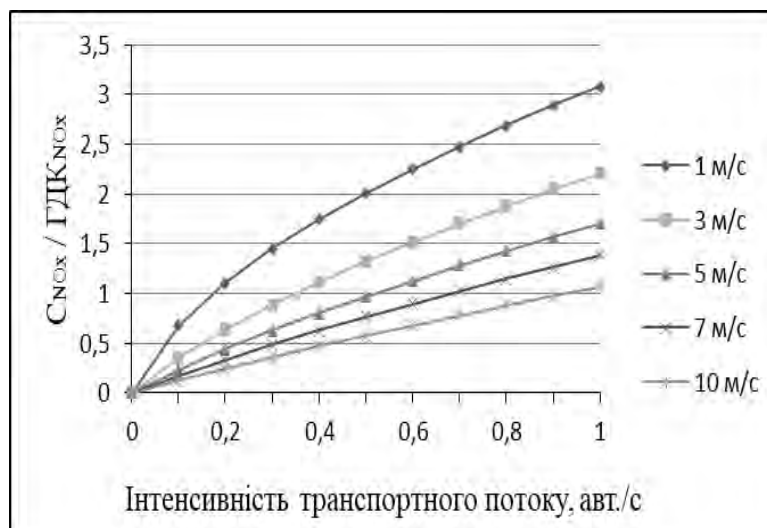


Рисунок 4.10 – Рівень забруднення NO_x для різних швидкостей вітру (вул. І. Мазепи)

Так, при швидкості вітру 5 м/с та інтенсивності руху вищою ніж 0,5 авт/с, концентрація оксидів азоту перевищить гранично допустимі значення; при швидкості вітру 1 м/с перевищення концентрації оксидів азоту буде спостерігатися вже при інтенсивності 0,2 авт/с.

У таблицях 4.3-4-6 наведено значення концентрацій для основних забруднюючих речовин в залежності від інтенсивності руху транспортного потоку на вулиці І. Мазепи.

Таблиця 4.3 – Значення концентрацій оксиду вуглецю при різних інтенсивностях руху транспортного потоку

Інтенсивність ТП, авт/с	Швидкість вітру, м/с				
	1	3	5	7	10
0,1	0,446	0,231	0,153	0,114	0,081
0,2	0,724	0,416	0,288	0,218	0,159
0,3	0,947	0,579	0,411	0,317	0,234
0,4	1,140	0,727	0,526	0,410	0,306
0,5	1,313	0,864	0,635	0,499	0,376
0,6	1,472	0,993	0,739	0,585	0,444
0,7	1,620	1,114	0,838	0,669	0,510
0,8	1,758	1,228	0,934	0,749	0,575
0,9	1,890	1,338	1,026	0,828	0,639
1	2,015	1,443	1,116	0,904	0,701

Таблиця 4.4 – Значення концентрацій оксидів азоту при різних інтенсивностях руху транспортного потоку

Інтенсивність ТП, авт/с	Швидкість вітру, м/с				
	1	3	5	7	10
0,1	0,058	0,030	0,020	0,015	0,011
0,2	0,094	0,054	0,037	0,028	0,021
0,3	0,123	0,075	0,053	0,041	0,030
0,4	0,148	0,095	0,068	0,053	0,040
0,5	0,171	0,112	0,083	0,065	0,049
0,6	0,191	0,129	0,096	0,076	0,058
0,7	0,211	0,145	0,109	0,087	0,066
0,8	0,229	0,160	0,121	0,097	0,075
0,9	0,246	0,174	0,133	0,108	0,083
1	0,262	0,188	0,145	0,118	0,091

Таблиця 4.5 – Значення концентрацій вуглеводнів при різних інтенсивностях руху транспортного потоку

Інтенсивність ТП, авт/с	Швидкість вітру, м/с				
	1	3	5	7	10
0,1	0,107	0,055	0,037	0,027	0,020
0,2	0,174	0,100	0,069	0,052	0,038
0,3	0,227	0,139	0,099	0,076	0,056
0,4	0,274	0,175	0,126	0,098	0,073
0,5	0,315	0,207	0,152	0,120	0,090
0,6	0,353	0,238	0,177	0,141	0,107
0,7	0,389	0,267	0,201	0,160	0,122
0,8	0,422	0,295	0,224	0,180	0,138
0,9	0,454	0,321	0,246	0,199	0,153
1	0,484	0,346	0,268	0,217	0,168

Оскільки вуличні каньйони міста мають різні просторово геометричні характеристики: ширину, довжину, просторову орієнтацію каньйону, суцільність та композицію забудови (середньозважена висота забудов, щільність забудов, середній кут повороту будинків до осі вулиці), відповідно і рівень забруднення, при однакових інтенсивностях руху ТП та швидкості вітру, в них буде відрізнятися. У зв'язку з цим, для кожного вуличного каньйону було встановлено інтенсивності руху за яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення (критичні інтенсивності руху транспортних потоків ($I_{кр}$)) (табл. 4.4)

У таблиці 4.6 наведені значення критичних інтенсивностей транспортних потоків для деяких вуличних каньйонів за яких концентрація NO_x досягає гранично допустимих значень при різних швидкостях вітру [73].

Таблиця 4.6 – Критичні значення інтенсивності ТП

Вуличний каньйон	Критичні інтенсивності ТП ($I_{кр}$), авт/с				
	1 м/с	3 м/с	5 м/с	7 м/с	10 м/с
1.Липський провулок	0,1	0,21	0,31	0,42	0,57
2. вул. Липська; буд. 15, 16	0,095	0,2	0,3	0,39	0,54
3. вул. Пилипа Орлика; буд. 3, 4	0,115	0,24	0,355	0,47	0,645
...					
365. вул. Мічуріна; буд. 50, 52	0,135	0,28	0,425	0,565	0,775
366. вул. Землянська; буд. 5, 6	0,105	0,215	0,325	0,435	0,595
377. вул. Пирятинська; буд. 12, 19	0,113	0,234	0,355	0,475	0,655

На рис. 4.11, 4.12 наведено значення критичних інтенсивностей руху ТП для вулиці І. Мазепи при різних швидкостях вітру. При швидкості вітру 5 м/с ГДК забруднюючих речовин досягається при інтенсивності транспортного потоку 0,43 авт/с для оксидів азоту; 0,52 авт/с для вуглеводнів та 3,8 авт/с для оксиду вуглецю.

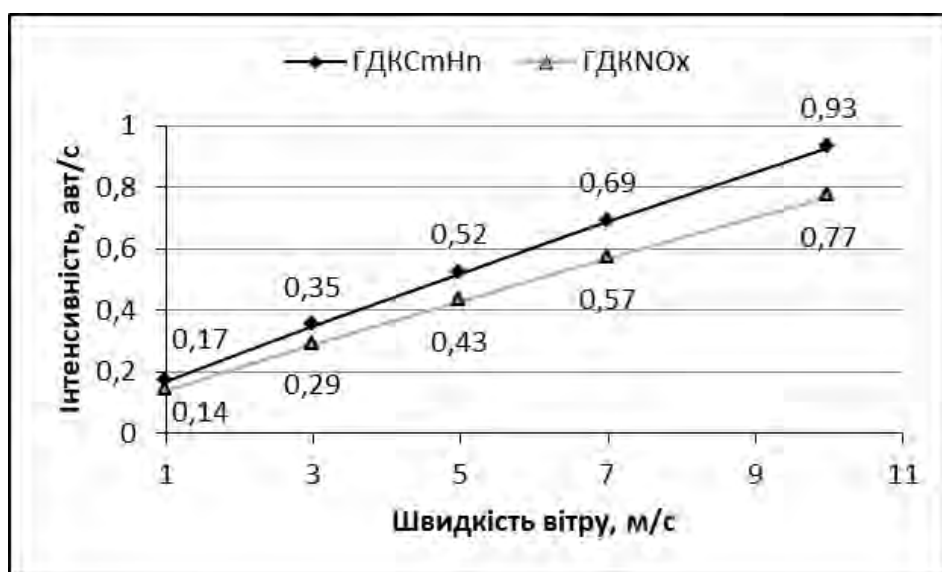


Рисунок 4.11 – Критичні значення інтенсивності ТП (вул. І. Мазепи)

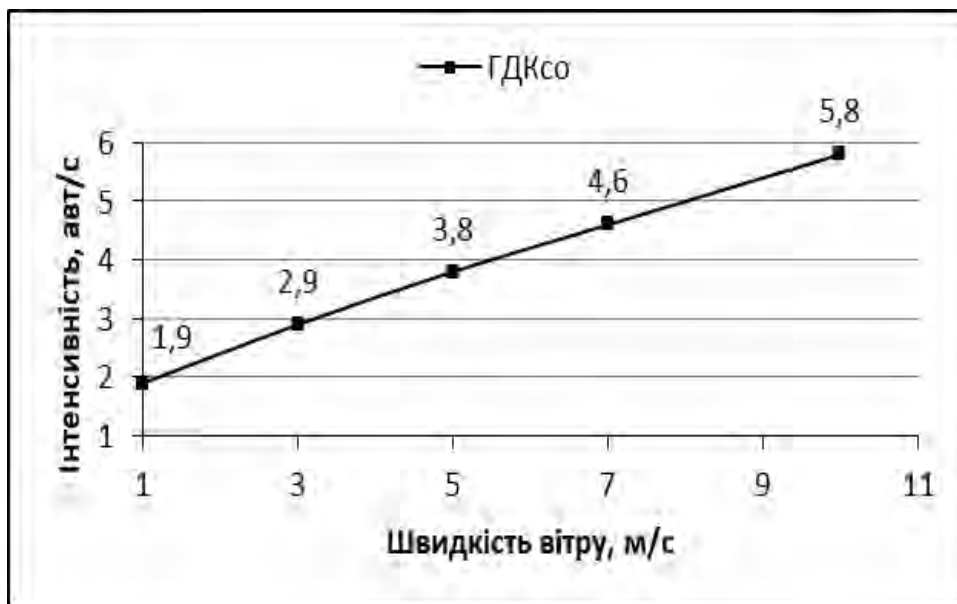


Рисунок 4.12 – Критичні значення інтенсивності ТП (вул. І. Мазепи)

Таким чином, для кожного з вуличних каньйонів встановлені критичні інтенсивності руху ТП за яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення. Отже, результати дослідження дозволяють оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря придорожнього простору міст та, шляхом управління параметрами ТП попереджати небезпечні екологічні ситуації, вчасно виконувати оцінку рівня забруднення атмосфери ТП.

4.4 Методика впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів

Методика кількісної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря транспортними потоками для забезпечення екологічної стійкості та безпеки ВДМ міст включає оцінку інтенсивності викидів забруднюючих речовин та умов їх розсіювання [16, 133].

Алгоритм методики кількісної оцінки рівня інгредієнтного забруднення атмосферного повітря транспортним потоком у вуличних каньйонах наведено на рис. 4.13:

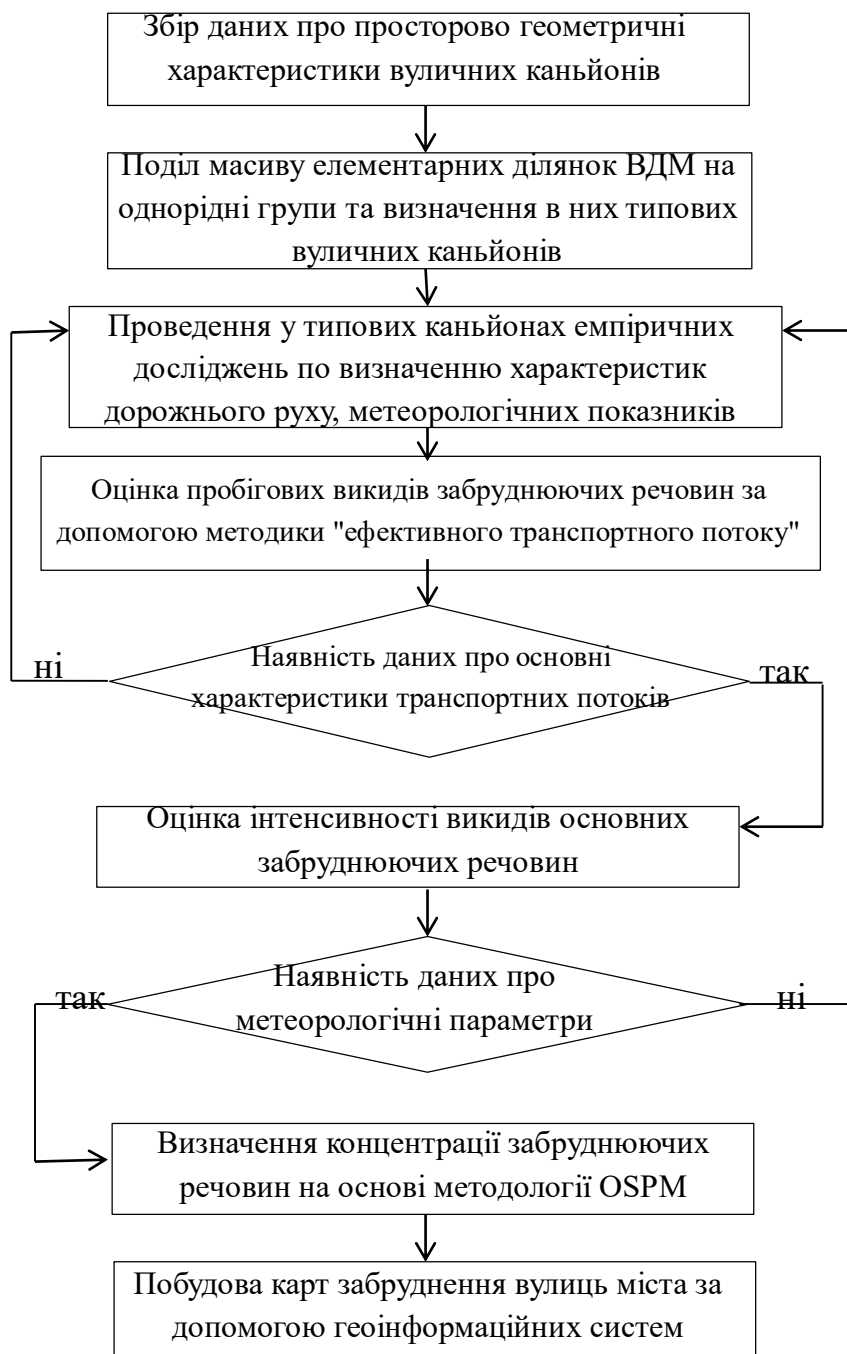


Рисунок 4.13 – Послідовність кількісної оцінки рівня інгредієнтного забруднення атмосферного повітря транспортним потоком у вуличних каньйонах міст

Методика кількісної оцінки рівня інгредієнтного забруднення атмосферного повітря транспортним потоком у вуличних каньйонах містить наступні етапи:

1) Вулично-дорожня мережа міста представляється у вигляді множини елементарних однорідних вуличних каньйонів – ділянок з забудовами між найближчими перехрестями, для яких емпірично визначаються просторово-геометричні характеристики: ширина, довжина, просторова орієнтація каньйону, середньозважена висота, суцільність та композиція забудови тощо;

2) Виконується поділ масиву вуличних каньйонів за просторово-геометричними характеристиками на однорідні групи, в кожній з яких визначається типовий каньйон з подальшою ідентифікацією реальних вуличних каньйонів, чиї показники найкращим чином узгоджені з показниками типового каньйону. Алгоритм визначення типового вуличного каньйону наведено на рис. 4.14

У визначених типових вуличних каньйонах проводяться емпіричні дослідження добової динаміки руху ТП та метеорологічні показники: швидкість, напрямок вітру [16, 133].

