

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ТАТАРЧЕНКО ГАЛИНА ОЛЕГІВНА**


УДК 711.55,73: 502.3: 504:5,61

ДИСЕРТАЦІЯ  
**МІСТОБУДІВНІ ТА ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ  
НОРМАЛІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ  
ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ КРУПНИХ МІСТ**

05.23.20 – містобудування та територіальне планування  
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

 Г. О. Татарченко

Науковий консультант Дьомін Микола Мефодієвич  
доктор архітектури, професор

Київ – 2023

Ідентичний за змістом з іншими примірниками дисертації.  
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Анненков А. О.

## АНОТАЦІЯ

*Татарченко Г.О.* Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.20 – містобудування та територіальне планування. – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2023.

У роботі отриманні теоретичні і практичні результати щодо вирішення науково-прикладної проблеми відновлення й збереження нормативного стану повітряного простору примагістральної території та забезпечення сталого розвитку міст з урахуванням основних принципів його планування, побудови та екологічних вимог.

На базі наукових досліджень запропонована концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій «людина ↔ довкілля ↔ транспорт», згідно з якою, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження і захисту системної цілісності цих об'єктів, в рамках якої розроблена інфологічна модель збереження чистого повітря урбанізованих територій «населення ↔ повітряний простір ↔ примагістральні території», що дозволяє визначити основні конструктивні елементи та зв'язки між ними та є базою в формуванні теоретичних засад.

Сформульовані основні умови сталої роботи автотранспорту та збереження чистого повітря урбанізованих територій: оптимізація дорожньої мережі та контроль у використанні транспортних засобів; міське планування з високою щільністю забудови та розумні стратегії комунікації; розвиток міст, орієнтований на громадський транспорт та заохочення пішохідного та велосипедного руху; удосконалення громадського транспорту та просування екологічних транспортних засобів, що дозволяє визначити основні шляхи у містобудуванні.

Встановлено, що забруднюючі гази в основному стеляться вздовж траси на десятки та сотні кілометрів, також поступово поширюючись перпендикулярно до дороги. Дальність поширення автомобільних викидів залежить від погоди, напряму та швидкості вітру, рельєфу місцевості, присутності водойм, температури. Все це є специфічними умовами розсіювання забруднюючих речовин, які значно впливають на міський клімат, створюючи контрастні мікрокліматичні зони. Інтенсивність самоочищення атмосфери на міській території визначається, з одного боку, швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що формує вітровий потік.

З метою підвищення якості повітря приміагістральних міських вулиць запропоновано дотримуватися принципу рівноваги між необхідним обсягом повітряного басейну та максимальною інтенсивністю запланованого автомобільного трафіку. Співвідношення кількості викидів забруднюючих речовин до кількості повітря має перевищувати 1/1000. Принцип рівноваги покладено в основу методології нормалізації повітря та методів прогнозування, збереження його складу та захисту від викидів токсичних компонентів автотранспорту. При неможливості виконання цих умов необхідно вводити додаткові обмежувальні заходи або очисні споруди.

Запропоновано параметр проникності території, який запроваджено для оцінки продувності міської забудови щодо вітрового потоку, використовувати як коефіцієнт забруднення атмосферного повітря від викидів автомобільного транспорту та використовувати його для оцінки потенціалу забруднення міських територій, управління якістю атмосферного повітря. Найбільша площа ділянок підвищеної концентрації токсичних викидів утворюється при замкнутій та фронтальній забудовах приміагістральних територій, проте екранування забруднених повітряних потоків може досягати 95%.

Отримані теоретичні та експериментальні результати використання світлових полів завдяки проходженню Лагер-Гаусового пучка крізь подвійний фазовий клин з метою моніторингу та очищення повітря замкненого простору від мікрочастинок та мікроорганізмів. Запропоновано метод контролю чистоти повітря за допомогою

лічильника мікрочастинок, який заснований на створенні відповідної тривимірної конфігурації лазерного поля, що дозволяє керувати мікрооб'єктами.