3) Пробігові викиди забруднюючих речовин ТЗ відповідної категорії визначаються на основі концепції "ефективного" ТП. "Ефективний" ТП, є статистичною сукупністю "ефективних" ТЗ відповідних категорій. "Ефективний" ТЗ відповідної категорії – це віртуальний транспортний засіб, техніко-експлуатаційні характеристики якого відповідають середньозваженим характеристикам автомобілів всіх марок, моделей, серій автомобілів, що відносяться до даної категорії з урахуванням їх вагових коефіцієнтів. При побудові "ефективного" ТЗ залучаються техніко-експлуатаційні характеристики (об'єм двигуна, потужність, вид палива, витрата палива, маса, габарити тощо), які безпосередньо або опосередковано впливають на рівень забруднення;

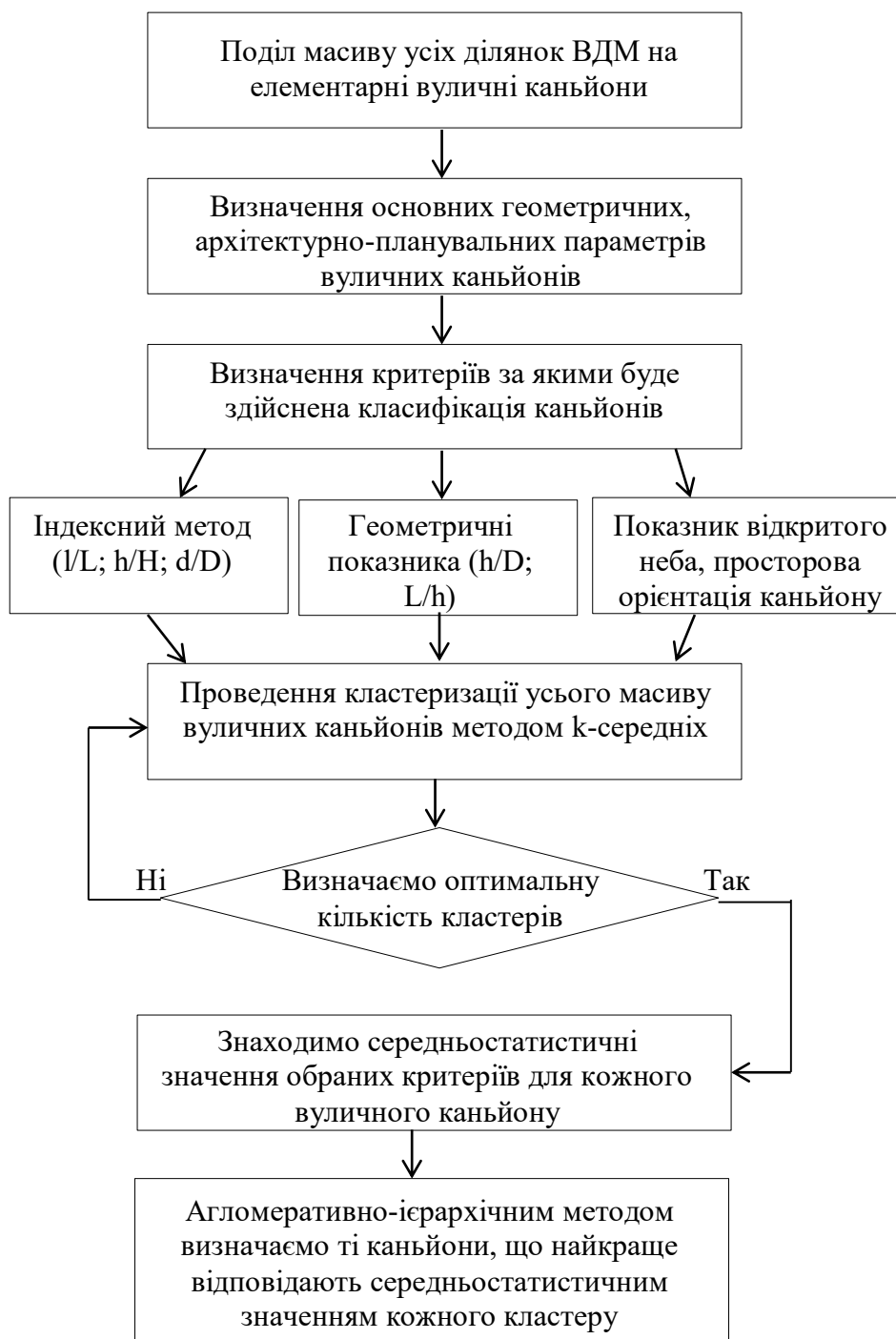


Рисунок 4.14 – Послідовність визначення типового вуличного каньйону

4) Інтенсивність викидів забруднюючих речовин визначається на основі даних про добову динаміку характеристик дорожнього руху, а саме: інтенсивності ТП; щільності ТП; швидкості руху ТП; складу ТП; затримки руху ТП; рівня завантаження автомобільної дороги.

Інтенсивність викидів забруднюючих речовин визначається наступним чином:

$$Q = \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^k q_i \cdot I_i , \quad (4.14)$$

де Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин, $мг/м \cdot с$;

q_i – пробіговий викид "ефективного" автомобіля i -ої категорії, $г/км$;

I_i – інтенсивність i -ої категорії ТЗ, $авт/год$.

Алгоритм визначення інтенсивності викидів забруднюючих речовин ТП наведено на рис. 4.15

5) Концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньйону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання поллютантів, концентрації спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньйоні та міською фоновною концентрацією. Концентрація прямого розсіювання забруднюючих речовин від автомобільного транспорту визначається за математичною моделлю:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{Q dx}{U_s W \sigma_z(x)} , \quad (4.15)$$

де Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від “ефективного” ТП, $мг/м \cdot с$;

U_s – швидкість вітру на рівні вулиці, $м/с$;

W – ширина вуличного каньйону, $м$;

$\sigma_z(x)$ – параметр вертикальної дисперсії на відстані x від джерела викиду.

Дана модель базується на наступних допущеннях: передбачається, що транспортний потік і викиди від нього рівномірно розподілені по каньйону, швидкість вітру на рівні вулиці (U_s) визначається, припускаючи

логарифмічне зменшення швидкості вітру від середньої висоти даху будівель до землі вулиці [14].



Рисунок 4.15 – Алгоритм визначення інтенсивності викидів забруднюючих речовин ТП

6) Рельєф місцевості може враховуватися шляхом множенням сумарних викидів на коефіцієнт інтенсивності викидів (ε). Під час руху горизонтальною ділянкою $\varepsilon=1$, під час руху на підйомі $\varepsilon=1,1-1,2$, під час руху на спуску $\varepsilon=0,7-0,9$. Коефіцієнт інтенсивності викидів обирається емпіричним шляхом залежно від нахилу підйому (спуску). При зустрічному русі сумарне значення ε буде близьким до одиниці.

7) Візуалізація рівня забруднення атмосферного повітря, здійснюється шляхом побудови карт забруднення вулиць міста за допомогою сучасних геоінформаційних систем (ГІС) [74].

4.5 Використання геоінформаційних систем в моделюванні впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста

Дана методика була використана для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міста Києва.

На рис. 4.16 побудовано динаміку рівня забруднення атмосфери основними забруднюючими речовинами, а саме оксидом вуглецю та оксидами азоту в одному з найтипівіших вуличних каньйонів (вул. І.Мазепи) Печерського району. Найвищий рівень концентрації забруднюючих речовин спостерігається в ранкові та вечірні періоди. А саме перевищення концентрацій оксидів азоту спостерігається в 1,46 разів в порівнянні з нормативними значеннями [8, 73].

На рисунку 4.17 побудовано середньодобовий рівень забруднення повітря оксидом вуглецю та оксидами азоту при різних швидкостях вітру. Так, на вул. І. Мазепи перевищення середньодобової концентрації оксидів азоту спостерігається при швидкості вітру 1 м/с.

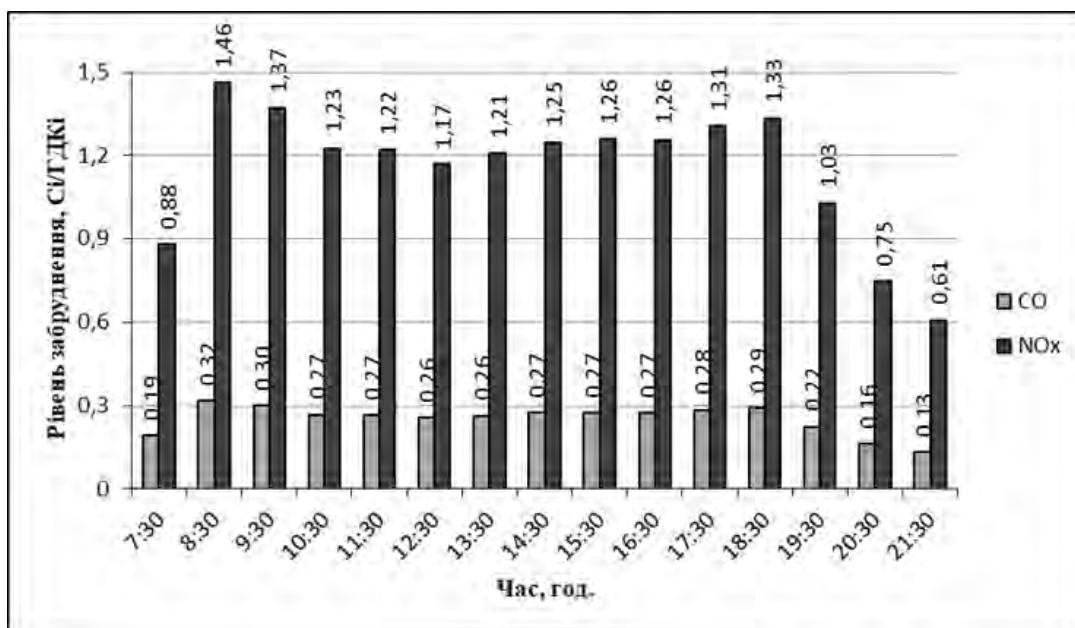


Рисунок 4.16 – Динаміка рівня забруднення атмосфери CO та NO_x при швидкості вітру 3 м/с (вул. І. Мазепи)

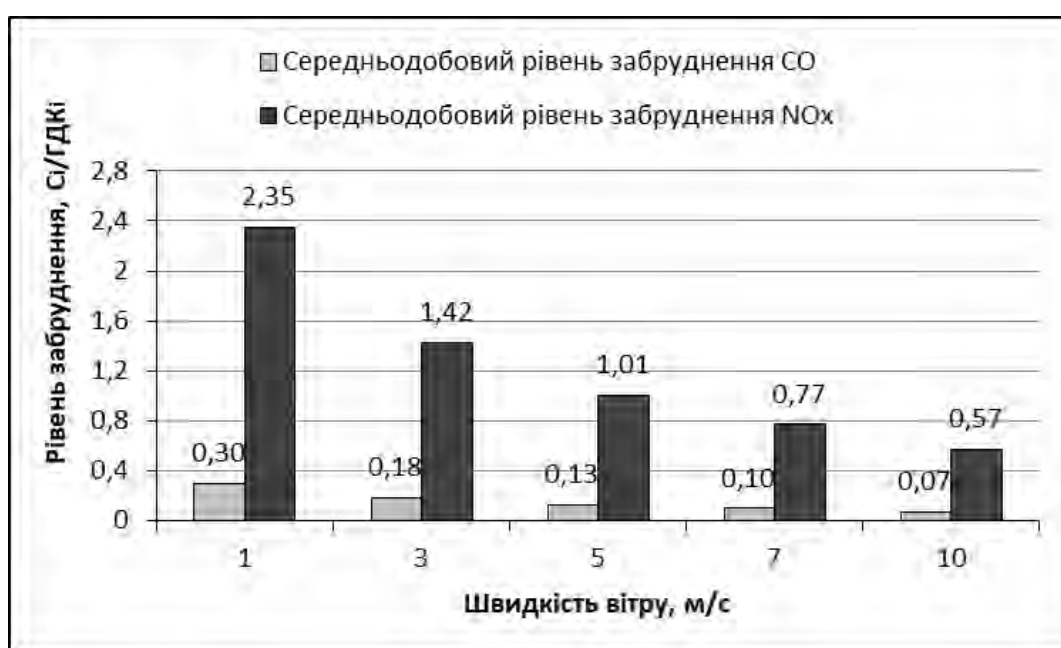


Рисунок 4.17 – Середньодобовий рівень забруднення атмосфери оксидом вуглецю та оксидами азоту (вул. І. Мазепи)

Одним із інструментів, що дозволяє ефективно моделювати рівень забруднення атмосферного повітря та відображати його просторово-часову динаміку є географічна інформаційна система (ГІС).

Географічна інформаційна система – це система, що забезпечує можливість використання, збереження, редагування, аналізу та відображення просторових даних. Інформацію у середовищі ГІС подають у вигляді електронних карт, які включають графічну складову (межі територій або місце розташування об'єктів) і пов'язану з ними атрибутивну інформацію (текстову, числову, аудіовізуальну).

Будь-яка географічна інформаційна система поєднує в собі такі складові: апаратне та програмне забезпечення, просторова та атрибутивна інформація, просторовий аналіз (аналітичні методи), кваліфікований персонал.

Просторова інформація є досить різноманітною. Просторові дані забезпечують формування електронних карт, та можуть бути представлені у растровій або векторній формі. Растрова форма задається масивом чисел, що описують параметри кожної точки. Векторний спосіб використовує математичну залежність, яка кожного разу вираховує усі точки контуру. Об'єкти векторної форми легко трансформувати та змінювати без впливу на якість зображення [86, 93].

Структура ГІС складається з набору інформаційних шарів – сукупності однотипних просторових об'єктів, що відносяться до одного класу в межах певної території, спільної для всіх шарів. При створенні електронних карт велике значення має вибір базових шарів, які використовуються для суміщення та узгодження усіх даних.

Апаратний комплекс включає в себе електронно-обчислювальну машину з достатнім об'ємом оперативної та постійної пам'яті, набір периферійного обладнання, що забезпечує введення та виведення інформації: сканери, принтери тощо, а також будь-які пристрої, необхідні для функціонування ГІС, наприклад, GPS-апаратура, електронні картографічні прилади, геодезичні прилади.

Програмний комплекс забезпечує реалізацію основних функцій ГІС. Виділяють шість основних модулів: внесення та верифікація даних,

зберігання та управління даними, перетворення системи координат і трансформація картографічних проекцій, аналіз та моделювання, вивід та представлення даних, взаємодія з користувачем. Програмні засоби, призначені для роботи з просторовими даними представляють різноманітний сегмент програмного забезпечення, серед яких виділяють: векторизатори растрових зображень, пакети опрацювання даних інженерного проектування, програмні засоби обробки даних дистанційного зондування, пакети просторового аналізу і моделювання, довідково- картографічні системи, ГІС-в'юери, інструментальні ГІС [86].

Просторовий аналіз в ГІС дозволяє вирішувати комплексні задачі, а саме розуміння місця розташування (атрибутивні, просторові запити, аналіз близькості), виявлення певних закономірностей (кластерний аналіз, аналіз щільності), порівняння об'єктів (визначення відношень, аналіз накладання), моделювання та прогнозування (інтерполяція даних, регресійний аналіз, побудова та аналіз ізоліній та поверхонь), знаходження оптимального місцеположення (аналіз шляху найменших витрат, аналіз розміщення, розподілення) тощо. Тому застосування геоінформаційних систем є ефективним інструментом, що дозволяє ефективно моделювати рівень забруднення атмосферного повітря та відображати його просторово-часову динаміку.

В ГІС кожен набір даних управляється як шар і може бути графічно поєднаний, використовуючи аналітичні оператори. Комбінуючи шари, використовуючи оператори та відображення, ГІС дозволяє працювати з цими шарами для вирішення поставлених задач. Усі шари взаємопов'язані, оскільки знаходяться в реальному географічному просторі (рис. 4.18).

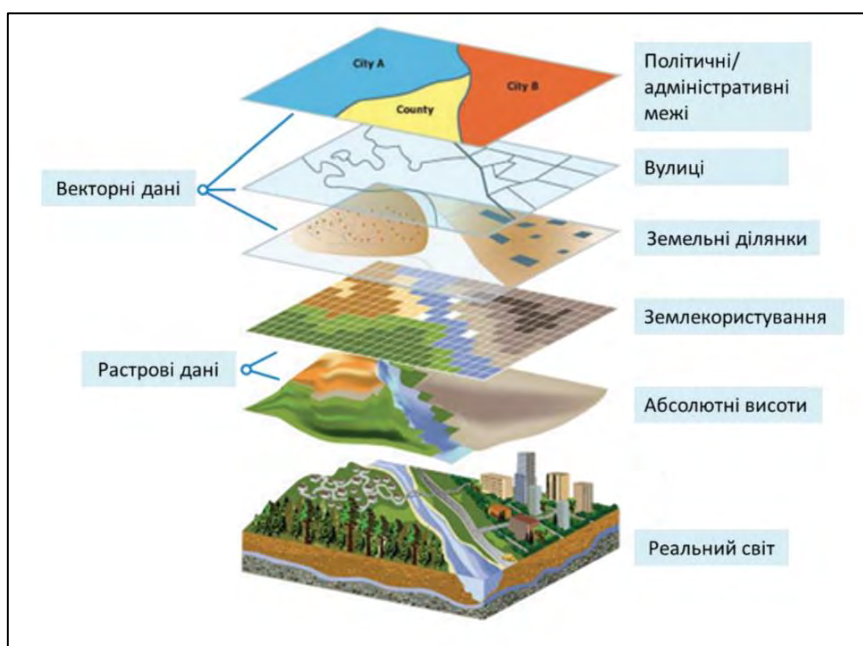


Рисунок 4.18 – Накладання шарів різних типів даних

В ГІС використовується два види просторових даних. Дискретні дані характеризують об'єкти, що мають чіткі, однозначні межі. Ці об'єкти представлені у вигляді точок, ліній та полігонів. Континуальні дані мають справу з об'єктами, які постійно варіюються на місцевості. Ці дані не мають меж і тому мають певне значення на кожній точці території дослідження. Ці дані зазвичай представлені у вигляді растрової структури даних. Кожна ГІС використовує реляційну базу даних, яка організовує атрибутивні дані у таблиці. Кожний рядок у таблиці представляє інформацію по конкретному графічному об'єкту (такому як точка, лінія, полігон, растрова комірка або інший об'єкт). Кожна колонка представляє конкретний атрибут, наявний для всіх об'єктів [53, 93].

Результати моделювання рівня забруднення атмосфери автомобільним транспортом представлені у вигляді карти забруднення вуличних каньйонів Печерського району м. Києва (рис. 4.19). Побудова карти здійснювалася за допомогою (ГІС), яка являє собою систему збору, зберігання, аналізу та графічної візуалізації просторових даних та пов'язаної з ними інформації про необхідні об'єкти [74].

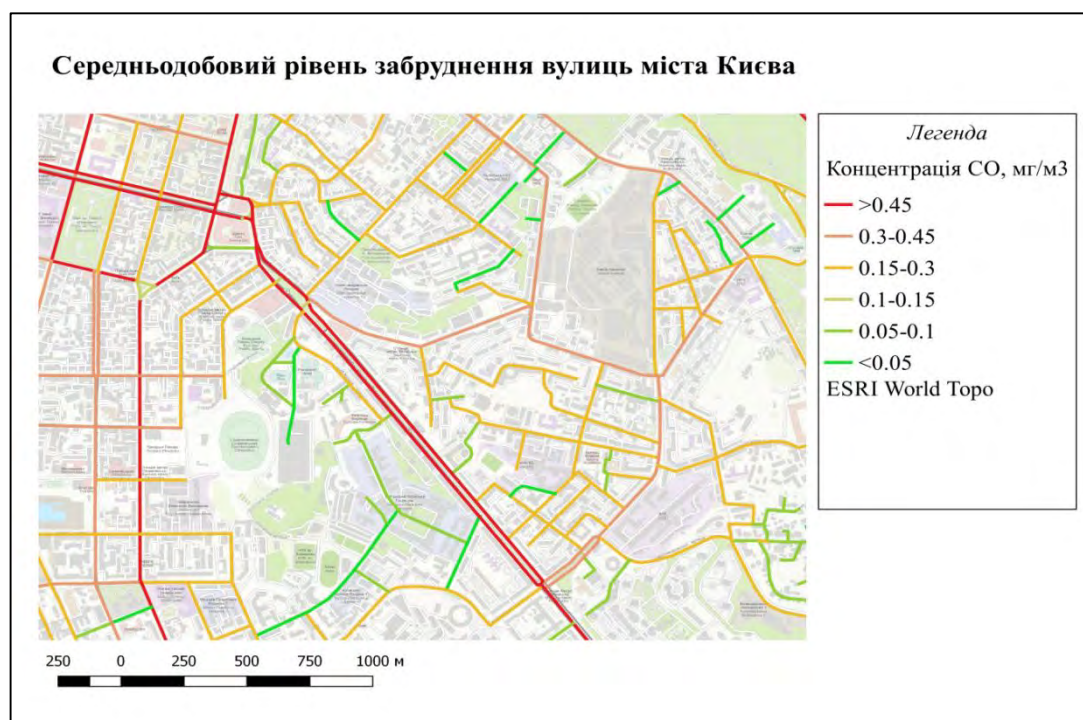


Рисунок 4.19 – Карта рівня забруднення вуличних каньйонів м. Києва оксидом вуглецю



Рисунок 4.20 – Карта рівня забруднення вуличних каньйонів C(NO_x) при швидкості вітру 2 м/с

Вуличні каньйони на карті представлені у вигляді лінійних об'єктів, з відповідною атрибутивною інформацією (назва та тип вулиці, довжина вуличного каньйону, категорія дороги, рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною, тощо). Різним кольором відображена середньодобова концентрація оксидів азоту та оксиду вуглецю в залежності від рівня забруднення кожного з вуличних каньйонів (рис. 4.19, 4.20).

Отже, шляхом управління параметрами ТП та прогнозування швидкості вітру, можливо моделювати рівень забруднення атмосфери у вуличних каньйонах та візуалізувати стан забруднення, шляхом побудови карт забруднення вулиць міста з використанням сучасних геоінформаційних систем. Результати дослідження дозволяють оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря придорожного простору міст та управляти ним, попереджаючи екологічно небезпечні ситуації за яких концентрація забруднюючих речовин перевищує нормативні значення.

4.6 Висновки до розділу 4

1. На основі моделі міських вуличних каньйонів OSPM (Operational street pollution model) визначено рівень забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів Печерського району м. Києва. Оцінка забруднення проводилася з врахуванням добової динаміки інтенсивності ТП.

2. Статистичний аналіз мінливості вектору швидкості вітру протягом року, дозволив із заданою надійністю встановити довірчі інтервали для різних часових масштабів осереднення та визначити точність відповідних оцінок. Тому при складанні прогнозу полів забруднення необхідно задавати відповідний часовий масштаб осереднення виходячи з доцільності точності прогнозу.

3. Для кожного з вуличних каньйонів встановлені критичні інтенсивності руху ТП за яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення. Удосконалено метод

кількісної оцінки впливу транспортного потоку на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів для забезпечення екологічної стійкості та безпеки ВДМ мегаполісів.

4. За допомогою геоінформаційних систем здійснено візуалізацію процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками в межах мегаполісу. Результати дослідження дозволять відслідковувати якість атмосферного повітря та попереджати критичні ситуації, за яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення, визначати стратегії скорочення викидів та запроваджувати превентивні заходи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягало в удосконаленні методу оцінки впливу транспортних потоків на довкілля при різних режимах їх динаміки шляхом розробки кількісного підходу дослідження екологічної ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

За результатами проведеного дослідження можемо зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз теоретико-методологічних основ формування та управління транспортними потоками щодо забезпечення ефективного функціонування міських екосистем. На підставі проведеного аналізу виявлено, що в рамках існуючих підходів, методів та моделей ефективність функціонування вулично-дорожньої мережі в основному обумовлюється економічними показниками з урахуванням динамічних характеристик транспортного потоку (інтенсивність, щільність, швидкість). Враховуючи сучасні тенденції об'єктивної необхідності стійкості розвитку міських екосистем, як однієї з головних складових сталого розвитку суспільства, виявляється актуальним врахування екологічних характеристик під час аналізу ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі. У зв'язку з цим, досліджено основні методологічні підходи оцінки інгредієнтного забруднення транспортними потоками та визначено їх основні переваги і недоліки. Проведено аналіз оцінки рівня забруднення довкілля міст автотранспортом в рамках існуючих моделей, серед яких: моделі розсіювання для окремих автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньйонах, статистичні моделі прогнозу концентрації.

2. Для забезпечення ефективного моніторингу вулично-дорожньої мережі розроблено структурно-екологічну класифікацію вуличних каньйонів міст на основі аналізу просторово-геометричних архітектурно-планувальних елементів міської забудови, а також відповідних екологічних характеристик

та закономірностей формування полів вітрових потоків в умовах урбанізованих територій. На прикладі класифікації індексним методом вуличних каньйонів Печерського району м. Києва, сформовано п'ять однорідних груп, в яких ідентифіковано типові (репрезентативні) вуличні каньйони. До потенційно безпечних вуличних каньйонів увійшли кластер 1.1 ($i_1 - 0,316$; $i_2 - 0,368$; $i_3 - 0,119$; $E_v - 1881,6 \text{ м}^3$); та кластер 1.2 ($i_1 - 0,355$; $i_2 - 0,199$; $i_3 - 0,038$; $E_v - 9753,1 \text{ м}^3$). Потенційно небезпечні вуличні каньйони утворили кластер 2.1 ($i_1 - 0,625$; $i_2 - 0,248$; $i_3 - 0,167$; $E_v - 1013,3 \text{ м}^3$); кластер 2.2 ($i_1 - 0,629$; $i_2 - 0,286$; $i_3 - 0,13$; $E_v - 1124,4 \text{ м}^3$); кластер 2.3 ($i_1 - 0,768$; $i_2 - 0,371$; $i_3 - 0,141$; $E_v - 652,4 \text{ м}^3$).

Під час формування однорідних груп каньйонів застосовувався метод k-середніх, що дозволило будувати мінімальну кількість кластерів, рознесених на максимальні відстані в k-мірному просторі. Показано, що інформація про екологічний стан типових (репрезентативних) вуличних каньйонів з достатнім ступенем достовірності може бути поширена на інші вуличні каньйони в рамках відповідних однорідних груп. Це дозволяє суттєво скоротити витрати на проведення моніторингу стану вулично-дорожньої мережі міста.

3. Розроблено метод статистичного моделювання формування транспортних потоків, для здійснення короткострокових прогнозів рівня забруднення атмосфери в межах вулично-дорожньої мережі міста. Метод базується на використанні моделі "ефективного" транспортного потоку, яка уявляє собою статистичну сукупність "ефективних" транспортних засобів відповідних категорій. В рамках цієї моделі визначено пробігові викиди для кожної з категорій автомобілів, шляхом вимірювання показників токсичності реальних транспортних засобів, техніко-експлуатаційні характеристики яких відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам "ефективного" транспортного засобу.

Застосування розробленого методу дозволяє здійснювати кількісні прогнозні оцінки рівня інгредієнтного забруднення на прилеглих до вулично-

дорожньої мережі територіях. Для вулиці І. Мазепи середньодобова інтенсивність викидів основних забруднюючих речовин склала: NO_x – 0,022 $\text{мг/м}\cdot\text{с}$; CO – 0,28 $\text{мг/м}\cdot\text{с}$; C_mH_n – 0,028 $\text{мг/м}\cdot\text{с}$.

4. Удосконалено метод кількісної оцінки впливу транспортного потоку при різних режимах його динаміки на рівень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів для забезпечення екологічної стійкості та безпеки мегаполісів. Даний метод передбачає ідентифікацію, кількісне визначення з високим ступенем достовірності інтенсивності викидів та концентрації забруднюючих речовин ефективними транспортними потоками.

В рамках цього методу, на прикладі вуличних каньйонів Печерського району міста Києва встановлено критичні інтенсивності руху транспортного потоку, відповідно до яких рівень забруднення шкідливими речовинами досягає гранично-допустимих значень. Для вулиці І. Мазепи критичні інтенсивності руху транспортного потоку становлять: при швидкості вітру 1 м/с NO_x – 0,14 авт/с , CO – 1,9 авт/с , C_mH_n – 0,17 авт/с ; при швидкості вітру 3 м/с NO_x – 0,29 авт/с , CO – 2,9 авт/с , C_mH_n – 0,35 авт/с ; при швидкості вітру 5 м/с NO_x – 0,43 авт/с , CO – 3,8 авт/с , C_mH_n – 0,52 авт/с .

5. Удосконалено спосіб візуалізації процесів просторово-часового розподілу забруднення атмосферного повітря транспортними потоками при різних режимах їх динаміки в межах міста з використанням геоінформаційних систем. Результати дослідження дозволяють в реальному режимі часу відслідковувати якість атмосферного повітря та управляти станом вулично-дорожньої мережі мегаполіса.

Для вулиці І. Мазепи середньодобовий рівень забруднення основними забруднюючими речовинами при швидкості вітру 2,4 м/с та середньодобовій інтенсивності руху транспортного потоку 1005 авт/год буде становити: NO_x – 1,1ГДК; CO – 0,21ГДК; C_mH_n – 0,96ГДК.

Практичне значення результатів проведеного дослідження підтверджено їхнім впровадженням в діяльність підприємств транспортної

галузі, а саме ПАТ "Київська виробнича компанія "Рapid", Комунального підприємства "Київпаstrans" та в навчальний процес Національного транспортного університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л.С. Напрямки розвитку сучасного управління дорожнім рухом. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху": тези доповідей. Харків: ХНАДУ, 2013. С.34-36.
2. Абрамовський Є.Р., Є.В. Єгоров, Н.М. Личагін. Аналіз поширення забруднюючої домішки від постійно діючого точкового джерела в атмосфері глибоких міських ярів. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка*. 2007. Вип. 10, №3/1. –С. 144 – 152. [рос. м.]
3. Абрамовський, Є.Р. Аерологія об'єктів міської забудови у розрахунках забруднення повітряного середовища. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія: Механіка*. - 2010. - Вип.14, т.1. - С. 90 - 97.
4. Абрамовський Є.Р., Карплюк В.І., Переметчик М.М. Атмосфера великих міст. Вид.2-е, доповнене і виправлене – Дн-ськ.: Наука і освіта, 2011. – 350 с.
5. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія. Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут; за заг. ред.. А.М. Редзюка. – К.: ДП "ДержавтотрансНДІпроект", 2005. – 400с.
6. Акименко В.В. Моделі й системи аналізу і прогнозування техногенного забруднення приграничного шару атмосфери: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 01.05.04 "Системний аналіз і теорія оптимальних рішень". – К., 2001. – 37 с.
7. Антошкіна Л.І., Біляєв М.М., Коренюк Є.Д., Хрущ В.К. Стан довкілля: моделі та прогноз: Монографія. – Д.: Наука і освіта, 2003. – 328 с.
8. Бакуліч О.О., Гребельник М.М., Самойленко Є.С. Управління екологічною безпекою мегаполісу. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник*. 2022.

Випуск 1 (51). С. 12-20. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027
URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf>

9. Бакуліч О.О., Кіс І.Р., Занора В.О. Тенденції управління екологічними ризиками транспортних проектів. *Вісник ЧДТУ. Серія Економічні науки*. Випуск 1(56). 2020. С. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4420.0.56.2020.201674>

10. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Екологічна оцінка вуличних каньйонів міста. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. С. 116-122 URL:

<https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/11/taliev-2015.pdf>

11. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Екологічна стійкість мегаполісу. *Вісник Національного транспортного університету*. К.: НТУ, 2013. Вип. 28. С. 29-35 URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/28_2013/029-035.pdf

12. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. К.:НТУ, 2015. Вип. 31. С. 18-26 URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/31_1_tech_2015/018-026.pdf

13. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. Науково-технічний збірник. 2021. Випуск 1 (48). С. 12-19. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf> DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-012-019

14. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Оцінка забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом в проектах управління екологічним станом мегаполісу. *Науково-практичний журнал "Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку"* №26, (2021) - С.125-134

<https://doi.org/10.33813/2224-1213.26.2021.13>

15. Бакуліч О. О., Самойленко Є.С. Модель складу транспортного потоку міста. *Економіка та управління на транспорті*. 2016. Вип. 3. С. 3–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eut_2016_3_3.

16. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом в проектах управління екологічним станом міста. Міжнародна наукова конференція "Управління бізнес-процесами та технологічними інноваціями в сучасних умовах та в післявоєнний період". – К.: НТУ, 2023. С. 38-42. DOI: 10.33744/978-966-632-320-3-2023

17. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Точність оцінки при розрахунку концентрації забруднюючих речовин у вуличному каньйоні. *Вісник Національного транспортного університету*. К.: НТУ, 2017. Вип. 37. С. 13-20 URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/013.pdf>

18. Бакуліч Олена Олександрівна, Самойленко Євген Сергійович. Управління екологічним станом міста. International Scientific Conference Modern Scientific Research: Achievements, Innovations and Development Prospects: Conference Proceedings, October 1-2, 2021. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". Р. 9-12 DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-126-8-3>

19. Беляєв Н.М., Коренюк О.Д., Хрущ В.К. Методи експрес розрахунку рівня забруднення атмосфери. - Дніпропетровськ: Наука та освіта, 2002. - 192 с.

20. Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища: навчальний посібник. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2002. – 284 с.

21. Білоус А.Б., Могила І.А., Крамажевський Я.Р. Прогнозування інтенсивності руху з використанням часових рядів. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. Донецьк, 2011. №3. С. 12-20.

22. Випробування двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник / Ю.Ф.Гутаревич, А.О.Корпач – К.: НТУ, 2002. – 191 с.

23. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Основи теорії систем і управління. Київ: Знання України, 2005. 344 с.

24. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. Організація дорожнього руху. Київ: Знання України, 2007. 452 с.

25. Горідько Н.М. Методики та моделі оцінювання ефективності проектів екологічного управління. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ: НТУ. 2012. Випуск 25. С. 356-359.

26. Григоров М.А. Інформаційне забезпечення для моделювання та керування транспортними потоками у великих містах: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Одес. нац. політехн. ун-т. Одеса, 2005. 18 с.

27. Гук В.І., Шкодовський Ю.М. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбанізації: монографія. Харків: Золоті сторінки, 2009. 232 с.

28. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 292с.

29. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікація структурних елементів вулично-дорожньої мережі методами кластерного аналізу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.:НТУ, 2012. Вип.85. С. 124 – 130 URL:

http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/85/124-130.pdf

30. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Е.С, Тарабан С.М. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.: НТУ, 2012. Вип. 86. С. 146 – 153 URL:

http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_86/146-153.pdf

31. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Мережа моніторингу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 30 (1). С. 86-94.

32. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Systems and means of motor transport. Selected problems*. 2014. Monografianr 5. Seria: TRANSPORT. Rzeszów. P. 231-238.

33. ДБН В.2.3-5-2001 "Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів". Київ: Держбуд України, 2001. – 51 с.

34. Дорогунцов С. І. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення – К. : Наук. думка. 2001. – 172 с.

35. Дубовой В.М., Ковалюк О.О. Стійкість процесу керування транспортною мережею міста. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2006. № 6. С. 106-111.

36. Дячук В.О. Комплексні дослідження залежності приземних концентрацій від параметрів джерел викидів та метеорологічних характеристик. *Праці УкрНДІ Держкомгидромету*. – 1987. – Вип. 224. - С. 14-26. [рос. м.]

37. Закон України про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 року № 1264-XII // *Відомості Верховної Ради України*. – 1991. – № 41. – Ст.546.

38. Закон України про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16 жовтня 1992 року № 2708-XII // *Відомості Верховної Ради України*. – 1992. – № 50. – Ст.679.

39. Закон України про охорону земель: Закон України від 19 червня 2003 року № 962-IV // *Відомості Верховної Ради України*. – 2003. – № 39. – Ст.349.

40. Закон України про відходи: Закон України від 5 березня 1998 року № 187/98-ВР // *Відомості Верховної Ради України*. – 1998. – № 36-37. – Ст.242.

41. Єресов В.І. Григор'єва О.В. Шляхи дослідження стійкості транспортного потоку. *Управління проектами, системний аналіз і логістика: технічна серія*. Київ 2013. Вип. 12. С. 73-79.
42. Затула В.І. Метеорологічний режим та забруднення повітря у великих містах України (на прикладі Києва): дис. ... кандидата геогр. наук: 11.00.09 / Затула Василь Іванович. – К., 1992. – 199 с. [рос. м.]
43. Зубик С.В. Техноекологія: джерела забруднення і захист навколишнього середовища. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. – 452 с
44. Обухан К.І., Пригода Ю.Г. Гігієнічна оцінка забруднень повітря на вулицях м. Києва залежно від інтенсивності автотранспортного руху. *Гігієна населених місць*. – 2003. – Вип. 42. – С. 39–43.
45. Охорона навколишнього середовища : монографія / за ред. Я.Б. Олійника. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 264 с.
46. Коршенко Ф.В. Статистичний прогноз стану забруднення атмосфери. *Праці УкрНДІ Держкомгідромету*. - 1987. - Вип. 224. - С. 41-44. [рос. м.]
47. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. –2007. – № 13. – С. 208–216.
48. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. –2007. – № 13. – С. 208–216.
49. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. *Наук. праці УкрНДГМІ*. – 2002. – Вип. 250. – С. 288–298.
50. Клімат Києва / за ред. В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 320с.
51. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 344 с.

52. Колесник С.І. Роль автотранспорту в суспільстві та його вплив на навколишнє середовище. Проблеми статистики. Зб. наук. праць. – 2001. – Вип. 3. – С. 212 – 213.

53. Кузніченко С.Д., Сербов Н.Г., Кругляк Ю.А. Географічні інформаційні системи: сфери застосування, порівняльний аналіз ГІС-пакетів. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2002. – Вип. 45. - С. 153-161. [рос. м.]