Виявлено, що існує "ланцюг територій" з посиленою дегазацією оксидів вуглецю, яка пов'язана з енергією, що виникає в надрах Землі - "холодне "дихання" і проявляється особливо в місцях, де були або є вугільні виробітки, розвивається нерівномірно - просторово та в часі, з ритмами ендегенної активності Землі. Згідно з отриманими результатами, зміна та поширення забруднення повітряного басейну оксидом вуглецю йде хвилеподібно, пік хвилі концентрації зміщується в середньому зі швидкістю 34 км/год. Середні показники вмісту природних та антропогенних викидів уздовж "ланцюга територій", перевищують у 2-3 рази.

Визначено, що на окремих ділянках приміагістральних територій (місцях зупинок громадського транспорту, на перехрестях, транспортних вузлах, місцях концентрації транспорту під час пікового навантаження) дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень, дистанційного зондування та розрахунків за чинними методами значно відрізняються тому необхідний додатковий контроль. При вирішенні питань розміщення таких місць слід враховувати напрямок та швидкість руху вітру, у зв'язку із збільшенням зони забруднення вдвічі-втричі.

На основі аналізу фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту на магістральних мережах і розрахунків потужності емісії й концентрації забруднюючих речовин атмосферного повітря токсичними компонентами відпрацьованих автомобільних газів виявлено, що найбільш небезпечним для житлової забудови є оксиди азоту, особливо у дощову погоду, коли їх фактичний вміст перевищує гранично допустиму концентрацію у 7-10 разів та створює велику шкоду здоров'ю громадян і навколишньому середовищу.

Розроблено модель забруднення оксидами азоту магістральних територій міста, а саме, залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності транспортних засобів, яка може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря. Запропоновано зонування приміагістральних територій міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту: зони безпечні, низької безпеки та небезпечні. Визначено співвідношення між інтенсивністю руху



транспортних засобів на міській магістралі та відстані, де досягаються гранично допустимі норми щодо викидів оксиду азоту, що дозволяє розраховувати санітарно-захисні зони – території навколо магістральних вузлів.

Представлено практичні шляхи щодо досягнення стійкого міського повітряного басейну з точки зору його забруднення: створення зон малих викидів - Low Emission Zone (LEZ); створення зелених зон; заохочення активних видів транспорту; перерозподіл суспільного простору; просування громадського транспорту; створення очисних споруд; вдосконалення транспортної політики - податки та технологічне управління дорогами.

Запропоновано та задекларовано спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонових технологій, який забезпечує отримання ефекту з очищення повітря на міських магістралях, примагістральних територіях.

Розроблено та задекларовано конструкційну модель очисної установки, яка призначена для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилу. З точки зору економічної ефективності та можливостей апаратного оформлення технологічного процесу вигідним є пристрій із поєднаними процесами мокрого пиловловлення та озонування, тобто з механічною та хімічною стадіями очищення. Розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря, що складається з чотирьох стадій, на кожній з яких визначено основні елементи та умови роботи очисних споруд на міських територіях.

З метою врахування аварійної ситуації викиду установкою озону проведено моделювання процесу розсіювання озону на території міста, яке дозволяє отримати просторові профілі максимальної концентрації озону вздовж та перпендикулярно вітрового потоку, визначити відстані, де будуть досягатися допустимі його значення та санітарно-захисні зони. Максимальна концентрація озону вздовж осі ОХ (вітрового потоку) буде досягатися на відстані 50 м від джерела викиду, знижуючись до допустимого значення на відстані близько 500 м, в той же час при поперечному

розсіюванні вздовж осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) нормативне значення досягається з відривом 30 м.

Отримані просторові профілі дозволяють визначити раціональні та економічно вигідні комплекси заходів, які можуть забезпечити необхідну чистоту повітряного басейну, допомогти фахівцям розробляти ефективніші проекти з урахуванням контролю за забрудненням повітря та «розумною» організацією дорожнього руху. Економічна ефективність від впровадження очищувальних установок у міські системи виявлятиметься, перш за все, у підвищенні екологічної безпеки населення, зниження захворюваності.