54. Линник І.Е., Лежнева О.І., Дорожко Є.В. та ін. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу: монографія – Харків: Видавництво «Смугаста типографія», 2020. – 194 с.

55. Маренко О.М., Гриценко О.М. Оксиди азоту в приземному шарі повітря на автомагістралях Києва. Праці УкрНДІ Держкомгидромету. – 1986. – Вип. 216. - С. 46-53. [рос. м.]

56. Маренко О.М., Мартиновський І.В., Сакун В.П. Експериментальне дослідження забруднення повітря оксидом вуглецю на автомагістралях Києва. Праці УкрНДІ Держкомгидромету. – 1984. – Вип. 202. - С. 112-117. [рос. м.]

57. Маренко О.М., Колосовський В.В. Деякі результати великомасштабного фізичного моделювання розсіювання автомобільних викидів. Праці УкрНДГМІ. – 1990. – Вип. 236. - С. 39-49. [рос. м.]

58. Маренко О.М., Огановська Д.К. До питання про розсіювання викидів автотранспорту в умовах міста. Праці УкрНДІ Держкомгидромету. – 1988. – Вип. 227. - С. 67-71. [рос. м.]

59. Маренко О.М. Про рівень забруднення повітря окисом вуглецю на міських автомагістралях залежно від інтенсивності транспортного руху. Праці УкрНДІ Держкомгидромету. – 1984. – Вип. 202. - С. 124-127. [рос. м.]

60. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. Київ. 2008. 48 с. (Інформація та документація).

61. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами. Донецьк, 2000. 34 с. (Інформація та документація).
62. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту / Ліпський Г.Е. – К.: Український транспортний університет, 1995. -8 с.
63. Мержиєвська В.В. Забруднення атмосфери викидами транспортних засобів. Основні сполуки. Вплив каталітичних нейтралізаторів. Автошляховик України. – 2006. – № 3 (191). – С. 20–23.
64. Міщенко З.А., Ляшенко Г.В. Мікрокліматологія: навчальний посібник. – К.: КНТ, 2007. – 336 с.
65. Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: колективна монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т1. – 216 с.
66. Патент на корисну модель №95713 Україна МПК (2015.01) E01C 1/00. Спосіб оцінки потужності джерела забруднення / Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. – №201402498; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015 р.
67. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.
68. Прокудін Г.С. Моделі та методи оптимізації вантажних перевезень в транспортних системах: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2009. 44 с.
69. Рейцен Е.О., Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу в містах України. *Містобудування та територіальне планування*. -К.: КНУБА, 2004.- №18.-С. 178-185.
70. Русакова Т. І., Біляєв М.М. CFD-моделювання розповсюдження забруднення повітряного середовища в мікрорайоні. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. - 2013. - № 6. - С. 25-30.
71. Русакова Т. І., Карплюк В.І. Задача чисельного розрахунку обтікання будівель повітряним потоком. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія "Механіка"*. – Д., 2007. – Вип. 11, т. 1. – С. 53–58.

72. Русакова Т. І., Карплюк В.І. Дослідження поля швидкостей під час обтікання будівель повітряним потоком. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія "Механіка"*. – Д., 2008. – Вип. 12, т. 1. – С. 41–49.

73. Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення міст шляхом управління параметрами транспортного потоку. *Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки"*. 2022. Випуск 3 (53). С. 322-328. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-322-328 URL:

http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/322_328.pdf

74. Самойленко Є. С. Управління рівнем забруднення атмосфери міст шляхом моделювання з використанням геоінформаційних систем. Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт". – К.: НТУ, 2022, Вип. 1 С. 289-293. DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3

75. Свинухов В.Г. Фізико-статистичний спосіб прогнозу забруднення атмосфери у місті. *Метеорологія та гідрологія*. – 1993. – № 8. – С. 41–47. [рос. м.]

76. Сніжко С.І., Шевченко О.Г., Скляренко Д.П. Оцінка сучасного рівня забруднення атмосферного повітря у м. Києві. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. – 2005. – № 51. – С. 28–30.

77. Сніжко С.І., Шевченко О.Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста – К.: Видавництво географічної літератури "Обрії", 2011. – 297 с.

78. Стародуб І.В. Тенденції зміни та прогноз умов функціонування вулично-дорожньої мережі. *Містобудування та терит. планув.* 2006. Вип. 23. С. 252-261.

79. Стародуб І.В. Сучасна автомобілізація та транспортна інфраструктура великих міст України. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб.* 2008. Вип. 31. С. 357-365.

80. Степанчук О.В., Лапенко О. І., Чернишова О. С. Особливості використання методів моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста. *Теорія та практика дизайну*. 2022. Вип. 25. С. 110-119.

81. Степанчук О.В. Особливості розвитку автомобільного транспорту в Україні. *Вісник Інженерної академії України*.-Київ, 2013. Вип.2. С. 193-198.

82. Тарабан С.М. Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.01 / Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України. Київ, 2018, 280 с.

83. Тарабан С.М. Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. – Київ: НТУ, 2013. Вип.90. С. 24-32.

84. Третиниченко Ю.О. Портфельно-орієнтоване управління збалансованим розвитком організацій перевізників автомобільного транспорту. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.22 / Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України. Київ, 2018. 279 с.

85. Хрутьба В.О. Методологічні основи управління екологічними проектами та програмами. дис. ... д-ра тех. наук: 05.13.22 / Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України. Київ, 2015. 368 с.

86. Часковський О., Андрейчук Ю., Ямелинець Т. Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS— Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, Вид-во Простір-М, 2021. — 228 с..

87. Шапар А.Г., Поліщук С.З., Волошин М.Д. та ін. Системний підхід при прогнозуванні стану атмосферного повітря. – Дніпродзержинськ: Дніпродзерж. держ. техн. ун-т., 2004. – 164 с.

88. Шаповалов А.Л. Дослідження складу транспортного потоку на вулицях і дорогах міст у відповідності до правил ЄС. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2014. Вип. 46. С. 571-575.

89. Шевченко О.Г. Дослідження тенденцій зміни стану якості атмосферного повітря міста Києва. *Сучасні проблеми екології та геотехнологій*: Житомир. -2008. – С. 35–38.

90. Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Дослідження просторової структури забруднення атмосферного повітря м. Києва на основі комплексного статистичного аналізу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. – 2008. – № 14. – С. 214–220.

91. Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Основні тенденції зміни стану якості атмосферного повітря міста Києва . Молоді науковці – географічній науці: наук. конф., 24–25 жовт. 2007 р.: тези доп. – К., 2007. – С. 181–184.

92. Шевченко О.Г., Сніжко С.І. Порівняльний аналіз багаторічних тенденцій формування рівня забруднення атмосферного повітря у м. Києві та у інших містах України. *Географія в інформаційному суспільстві*: 36. наук. праць. У 4-х тт. – К.: ВГЛ Обрії, 2008. – Т. III. – С. 48–50.

93. Шипулін В.Д. Основи ГІС-аналізу: Навчальний посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2012, 300 с.

94. Шмандій В.М., Касімов О.М., Кучук А.М. Сучасні методи контролю забруднення атмосферного повітря при управлінні техногенною безпекою на регіональному рівні. – Харків: КДПУ, 2001. – 136 с.

95. Algers S. Bernauer E., Boero M et al. Review of Micro-Simulation Models. SMARTTEST Project Deliverable D3. Submission Date: 8 August 1997. 66 p.

96. Baklanov A., Hanninen O., Slordal L.H. Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2006. – Vol. 7. – P. 855–874.

97. Bakulich, O., E. Samoylenko, V. Holodenko. “Modeling of level of pollution of canyons during management of the ecological condition of the megapolis”. *Transport Development*, no. 4(11), Jan. 2022, pp. 7-15, doi:10.33082/td.2021.4-11.01.

98. Borck, Rainald. "Public transport and urban pollution." *Regional Science and Urban Economics* 77 (July 2019): 356–66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2019.06.005>.
99. Blankenstein S., Kuttler W. Impact of Street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorologische Zeitschrift*. – Vol. 14, – Pp. 234–245.
100. Benson, P.E., 1992. A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models. *Atmospheric Environment* 26B (3), 379–390.
101. Berkowicz, R., Palmgren, F., Hertel, O., Vignati, E., 1996. Using measurements of air pollution in streets for evaluation of urban air quality meteorological analysis and model calculations. *Science of the Total Environment* 189/190, 259–265.
102. Berkowicz, R., Ketzel, M., Jensen, S. S., Hvidberg, M., Raaschou-Nielsen, O. Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. *Environmental modeling and software*. Vol. 23(3). P. 296-303. DOI: [10.1016/j.envsoft.2007.04.007](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.04.007) (2008).
103. Berkowicz, R., Hertel, O., Larsen, S.E., Sorensen, N.N., Nielsen, M., 1997. Modelling traffic pollution in streets. NERI, Roskilde, Denmark.
104. Chang J.C., Hanna S.R., Boybeyi Z., Franzese P. Use of Salt Lake city URBAN 2000 field data to evaluate the urban hazard prediction assessment capability (HPAC) dispersion model. *Journal of Applied Meteorology*. – 2005. – Vol. 44, № 4. – P. 485–501.
105. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 2019. Vol.34, Issue 2(2019):175–186. Scopus. URL: <https://journals.vgtu.lt/index.php/Transport/article/view/8546> **Scopus**
106. Danchuk V., Bakulich O., Taraban S., Bieliatynskyi A. Simulation of traffic flows optimization in road networks using electrical analogue model. *SpringerLink Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. EMMFT 2019: International Scientific Conference Energy Management

of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT. 2019. pp 238-254 **Scopus**.

107. Esser J., Neubert L., Wahle J. and Schreckenberg M. Microscopic online Simulations of Urban Traffic. In Ceder, A. (ed), Proceedings of the 14th International Symposium of Transportation and Traffic Theory. Jerusalem, 1999. P. 517-534.

108. Gerdes F., Olivari D. Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1999. – Vol. 82, № 1. – P. 105–124.

109. Gendron-Carrier, Nicolas, Marco Gonzalez-Navarro, Stefano Polloni, and Matthew A. Turner. "Subways and Urban Air Pollution." *American Economic Journal: Applied Economics* 14, no. 1 (January 1, 2022): 164–96. <http://dx.doi.org/10.1257/app.20180168>.

110. Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H.S., Hertel, O., 2001. A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. Transportation Research-D 6, 229–241.

111. F. Al-Shawabkeh, Ali, and Mohd R. Suliman. "TRAFFIC POLLUTION IN URBAN JORDAN." JES. Journal of Engineering Sciences 34, no. 1 (January 1, 2006): 237–50. <http://dx.doi.org/10.21608/jesaun.2006.110260>.

112. Gromke C., Buccolieri R., Sabatino S.D., Ruck B. Dispersion study in a street canyon with tree planting by means of wind tunnel and numerical investigations – Evaluation of CFD data with experimental data. Atmospheric Environment. – 2008.

113. Hamilton, Ron, and Greg Morrison. "Highway and urban pollution." *Science of The Total Environment* 334-335 (December 2004): 1–2. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.024>.

114. Helbing D. Modeling Multi-lane Traffic Flow with Queuing Effects. Physica A. 1997. Vol. 242. P. 175-194.

115. Hertel, Ole, and Finn Palmgren. "Urban air pollution." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 28, no. 8 (January 2003): 305. [http://dx.doi.org/10.1016/s1474-7065\(03\)00050-0](http://dx.doi.org/10.1016/s1474-7065(03)00050-0).
116. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. 2001. Vol. 215. No. 4. P. 283-303.
117. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. Modelling Multiple User-Class Traffic Flow. *Transportation Research B*. 2000. Vol. 34. No. 2. P. 123-146.
118. Huang H., Akutsu Y., Arai M., Tamura M. A two-dimensional air quality model in an urban street canyon: evaluation and sensitivity analysis. *Atmospheric Environment*. – 2000. – Vol. 34. – P. 689–698.
119. Ilchenko V., Bondarenko V., Koroliova O., Petrovska S., Kumar R. An Analysis of Digital Technology Impact on Improving the Environmental Status. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, №. 6s. P. 1087-1093. URL: <http://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/9192>. **Scopus**.
120. Ilchenko V., Bondarenko V., Koroliova O., Petrovska S. Effect of Emerging Technology on Enhancing the Environmental Condition of Urban Areas: A Case of Ukraine. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, №. 6s. P. 1101-1108. URL: <http://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/9197>. **Scopus**.
121. Kakosimos, K.E.; Hertel, O.; Ketzel, M.; Berkowicz, R. Operational Street Pollution Mod-1 (OSPM) - A review of performed application and validation studies, and future prospects. *Environ. Chem.* Vol. 7. P. 485-503 (2010).
122. Kassomenos, P.; Vardoulakis, S.; Chaloulakou, A.; Grivas, G.; Borge, R.; Lumbreras, J. Levels, sources and seasonality of coarse particles (PM₁₀-PM_{2.5}) in three European capitals-Implications for particulate pollution control. *Atmos. Environ.* Vol. 54. P. 337-347 (2012).

123. Kastner-Klein P., Plate E.J. Wind-tunnel study of concentration fields in street canyons. *Atmospheric Environment*. – 1999. – Vol. 33, № 24–25. – P. 3973–3979.

124. Kerner B.S. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory*. Berlin, New York: Springer. 2009. 265 p.

125. Ketzel, M., Berkowicz, R., Lohmeyer, A., 2000. Comparison of numerical street dispersion models with results from wind tunnel and field measurements. *Environmental Monitoring and Assessment* 65, 363–370.

126. Ketzel M., Berkowicz R., Lohmeyer A. Comparison of numerical street dispersion models with results from wind tunnel and field measurements. *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2000. – Vol. 65. – P. 363–370.

127. Lin H.E., Zito R., and Taylor M.A review of travel-time prediction in transport and logistics. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005. Vol. 5. P. 1433-1448.

128. Majumdar, Arnab, and Washington Yotto Ochieng. "Air Traffic Control Complexity and Safety." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2007, no. 1 (January 2007): 70–80. <http://dx.doi.org/10.3141/2007-09>.

129. Miller E.J. *Transportation Modeling Urban Book Series*. 2021. pp. 911-931 DOI: 10.1007/978-981-15-8983-6_47 **(SCOPUS)**.

130. Kim, J.J., Smorodinsky, S., Lipsett M., Singer, B.C., Hodgson, A.T. and Ostro, B., 2004. Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay children's respiratory study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170 (5), pp. 520–526.

131. Mensink, C., Lewyckyj, N., 2001. A simple model for the assessment of air quality in streets. *International Journal of the Vehicle Design* 27 (1–4), 242–250.

132. Nagel K. From Particle Hopping Models to Traffic Flow Theory. *Transportation Research Record*. 1998. Vol. 1644. P. 1-9.
133. Olena Bakulich, Evgeny Samoilenko, Yuriy Peskovets. "Methodology for assessing the level of atmospheric pollution by road transport in the projects of management of environmental state of a city", refereed and peer-reviewed international scientific-practical journal of kutaisi university, N25,2023, pp. 25-29, DOI: <https://doi.org/10.52244/ep.2023.25.12>
134. Oleniacz, R.; Gorzelnik, T. Assessment of the Variability of Air Pollutant Concentrations at Industrial, Traffic and Urban Background Stations in Krakow (Poland) Using Statistical Methods. *Sustainability*. Vol. 13(10)/ P/ 5623. URL: <https://doi.org/10.3390/su13105623> (2021).
135. Ou H., Tang T. Q. Impacts of moving bottlenecks on traffic flow, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. 2018 Vol. 500, pp. 131-138. DOI: 10.1016/j.physa.2018.02.044 (**SCOPUS**).
136. Oke, T.R., 1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings* 11, 103–113.
137. PIARC: Urban road design and architecture. Reference: 10.08.B, *Routes/Roads special issue II-1995*. P. 51-126.
138. Rao K.S. ROADWAY-2: A model for pollutant dispersion near highways. *Water, Air and Soil Pollution*. – 2002. – Vol. 2. – P. 261–277.
139. Rotach M. On the influence of the urban roughness sublayer on turbulence and dispersion. *Atmos. Environ.* – 1999. – № 33. – Pp. 4001–4006.
140. Salmond J.A., Williams D.E., Laing G. et al. The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street canyon. *Science of the Total Environment*. – 2013. – Vol. 443. – P. 287–298.
141. Sathe Yogesh, V., 2004. Air quality modeling in street canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India, *Universal J. of Environmental Research and Technology*, no. 2, vol. 2, pp. 97–105.
142. Seinfeld J.H., Pandis S.N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, Second Edition. – Wiley, 2006.

143. Slavinska O., Stozhka V., Kharchenko A., Bubela A., Kvatadze A. Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Volume 1, Issue 3-97, 2019, Pages 46-59 **Scopus**.

144. Singer Brett C., Wenzel Thomas P. Environ. Estimated emission reductions from California's enhanced Smog Check program. Sci and Technol. – 2003. – № 11. – Pp. 2588 – 2595.

145. Stedman, J.R., Goodwin, J.W.L., King, K., Murrells, T.P., Bush, T.J., 2001. An empirical model for predicting urban roadside nitrogen dioxide concentrations in the UK. Atmospheric Environment 35, 1451–1463.

146. Taseiko, V.; Mikhailuta, S.V.; Pitt, A.; Lezhenin, A.A.; Zakharov, Y.V. Air pollution dispersion within urban street canyons. Atmos. Environ. 2009, 43, 245–252.

147. Thomas, Kilian, and Tobias A. Granberg. "Quantifying Visual Pollution from Urban Air Mobility." *Drones* 7, no. 6 (June 14, 2023): 396. <http://dx.doi.org/10.3390/drones7060396>.

148. Tomlin A.S. A field study of factors influencing the concentrations of a traffic-related pollutant in the vicinity of a complex urban junction. Atmospheric Environment. – 2009. – Vol. 43. – P. 5027–5037.

149. Vardoulakis, S.; Fisher, B.E.A.; Pericleous, K.; Gonzalez-Flesca, N. Modelling air quality in street canyons: A review. Atmos. Environ. 2003, 37, 155–182.

150. Vardoulakis, S.; Gonzalez-Flesca, N.; Fisher, B.E.A. Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris: Implications for exposure studies. Atmos. Environ. 2002, 36, 1025–1039

151. Vermijs R.G., Papendrecht H.J., Lutje Spelberg R.F., and Toetenel W.J. Short term forecasting of the level of service on a motorway network, by using a microscopic simulation model. Proceedings of the 2nd Erasmus-Network conference on transportation and traffic engineering. Kerkrade. 1995.

152. World Health Organization (WHO). WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide; World Health Organization: Geneva, Swiss, 2021.

153. WHO Air quality guidelines. – Geneva: World Health Organization. – 2006. – 22 p.

154. WOLNIAK, Radosław. "Safety of air transport." *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series* 2019, no. 134 (2019): 305–15. <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2019.134.24>.

155. Zakharchenko O., Bakulich O., Potapenko T., Voloshenko M., Kharuta V. Fundamentals of the system simulation methodology “person-machine” in project and program management. *International Journal of Management (IJM)*. 2020. Vol. 11, Issue 3. **Scopus**. URL:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3568387

ДОДАТОК А

Просторово-геометричні показники вуличних каньйонів Печерського району м. Києва

Контур	Вуличний каньйон	ділянка	довжина ділянки, L, м	довжина забудов, l_1 , м	висота забудов, h_1 , м	відстань між дорогою і будівлями, x_1 , м	напрямок вуличного каньйону, град.	тип перехрестя	кількість смуг	довжина забудов, l_2 , м	висота забудов, h_2 , м	відстань між дорогою і будівлями, x_1 , м
1	Липський провулок	1-2;	155	100	18	5	135	т;т	1;1	110	12,8	6
	Липська	2-3;	155	110	9,6	5	50	т;т	1;1	117	10,7	2
	Пилипа Орлика	3-4;	158	74	9	10	140	т;т	1;1	101	11,5	2,85
	Шовковична	4-1;	155	90	15	7	50	т;т	1;1	134	15,4	6,9
2	Інститутська	1-2;	147	97	15	4	140	х;х	2;2	83	13,9	4
	Липська	2-3;	193	126	12,95	9,8	50	т;х	1;1	155	12,7	5
	Липський провулок	3-4;	155	110	12,8	6	135	т;т	1;1	100	18	5
	Шовковична	4-1;	189	126	13,4	11,5	50	т;х	1;1	149	12	12
3	Інститутська	1-2;	145	119	13,6	5,7	140	т;х	1;1	130	21,6	1,5
	Інститутська	2-3;	25	23	6	1	140	т;т	1;1	0	0	0
	Виноградний провулок	3-4;	330	262	17,6	17	45	т;х	1;1	136	15,6	16,7
	Пилипа Орлика	4-5;	145	126	18,4	8,2	140	т;х	1;1	108	13,9	5
	Липська	5-6;	155	117	10,7	2	50	т;т	1;1	110	9,6	5
	Липська	6-1;	193	155	12,7	5	50	т;х	1;1	126	12,95	9,8
...												
125	бул. М. Міхновського	1-2;	440	15	3	34	160	т;х	4;3	14	3	23
	Микільсько-Хутірська	2-3;	334	15	6,6	6,6	45	т;х	1	111	5,2	22,9
	Микільсько-Хутірська	3-4;	152	46	3	7	165	х;х	1	40	3	11
	Пирятинська	4-1;	253	26	3	7	100	х;х	1	58	5,1	11,9
126	Микільсько-Хутірська	1-2;	152	40	3	11	165	х;х	1	46	3	7
	Землянська	2-3;	294	65	3	4,1	105	т;х	1	70	3,9	6,1
	Пирятинська	3-1;	46	17	3	5,5	90	т;х	1	17	3	7

**Показники структурно-екологічної класифікації вуличних каньйонів
Печерського району м. Києва**

№	Вуличний каньйон	i1	i2	i3	H/W	L/H	SVF
1	Липський пров.1;1-2	0,677	0,389	0,143	0,856	10,065	0,511
2	Липська1;2-3	0,732	0,500	0,094	0,725	15,271	0,568
3	Пилипа Орлика1;3-4	0,554	0,353	0,095	0,516	15,415	0,697
4	Шовковична1;4-1	0,723	0,335	0,141	0,727	10,197	0,567
5	Інститутська2;1-2	0,612	0,636	0,134	0,657	10,173	0,606
6	Липська2;2-3	0,728	0,321	0,119	0,588	15,049	0,648
7	Шовковична2;4-1	0,728	0,230	0,118	0,416	14,882	0,769
8	Інститутська3;1-2	0,859	0,493	0,163	1,239	8,239	0,388
9	Інститутська3;2-3	0,460	0,875	0,028	0,375	8,333	0,777
10	Виноградний пров.3;3-4	0,603	0,172	0,154	0,408	19,880	0,775
11	Пилипа Орлика3;4-5	0,807	0,347	0,150	0,800	8,978	0,535
12	Академіка Богом.4;3-4	0,641	0,193	0,123	0,366	38,271	0,807
13	Шовковична4;4-5	0,797	0,250	0,181	0,696	6,564	0,584
14	Шовковична4;5-1	0,640	0,206	0,143	0,456	11,780	0,740
15	Інститутська5;1-2	0,909	0,248	0,127	0,484	16,117	0,719
16	Інститутська5;2-3	0,629	0,286	0,130	0,571	8,571	0,661
17	Лютеранська5;6-7	0,724	0,374	0,152	0,437	7,523	0,753
18	Лютеранська5;7-8	0,746	0,331	0,119	0,303	10,156	0,855
19	Банкова5;8-1	0,709	0,226	0,148	0,516	28,250	0,697
20	Грушевського6;1-2	0,518	0,536	0,079	0,326	16,000	0,838
21	Шовковична6;2-3	0,676	0,385	0,078	0,462	22,619	0,740
22	Садова6;4-1	0,822	0,255	0,142	0,558	11,726	0,701
23	Грушевського7;1-2	0,445	0,455	0,065	0,227	19,429	0,907
24	Липська7;2-3	0,609	0,205	0,179	0,566	8,808	0,698
25	Грушевського8;1-2	0,387	0,560	0,115	0,496	13,871	0,725
	...						
373	бул. М.Міхновського125; 1-2	0,033	0,301	0,028	0,037	146,667	0,997
374	Микільсько- Хутірська125;2-3	0,189	0,106	0,055	0,179	56,610	0,941
375	Микільсько- Хутірська125;3-4	0,283	0,163	0,028	0,140	50,667	0,963
376	Землянська126;2-3	0,230	0,255	0,032	0,252	85,217	0,893
377	Пирятинська126;3-1	0,370	0,219	0,028	0,188	15,333	0,936

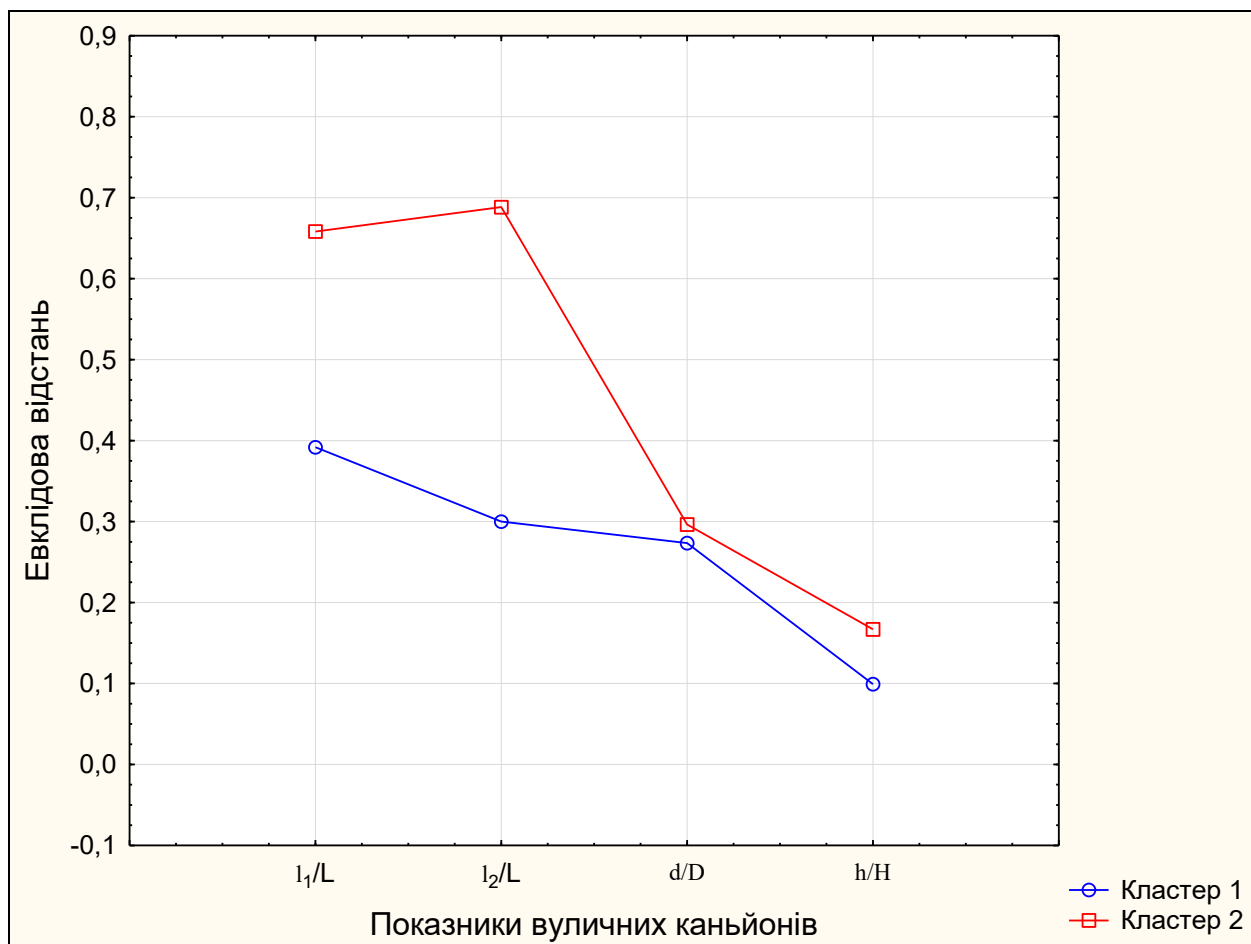
ДОДАТОК Б

**Карта-схема поділу вулично-дорожньої мережі Печерського району
міста Києва на вуличні каньйони**

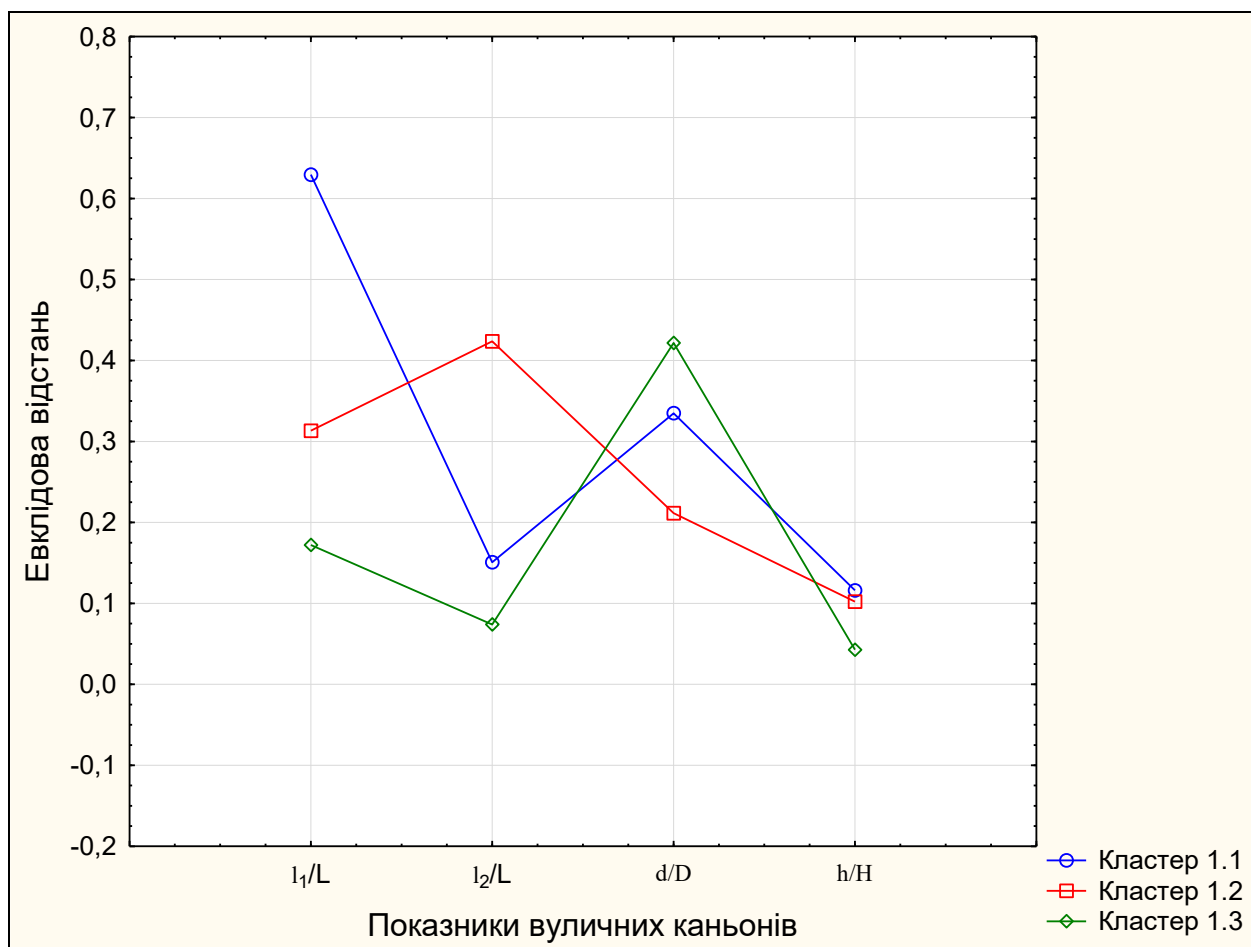


ДОДАТОК В

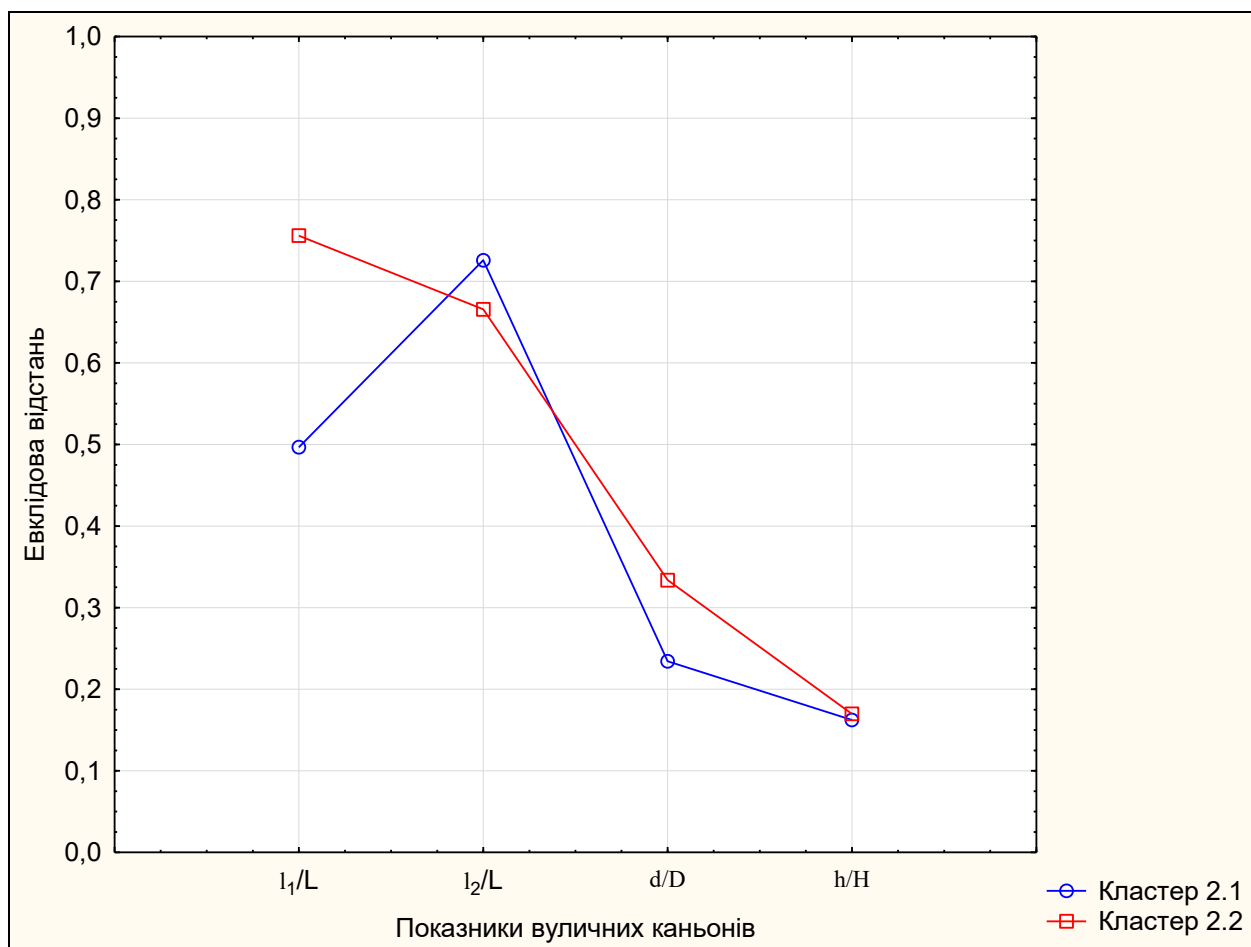
Результати класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників (кластери 1, 2)



Результати класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників (кластери 1.1, 1.2, 1.3)