Запропоновано та розраховано об'ємно-просторову концептуальну модель спеціальної очисної споруди, яка заснована на авторській інтерпретації кожного з елементів, і всієї структури в цілому за принципом геометричного структурування. Проведені розрахунки об'ємно-просторової концептуальної моделі-композиції спеціальної очисної споруди за трьома видами навантаження на конструкцію, а саме: постійним – власна вага конструкції; тимчасовим – снігове навантаження; миттєвим – вітер зліва (справа) показують задовільні характеристики обраної конструкції й дозволяють рекомендувати її до використання. Представлено обладнання спеціальної очисної споруди та її техніко-економічні показники, які також дозволяють рекомендувати її до використання.

**Ключові слова:** містобудування, крупні міста, сталий розвиток, примігстральні території, вплив автотранспорту на екологію міст, забруднюючі речовини, моделювання розсіювання, територіальне планування, методи та технології нормалізації повітря.

## ANNOTATION

*Tatarchenko H.O.* Urban-planning and chemical-technological foundations of the methodology for normalizing the air space of the mains areas of large cities. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition for scientific degree for Doctor of Technical Science Degree in speciality 05.23.20 - Urban Planning and Territorial Planning. - Kyiv National

University of Construction and Architecture, Kyiv. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

In the work, theoretical and practical results are obtained regarding the solution of the scientific and applied problem of restoration and preservation of the normative state of the airspace of the main highway territory and ensuring the sustainable development of cities, taking into account the basic principles of its planning, construction and environmental requirements.

On the basis of scientific research, a conceptual model of the transition to a sustainable equilibrium state of urbanized territories "human ↔ environment ↔ transport" is proposed, according to which it is necessary to solve the threefold task of coexistence, preservation and protection of the systemic integrity of these objects, within which an infological model of preserving clean air of urbanized territories "population ↔ air space ↔ highway territories", which allows the determining of the main structural elements and connections between them and is the basis for the formation of theoretical foundations.

The main conditions for the sustainable operation of motor vehicles and the preservation of clean air in urban areas were formulated: optimization of the road network and control over the use of vehicles; high-density urban planning and smart communication strategies; urban development focused on public transport and encouraging pedestrian and bicycle traffic; improvement of public transport and promotion of ecological vehicles, which allows the determining of the main ways in urban planning.

It was established that polluting gases mainly spread along the route for tens and hundreds of kilometers, also gradually spreading perpendicular to the road. The spread of automobile emissions depends on the weather, the direction and speed of the wind, the topography of the area, the presence of water bodies, and the temperature. All of these are specific conditions for the dispersion of pollutants, which significantly affect the urban climate, creating contrasting microclimatic zones. The intensity of self-purification of the atmosphere in the urban area is determined, on the one hand, by the speed of the incoming wind flow, and, on the other hand, by the properties of the area forming the wind flow.

In order to improve the air quality of main city streets, it is proposed to follow the principle of balance between the required volume of the air pool and the maximum intensity of planned car traffic. The ratio of the number of emissions of pollutants to the amount of air must exceed 1/1000. The principle of balance is the basis of the methodology of air normalization and methods of forecasting, preservation of its composition and protection against emissions of toxic elements from motor vehicles. If these conditions cannot be met, it is necessary to introduce additional restrictive measures or treatment facilities

It is proposed to use the area permeability parameter, which was introduced to assess the breathability of urban buildings in relation to wind flow, as a coefficient of atmospheric air pollution from vehicle emissions and to use it to assess the pollution potential of urban areas, and manage atmospheric air quality. The largest area of areas with an increased concentration of toxic emissions is formed by closed and frontal buildings of the main highway territories, but the shielding of polluted air flows can reach 95%

The obtained theoretical and experimental results of the use of light fields due to the passage of a Lager-Gaussian beam through a double phase wedge for the purpose of monitoring and cleaning the air of a closed space from microparticles and microorganisms is there something else needed in this sentence to complete it. A method of controlling air purity using a microparticle counter is proposed, which is based on the creation of an appropriate three-dimensional configuration of the laser field, which allows controlling micro-objects.