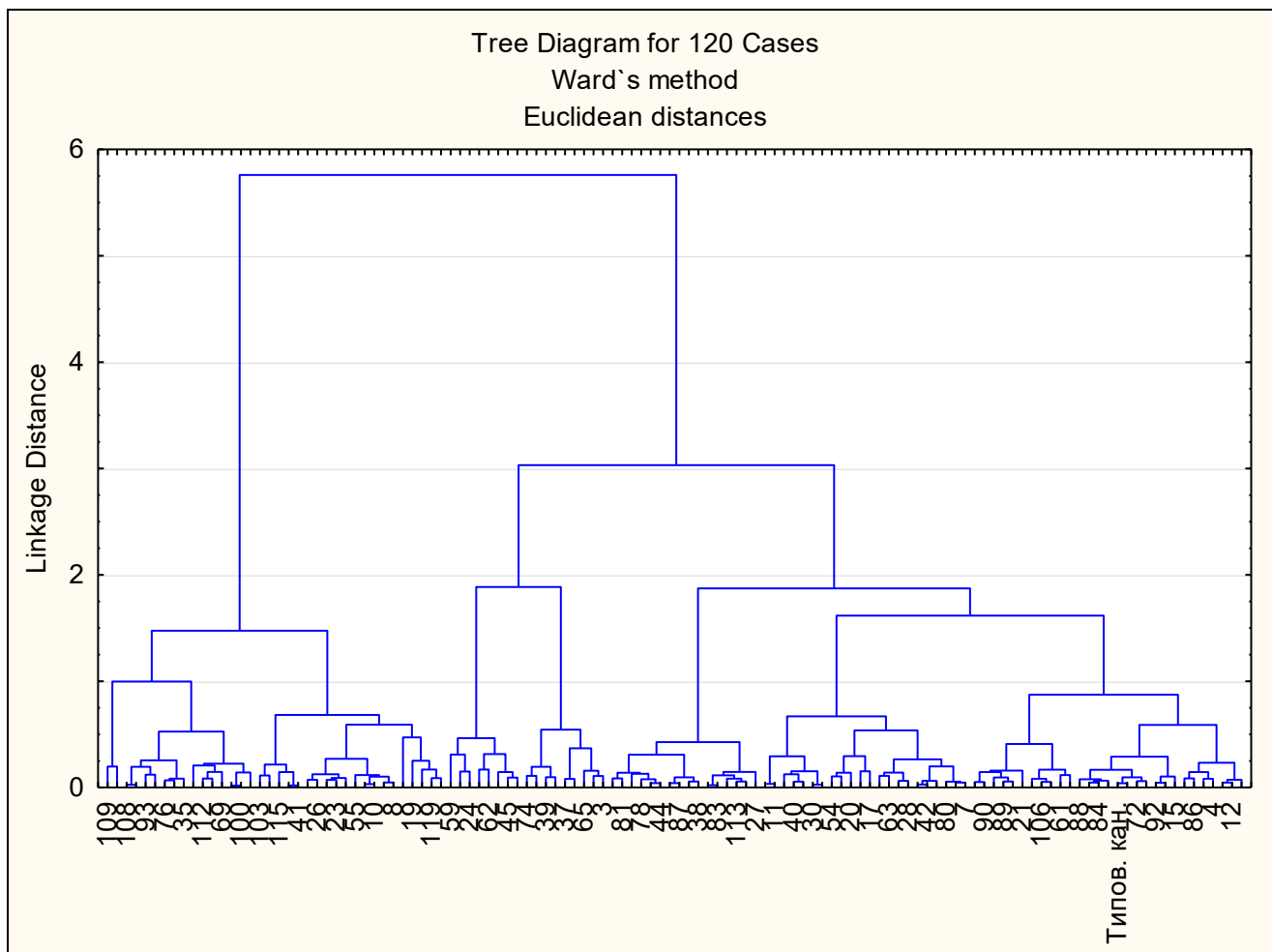
Результати класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників (кластери 2.1, 2.2)



ДОДАТОК Г

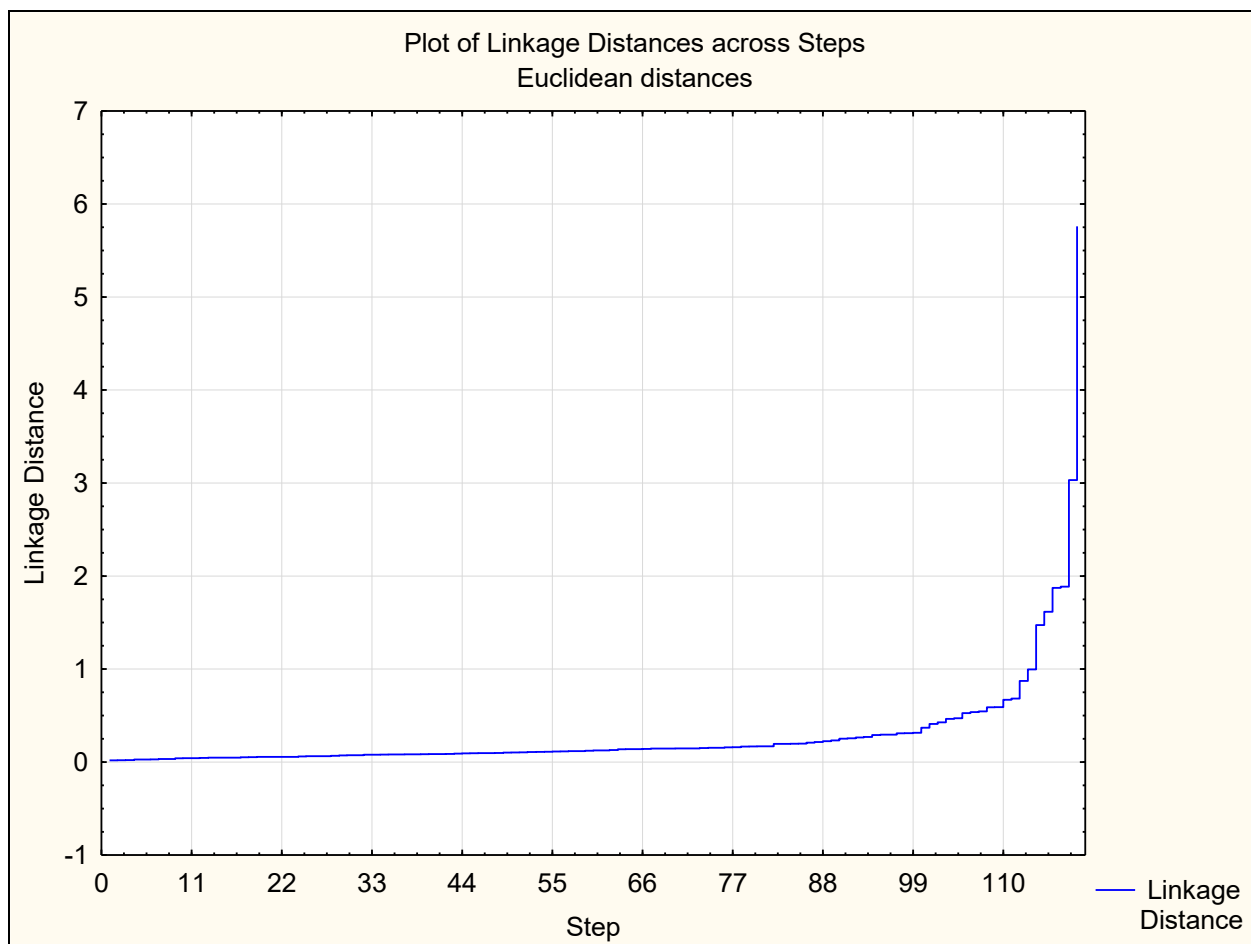
Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.1)

Дендограма вуличних каньйонів (кластер 2.1)



Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.1)

Графік покрокового об'єднання вуличних каньйонів у кластер



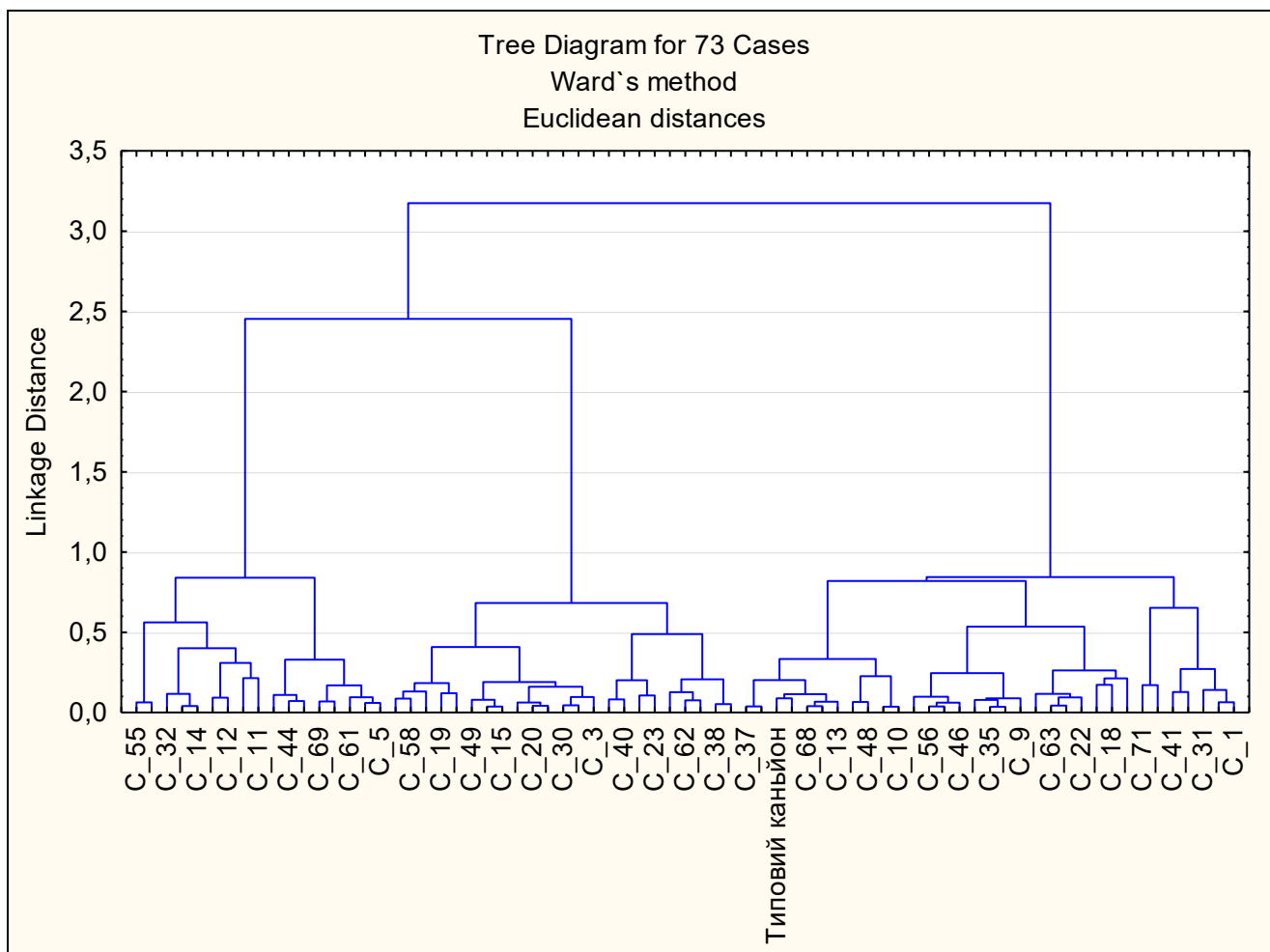
Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.1)

Матриця відстані розбіжності між показниками вуличних каньйонів

Case No.	Euclidean distances (Spreadsheet1)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,00	0,14	0,29	0,12	0,28	0,40	0,23	0,37	0,22	0,32	0,36	0,08	0,12	0,30	0,13	0,25	0,33
2	0,14	0,00	0,24	0,20	0,19	0,49	0,23	0,45	0,28	0,41	0,36	0,15	0,17	0,37	0,17	0,28	0,31
3	0,29	0,24	0,00	0,40	0,40	0,51	0,40	0,49	0,49	0,46	0,58	0,34	0,37	0,46	0,27	0,49	0,51
4	0,12	0,20	0,40	0,00	0,26	0,44	0,23	0,41	0,14	0,36	0,28	0,07	0,10	0,33	0,20	0,17	0,30
5	0,28	0,19	0,40	0,26	0,00	0,58	0,22	0,54	0,26	0,50	0,26	0,23	0,24	0,43	0,31	0,25	0,25
6	0,40	0,49	0,51	0,44	0,58	0,00	0,38	0,07	0,44	0,08	0,53	0,44	0,38	0,17	0,32	0,44	0,45
7	0,23	0,23	0,40	0,23	0,22	0,38	0,00	0,33	0,18	0,30	0,21	0,21	0,14	0,22	0,20	0,15	0,12
8	0,37	0,45	0,49	0,41	0,54	0,07	0,33	0,00	0,41	0,06	0,48	0,41	0,34	0,12	0,29	0,40	0,39
9	0,22	0,28	0,49	0,14	0,26	0,44	0,18	0,41	0,00	0,36	0,17	0,17	0,14	0,30	0,27	0,06	0,22
10	0,32	0,41	0,46	0,36	0,50	0,08	0,30	0,06	0,36	0,00	0,45	0,36	0,30	0,10	0,25	0,36	0,37
11	0,36	0,36	0,58	0,28	0,26	0,53	0,21	0,48	0,17	0,45	0,00	0,30	0,25	0,36	0,37	0,12	0,14
12	0,08	0,15	0,34	0,07	0,23	0,44	0,21	0,41	0,17	0,36	0,30	0,00	0,09	0,33	0,18	0,19	0,29
13	0,12	0,17	0,37	0,10	0,24	0,38	0,14	0,34	0,14	0,30	0,25	0,09	0,00	0,25	0,14	0,14	0,22
14	0,30	0,37	0,46	0,33	0,43	0,17	0,22	0,12	0,30	0,10	0,36	0,33	0,25	0,00	0,23	0,29	0,28
15	0,13	0,17	0,27	0,20	0,31	0,32	0,20	0,29	0,27	0,25	0,37	0,18	0,14	0,23	0,00	0,27	0,30
16	0,25	0,28	0,49	0,17	0,25	0,44	0,15	0,40	0,06	0,36	0,12	0,19	0,14	0,29	0,27	0,00	0,16
17	0,33	0,31	0,51	0,30	0,25	0,45	0,12	0,39	0,22	0,37	0,14	0,29	0,22	0,28	0,30	0,16	0,00
18	0,37	0,38	0,59	0,30	0,27	0,54	0,22	0,49	0,18	0,46	0,03	0,31	0,26	0,37	0,39	0,14	0,15
19	0,52	0,58	0,54	0,59	0,68	0,18	0,49	0,21	0,59	0,24	0,66	0,57	0,52	0,30	0,43	0,59	0,56
20	0,38	0,30	0,42	0,40	0,21	0,54	0,22	0,49	0,37	0,47	0,32	0,36	0,32	0,39	0,35	0,33	0,23
21	0,21	0,21	0,30	0,26	0,29	0,31	0,14	0,27	0,28	0,24	0,34	0,23	0,17	0,19	0,12	0,27	0,24
22	0,33	0,30	0,23	0,43	0,40	0,38	0,31	0,35	0,47	0,34	0,51	0,38	0,35	0,32	0,25	0,45	0,40
23	0,26	0,33	0,39	0,31	0,41	0,17	0,22	0,13	0,31	0,09	0,39	0,29	0,23	0,08	0,18	0,30	0,31
24	0,32	0,23	0,34	0,35	0,19	0,67	0,37	0,64	0,39	0,60	0,44	0,29	0,35	0,55	0,39	0,40	0,43
25	0,38	0,29	0,41	0,38	0,28	0,76	0,46	0,73	0,45	0,68	0,50	0,35	0,41	0,64	0,45	0,46	0,51
26	0,29	0,33	0,40	0,33	0,41	0,20	0,21	0,14	0,32	0,13	0,38	0,32	0,24	0,07	0,19	0,30	0,27
27	0,29	0,34	0,53	0,24	0,32	0,38	0,16	0,33	0,13	0,30	0,17	0,25	0,19	0,23	0,29	0,10	0,16
28	0,21	0,23	0,43	0,17	0,19	0,42	0,09	0,38	0,11	0,34	0,17	0,16	0,11	0,27	0,23	0,09	0,15
29	0,22	0,33	0,39	0,28	0,44	0,18	0,28	0,17	0,30	0,12	0,42	0,27	0,23	0,16	0,18	0,31	0,37
30	0,21	0,26	0,48	0,13	0,25	0,44	0,18	0,40	0,03	0,36	0,17	0,15	0,12	0,30	0,26	0,05	0,21
31	0,26	0,25	0,47	0,20	0,14	0,52	0,16	0,47	0,14	0,43	0,13	0,20	0,17	0,36	0,30	0,11	0,16
32	0,16	0,16	0,16	0,27	0,32	0,38	0,26	0,35	0,35	0,31	0,44	0,22	0,22	0,30	0,11	0,35	0,37
33	0,57	0,57	0,47	0,65	0,65	0,39	0,51	0,37	0,66	0,40	0,70	0,61	0,57	0,41	0,47	0,65	0,58

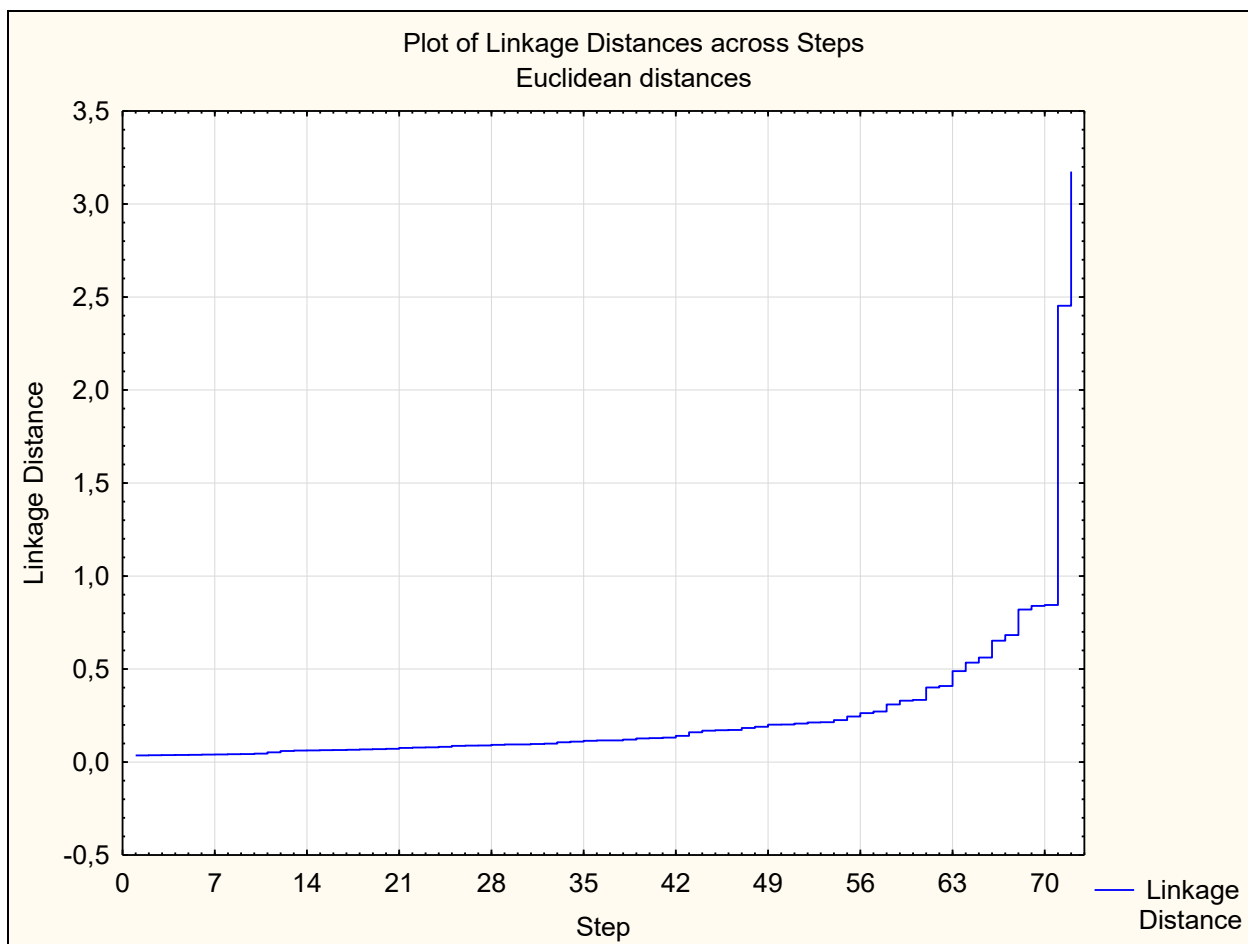
Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.2)

Дендограма вуличних каньйонів (кластер 2.2)



Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.2)

Графік покрокового об'єднання вуличних каньйонів у кластер



Результати визначення типових вуличних каньйонів на основі агломеративно-ієрархічного методу (кластер 2.2)

Матриця відстані розбіжності між показниками вуличних каньйонів

Case No.	Euclidean distances (Spreadsheet1)															
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_10	C_11	C_12	C_13	C_14	C_15	C_16
C_1	0,00	0,26	0,28	0,16	0,23	0,37	0,30	0,26	0,14	0,25	0,44	0,27	0,15	0,18	0,21	0,25
C_2	0,26	0,00	0,16	0,14	0,22	0,27	0,30	0,13	0,35	0,30	0,40	0,20	0,25	0,28	0,19	0,21
C_3	0,28	0,16	0,00	0,19	0,25	0,13	0,15	0,09	0,32	0,26	0,50	0,32	0,21	0,34	0,12	0,29
C_4	0,16	0,14	0,19	0,00	0,11	0,28	0,26	0,14	0,26	0,19	0,35	0,17	0,14	0,15	0,15	0,13
C_5	0,23	0,22	0,25	0,11	0,00	0,29	0,30	0,17	0,31	0,15	0,29	0,18	0,17	0,15	0,19	0,10
C_6	0,37	0,27	0,13	0,28	0,29	0,00	0,13	0,16	0,38	0,25	0,54	0,41	0,24	0,40	0,18	0,34
C_7	0,30	0,30	0,15	0,26	0,30	0,13	0,00	0,20	0,27	0,22	0,58	0,42	0,18	0,37	0,15	0,36
C_8	0,26	0,13	0,09	0,14	0,17	0,16	0,20	0,00	0,32	0,22	0,42	0,25	0,18	0,28	0,10	0,21
C_9	0,14	0,35	0,32	0,26	0,31	0,38	0,27	0,32	0,00	0,27	0,55	0,38	0,16	0,28	0,23	0,36
C_10	0,25	0,30	0,26	0,19	0,15	0,25	0,22	0,22	0,27	0,00	0,40	0,32	0,12	0,21	0,20	0,22
C_11	0,44	0,40	0,50	0,35	0,29	0,54	0,58	0,42	0,55	0,40	0,00	0,27	0,45	0,28	0,47	0,22
C_12	0,27	0,20	0,32	0,17	0,18	0,41	0,42	0,25	0,38	0,32	0,27	0,00	0,30	0,20	0,28	0,14
C_13	0,15	0,25	0,21	0,14	0,17	0,24	0,18	0,18	0,16	0,12	0,45	0,30	0,00	0,21	0,12	0,24
C_14	0,18	0,28	0,34	0,15	0,15	0,40	0,37	0,28	0,28	0,21	0,28	0,20	0,21	0,00	0,27	0,13
C_15	0,21	0,19	0,12	0,15	0,19	0,18	0,15	0,10	0,23	0,20	0,47	0,28	0,12	0,27	0,00	0,25
C_16	0,25	0,21	0,29	0,13	0,10	0,34	0,36	0,21	0,36	0,22	0,22	0,14	0,24	0,13	0,25	0,00
C_17	0,19	0,27	0,30	0,18	0,19	0,36	0,33	0,24	0,23	0,26	0,42	0,21	0,19	0,22	0,19	0,25
C_18	0,38	0,45	0,34	0,37	0,35	0,27	0,20	0,34	0,31	0,22	0,61	0,52	0,24	0,42	0,29	0,43
C_19	0,35	0,20	0,14	0,22	0,22	0,12	0,22	0,11	0,40	0,24	0,44	0,32	0,25	0,34	0,19	0,25
C_20	0,26	0,10	0,13	0,13	0,16	0,20	0,24	0,04	0,33	0,23	0,39	0,21	0,20	0,27	0,13	0,19
C_21	0,16	0,34	0,31	0,24	0,28	0,35	0,26	0,29	0,07	0,25	0,54	0,36	0,15	0,28	0,20	0,34
C_22	0,26	0,41	0,32	0,32	0,35	0,33	0,21	0,33	0,15	0,25	0,62	0,47	0,18	0,37	0,24	0,42
C_23	0,35	0,19	0,20	0,21	0,19	0,21	0,28	0,12	0,40	0,26	0,40	0,25	0,26	0,32	0,19	0,23
C_24	0,35	0,12	0,16	0,21	0,23	0,22	0,29	0,11	0,42	0,31	0,41	0,25	0,29	0,34	0,21	0,24
C_25	0,25	0,10	0,08	0,16	0,24	0,20	0,21	0,09	0,31	0,28	0,47	0,27	0,21	0,31	0,12	0,26
C_26	0,24	0,35	0,25	0,27	0,29	0,25	0,14	0,26	0,17	0,21	0,58	0,42	0,13	0,34	0,17	0,37
C_27	0,35	0,26	0,24	0,21	0,15	0,22	0,28	0,19	0,40	0,17	0,34	0,30	0,24	0,27	0,24	0,19
C_28	0,43	0,49	0,55	0,38	0,30	0,57	0,57	0,47	0,49	0,36	0,25	0,34	0,42	0,28	0,47	0,30
C_29	0,35	0,41	0,52	0,33	0,32	0,59	0,58	0,45	0,46	0,42	0,21	0,26	0,42	0,21	0,47	0,26
C_30	0,22	0,11	0,09	0,13	0,20	0,20	0,19	0,07	0,27	0,24	0,46	0,25	0,17	0,28	0,08	0,24
C_31	0,12	0,31	0,32	0,23	0,29	0,40	0,32	0,30	0,12	0,31	0,52	0,31	0,20	0,27	0,23	0,33
C_32	0,22	0,35	0,41	0,22	0,20	0,46	0,43	0,35	0,30	0,25	0,29	0,24	0,26	0,08	0,33	0,20
C_33	0,23	0,24	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,14	0,25	0,10	0,44	0,30	0,09	0,25	0,10	0,23
C_34	0,23	0,26	0,22	0,16	0,13	0,23	0,21	0,16	0,24	0,13	0,42	0,27	0,11	0,23	0,12	0,22

ДОДАТОК Д

Описова статистика результатів класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників

Середні значення та показники варіації структурно-екологічних показників для кластерів 1 та 2

Variable	Analysis of Variance (Spreadsheet1)					
	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
I1/L	6,68386	1	13,59120	375	184,4169	0,000000
I2/L	14,21478	1	11,12790	375	479,0251	0,000000
d/D	0,04939	1	9,50450	375	1,9488	0,163541
h/H	0,43159	1	2,88839	375	56,0337	0,000000

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 1 Cluster contains 186 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,391796	0,215353	0,046377
I2/L	0,300049	0,195965	0,038402
d/D	0,273438	0,186747	0,034874
h/H	0,099288	0,101483	0,010299

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 2 Cluster contains 191 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,658120	0,162408	0,026376
I2/L	0,688438	0,145520	0,021176
d/D	0,296332	0,126756	0,016067
h/H	0,166964	0,071932	0,005174

Описова статистика результатів класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників

Середні значення та показники варіації структурно-екологічних показників для кластеру 1

Variable	Analysis of Variance (Spreadsheet1)					
	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
I1/L	4,890597	2	3,689095	183	121,3006	0,000000
I2/L	4,019917	2	3,084513	183	119,2481	0,000000
d/D	1,107874	2	5,343881	183	18,9694	0,000000
h/H	0,087053	2	1,818226	183	4,3808	0,013854

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 1.1 Cluster contains 56 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,629486	0,130261	0,016968
I2/L	0,150742	0,139668	0,019507
d/D	0,334741	0,218010	0,047528
h/H	0,116179	0,070788	0,005011

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 1.2 Cluster contains 108 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,313285	0,150763	0,022730
I2/L	0,423528	0,127240	0,016190
d/D	0,211475	0,104451	0,010910
h/H	0,102041	0,117344	0,013770

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 1.3 Cluster contains 22 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,172182	0,124172	0,015419
I2/L	0,073931	0,115323	0,013299
d/D	0,421573	0,272768	0,074402
h/H	0,042777	0,057432	0,003298

Описова статистика результатів класифікації вуличних каньйонів на основі структурно-екологічних показників

Середні значення та показники варіації структурно-екологічних показників для кластеру 2

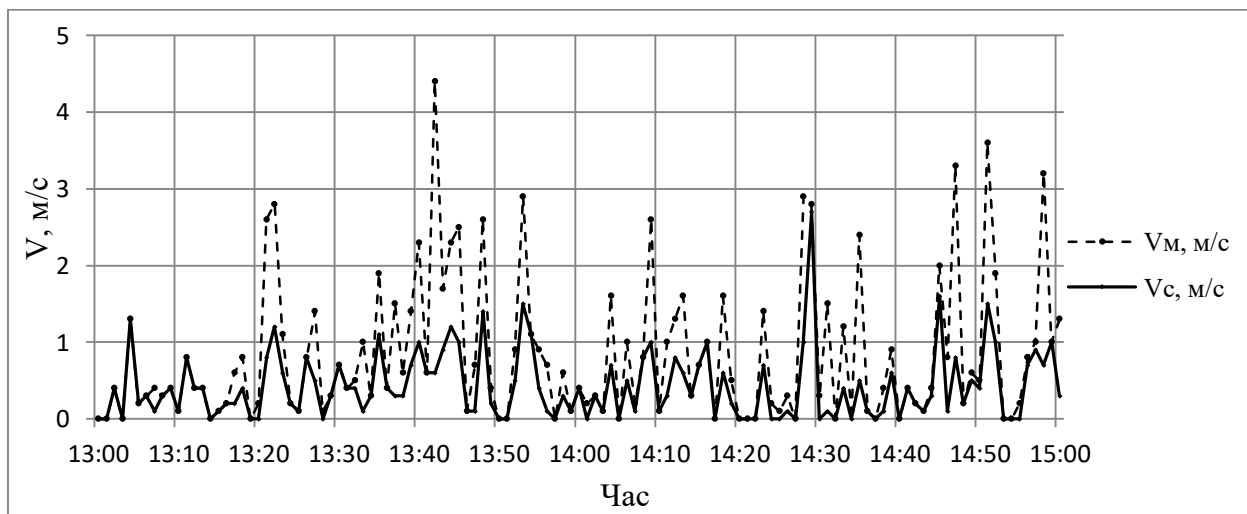
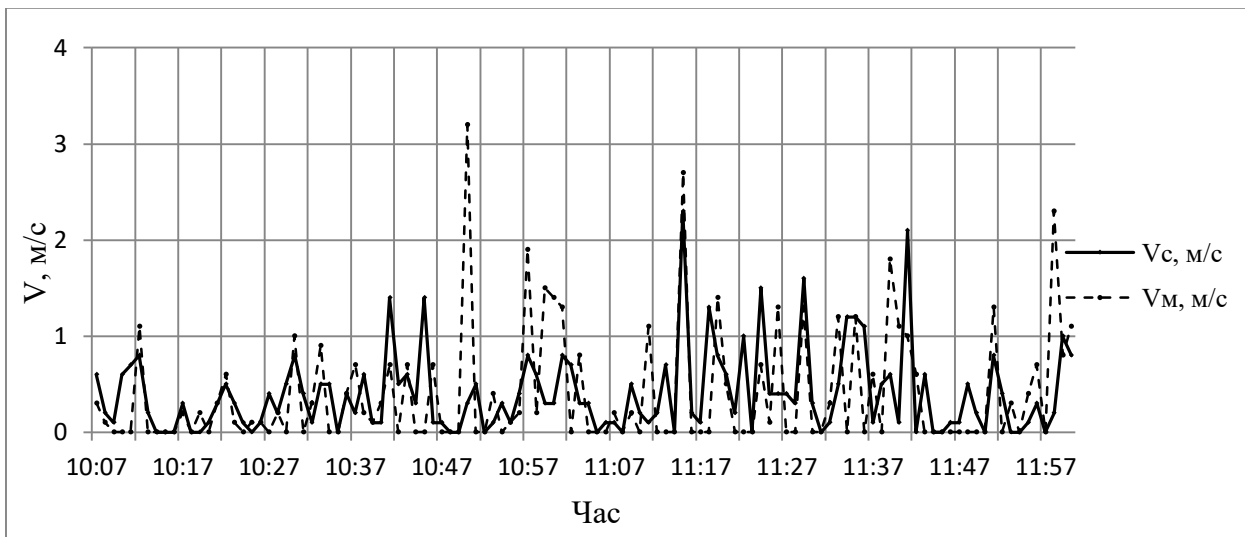
Variable	Analysis of Variance (Spreadsheet1)					
	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
I1/L	3,015456	1	1,996048	189	285,5248	0,000000
I2/L	0,162245	1	3,861219	189	7,9416	0,005345
d/D	0,444677	1	2,608064	189	32,2247	0,000000
h/H	0,002452	1	0,980656	189	0,4727	0,492606

Variable	Descriptive Statistics for Cluster 2.1 Cluster contains 72 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,496585	0,120797	0,014592
I2/L	0,725908	0,127984	0,016380
d/D	0,234300	0,084967	0,007219
h/H	0,162357	0,065898	0,004343

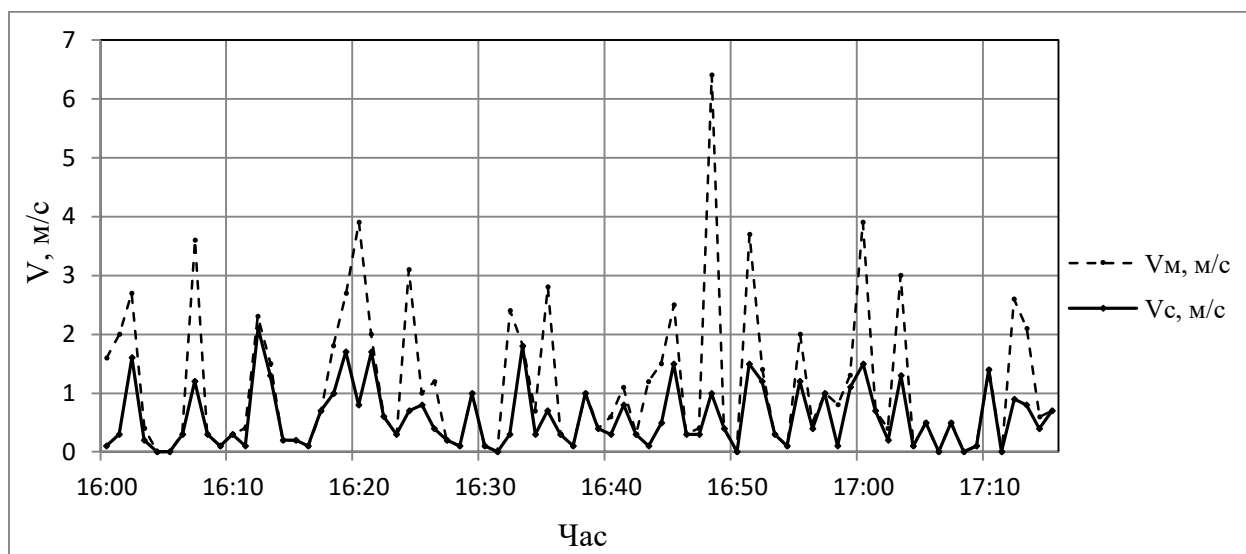
Variable	Descriptive Statistics for Cluster 2.2 Cluster contains 119 cases		
	Mean	Standard Deviation	Variance
I1/L	0,755856	0,090198	0,008136
I2/L	0,665768	0,151217	0,022867
d/D	0,333864	0,133261	0,017758
h/H	0,169751	0,075483	0,005698

ДОДАТОК Е

Дослідження динаміки швидкості та напрямку вітру у вуличних каньйонах (середні та миттєві значення швидкості вітру, вул. І. Кудрі)



Дослідження динаміки швидкості та напрямку вітру у вуличних каньйонах (середні та миттєві значення швидкості вітру, вул. І. Кудрі)



ДОДАТОК Ж

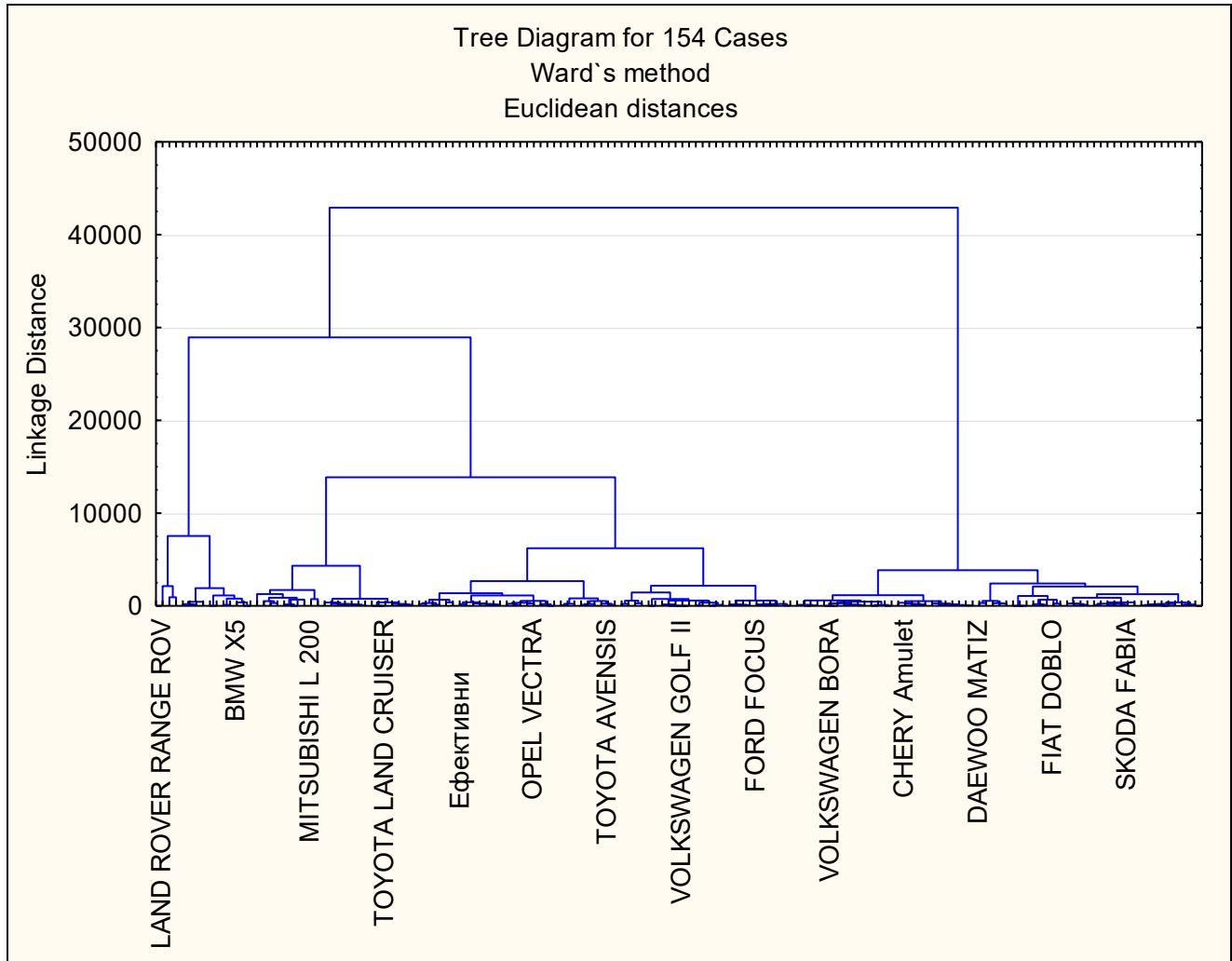
Техніко-експлуатаційні характеристики ТЗ категорії М1

№	Модель ТЗ	Кількіс ть	Час розгону до 100 км, с	Об'єм двигун, см3	Макс. потужн, к.с.	Витр. палива в місті, л/100км	Витр. палива поза містом, л/100км	Змішана витрата палива, л/100км	Макс. маса, кг	Спор. маса, кг	Довжин, мм	Ширина, мм	Висота, мм
1	BA3 2101	28166	22	1198	58	9,4	6,9	9,2	1380	955	4073	1611	1440
2	DAEWOO LANOS	27253	12,5	1498	86	10,6	5,7	7,9	1540	1086	4234	1679	1433
3	CHEVROLET Aveo	17856	11,9	1399	99	7,9	4,6	5,7	1540	1100	3919	1679	1219
4	BA3 2106	17259	16	1600	75	10,3	7,4	10	1435	1035	4166	1611	1440
5	SKODA OCTAVIA	14440	14,1	1595	102	11,2	6,1	7,9	1850	1315	4569	1769	1462
8	VOLKSWAGEN PASSAT	12322	9	1798	152	9,8	5,7	7,2	2000	1558	4771	1820	1516
9	SKODA FABIA	12181	12,3	1390	86	8,6	5,3	6,5	1590	1075	4000	1642	1498
10	CHEVROLET LACETTI	10915	11,5	1598	109	11,4	6,1	8,1	1660	1185	4295	1725	1445
11	BA3 2107	10320	16	1568	73	9,2	6,4	8,5	1460	1060	4145	1620	1446
14	OPEL ASTRA	9420	12,7	1598	115	8,6	5,1	6,4	1730	1300	4587	1753	1447
15	DAEWOO SENS	8598	17	1299	70	8,9	5,5	6,7	1400	1010	4237	1678	1432
...													
144	HYUNDAI MATRIX	1423	12,7	1599	103	9,1	6,3	7,3	1800	1223	4026	1740	1636
145	MITSUBISHI L 200	1419	14,6	2477	136	10,7	7,5	8,7	2850	1935	5000	1800	1780
146	SUZUKI SWIFT	1419	11	1590	92	7,2	5,1	6,5	1290	850	4100	1580	1379
147	MAZDA CX-7	1416	8,3	2261	238	15,3	9,3	11,5	2270	1802	4680	1870	1645
148	KIA MAGENTIS	1405	10,4	2359	175	10,7	7,4	8,5	1850	1432	4801	1806	1481
149	BA3 21124	1376	14	1500	70	8,7	5,7	7,7	1395	970	4205	1620	1402
150	NISSAN PRIMERA	1340	10,8	1870	120	7,3	4,8	5,7	1940	1388	4569	1760	1481
151	ГАЗ 3102	1323	22	2445	100	14	11	12	1850	1450	4885	1800	1475
152	PORSCHE CAYENNE	1316	7,8	3598	300	13,2	8	9,9	2800	2170	4846	1939	1705
153	BA3 21112	1298	12	1598	89	7,7	5,5	7,2	1610	1210	4265	1680	1420

ДОДАТОК 3

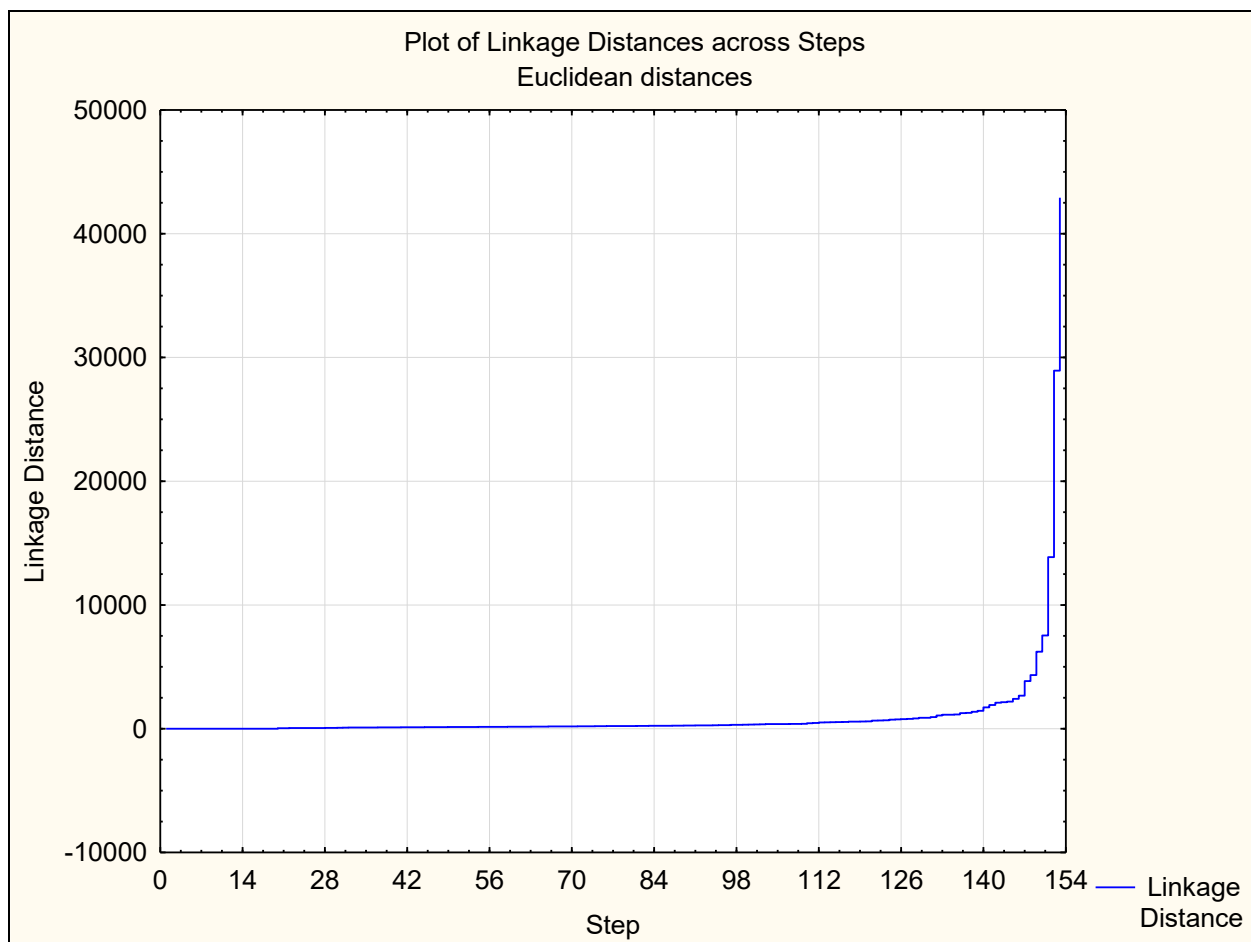
Результати визначення ефективного ТЗ категорії М1 на основі агломеративно-ієрархічного методу

Дендограма ТЗ категорії М1



**Результати визначення ефективного ТЗ категорії М1 на основі
агломеративно-ієрархічного методу**

Графік покрокового об'єднання ТЗ у кластер



Додаток К

Акти впровадження (використання) результатів дисертаційного дослідження:

1. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в комунальному підприємстві "Київпаstrans" (КП "Київпаstrans" , м. Київ);
2. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в Публічному акціонерному товаристві "Київська виробнича компанія "Рapid"" (ПАТ "Київська виробнича компанія "Рapid", м. Київ);
3. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у навчальному процесі Національного транспортного університету (НТУ, м. Київ).



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор з економіки та фінансів

КП «Київпавстрас»

Антоніна Старостенко

« 07 » 03 2024р.

АКТ

Про впровадження результатів

дисертаційної роботи Є.С. Самойленко «Удосконалення методу оцінки впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста» для здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи

Даний акт підтверджує, що в КП «Київпавстрас» впроваджені основні положення та практичні рекомендації щодо розробки та вдосконалення методу оцінки впливу транспортних потоків на довкілля вулично-дорожньої мережі міста.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні методу оцінки та прогнозування впливу транспортних потоків на довкілля вулично-дорожньої мережі, а також завчасне виявлення і попередження ситуації, за якої концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення.

Впровадження зазначених результатів дає можливість оперативно оцінювати рівень забруднення атмосфери вулиць міст, визначати пробігові викиди забруднюючих речовин від транспорту підприємства, що в свою чергу дозволить підвищити ефективність моніторингу стану вулично-дорожньої мережі та скоротити непередбачувані витрати на 2,6%.

Головний інженер автобусного парку №5

Ігор ШТОЛЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Заступник генерального директора
 АТ «Київська виробнича компанія «РАПІД»
 Гриненко В.Д.
 «02» 2024р.

АКТ

Про впровадження результатів
 дисертаційної роботи Є.С. Самойленко «Удосконалення методу оцінки
 впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста»
 для здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
 за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи

Даний акт підтверджує що отримані автором дисертації Самойленком Євгеном Сергійовичем наукові результати, а саме метод оцінки впливу транспортних потоків на довкілля при різних режимах їх динаміки шляхом розробки кількісного підходу дослідження екологічної ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста, було впроваджено на підприємстві у 2022-2023 році.

Впровадження зазначених результатів дозволило: оперативно визначати та прогнозувати концентрацію забруднюючих речовин у вуличних каньйонах міста, визначати пробігові викиди забруднюючих речовин від транспорту підприємства, будувати карти забруднення вулиць міст з використанням геоінформаційних систем.

Зазначене дозволяє відслідковувати якість атмосферного повітря та завчасно попереджати критичні ситуації, за яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично-допустимі значення, отже підвищити ефективність управління екологічним станом вулично-дорожньої мережі та скоротити непередбачувані витрати на 2,6%

Заступник начальника автоколонії №5



Белан А.І.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчальної роботи

Національного транспортного університету

проф. Харута В.С.

« 12 » 03 2024р.

Про впровадження в освітній процес результатів
дисертаційної роботи Є.С. Самойленка «Удосконалення методу оцінки
впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста»
для здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи»

Починаючи з 2020-2021 навчального року по теперішній час в освітньому процесі кафедри менеджменту факультету менеджменту, логістики та туризму Національного транспортного університету використовуються науково-методичні та практичні рекомендації, що містяться в дисертаційній роботі здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи» Самойленка Євгена Сергійовича.

Так, метод оцінки впливу транспортного потоку на довкілля вулично-дорожньої мережі міста впроваджено в освітній процес при викладанні дисципліни «Екологічний менеджмент» для здобувачів першого (бакалаврського) кваліфікаційного рівня вищої освіти освітньої програми «Менеджмент природоохоронної діяльності» спеціальності 073 Менеджмент та здобувачів другого (магістерського) кваліфікаційного рівня вищої освіти освітньої програми «Менеджмент природоохоронної діяльності» спеціальності 073 Менеджмент.

Також, при викладанні освітньої компоненти «Управління природоохоронною діяльністю» для здобувачів першого (бакалаврського) кваліфікаційного рівня вищої освіти всіх освітніх програм спеціальності 073 Менеджмент, використовуються розроблені в дисертаційному дослідженні Самойленка Є.С. метод оцінки інтенсивності викидів забруднюючих речовин транспортним потоком на основі концепції «ефективного» транспортного засобу.

Включення матеріалів і результатів дисертаційного дослідження Самойленка Євгена Сергійовича, які мають наукову новизну і практичну цінність, в освітній процес кафедри менеджменту Національного транспортного університету сприяють його поліпшенню і подальшому удосконаленню.

Декан факультету менеджменту,
логістики та туризму к.т.н., професор

О.О.Бакуліч

Завідувач кафедри менеджменту
д.е.н., професор

О.М.Ложачевська

Підпис завіряю

Начальник відділу кадрів НТУ

М.С.Медведь



Додаток Л

Отримані патенти на винаходи (корисні моделі):

1. Патент на корисну модель №95713 Україна МПК (2015.01) E01C 1/00. Спосіб оцінки потужності джерела забруднення / Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. – №201402498; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015 р.



(11) 95713

(19) UA

(51) МПК (2015.01)
E01C 1/00

(21) Номер заявки: u 2014 02498

(22) Дата подання заявки: 13.03.2014

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 12.01.2015(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 12.01.2015,
Бюл. № 1(72) Винахідники:
Бакуліч Олена
Олександрівна, UA,
Олійник Ростислав
Васильович, UA,
Самойленко Євген
Сергійович, UA(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОЦІНКИ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб оцінки потужності джерела забруднення, при якому проводять оцінку інгредієнтного та параметричного забруднення від автотранспортних засобів різних марок, моделей, що відповідають різним екологічним нормам, який відрізняється тим, що потужність джерела інгредієнтного та параметричного забруднення оцінюють від "ефективного" автотранспортного потоку, кількісний склад якого (інтенсивність) встановлюють шляхом автоматизованого моніторингу реального автотранспортного потоку, а якісний склад (категорії) приймаються як "ефективні" автотранспортні засоби відповідних категорій, для яких потужність джерела забруднення оцінюють шляхом вимірювання екологічних показників (масові викиди, рівень шуму, вібрації, теплове забруднення) реального автотранспортного засобу, техніко-експлуатаційні характеристики якого відповідають середньозваженим техніко-експлуатаційним характеристикам автомобілів даної категорії.