It was revealed that there is a "chain of territories" with increased degassing of carbon oxides, which is associated with energy arising in the bowels of the Earth - "cold "breathing" and is manifested especially in places where there were or are coal mines, develops unevenly - spatially and in time, with the rhythms of the Earth's endogenous activity. According to the obtained results, the change and spread of carbon dioxide pollution of the air basin is wave-like, the peak of the concentration wave shifts at an average speed of 34 km/h. The average indicators of the content of natural and anthropogenic emissions along the "chain of territories", exceed by 2-3 times.

It was determined that in certain sections of the primary highway territories (public transport stops, intersections, transport hubs, places of traffic concentration during peak

load) the data of stationary measuring posts of observations, remote sensing and calculation according to current methods differ significantly, therefore additional control is necessary. When deciding on the location of such places, the direction and speed of the wind should be taken into account, due to the increase in the area of contamination by two or three times.

Based on the analysis of the actual average daily traffic intensity of motor vehicles on highway networks and calculations of the emission power and concentration of atmospheric air pollutants by toxic components of exhaust gases, it was found that nitrogen oxides are the most dangerous for residential buildings, especially in rainy weather, when their actual content exceeds the maximum permissible the concentration by between 7-10 times and causes great harm to the health of citizens and the environment.

A model of nitrogen oxide pollution of the city's trunk areas has been developed, namely, the dependence of the concentration of nitrogen oxides on the intensity of vehicles, which can be a criterion for zoning the city territory according to the degree of atmospheric air pollution. The zoning of the city's primary territories according to the level of atmospheric air pollution by nitrogen oxides is proposed: safe, low-security and dangerous zones. The ratio between the intensity of traffic on the city highway and the distance where the maximum permissible standards for nitrogen oxide emissions are reached is determined, which allows calculating sanitary protection zones - territories around highway junctions.

Practical ways to achieve a sustainable urban air basin from the point of view of its pollution are presented: creation of low emission zones - Low Emission Zone (LEZ); creation of green zones; encouragement of active modes of transport; redistribution of public space; promotion of public transport; creation of treatment facilities; improvement of transport policy - taxes and technological road management.

A method of cleaning the polluted air of urbanized areas from nitrogen oxides, carbon oxides and hydrocarbons using ozone technologies has been proposed and declared, which provides the effect of air purification on city highways and main highway territories.

The construction model of the purification device, which is designed to clean the air space of urban areas from motor vehicle pollution, primarily from nitrogen oxides, hydrocarbons, soot and dust, has been developed and declared. From the point of view of economic efficiency and the possibilities of hardware design of the technological process, a

device with combined processes of wet dust collection and ozonation, i.e. with mechanical and chemical stages of cleaning, is advantageous. A principle scheme-model of the technological process of purifying polluted air has been developed, consisting of four stages, at each of which the main elements and operating conditions of treatment facilities in urban areas are defined.

In order to take into account, the emergency situation of emission by the ozone installation, modelling of the process of ozone dispersion on the territory of the city was carried out, which allows to obtain spatial profiles of the maximum concentration of ozone along and perpendicular to the wind flow, to determine the distances where its permissible values will be reached and sanitary protection zones. The maximum concentration of ozone along the OX axis (wind flow) will be reached at a distance of 50 m from the emission source, decreasing to an acceptable value at a distance of about 500 m, at the same time, with transverse scattering along the OY axis (perpendicular to the wind flow), the normative value is reached by a margin 30 m.

The resulting spatial profiles allow to determine rational and economically beneficial sets of measures that can ensure the necessary cleanliness of the air basin, help specialists develop more effective projects taking into account air pollution control and "smart" traffic management. The economic efficiency of the introduction of treatment devices into urban systems will be demonstrated, first of all, in the improvement of the environmental safety of the population and the reduction of morbidity.

A volumetric-spatial conceptual model of a special sewage treatment plant is proposed and calculated, which is based on the author's interpretation of each of the elements and the entire structure as a whole according to the principle of geometric structuring. Calculations of the volume-spatial conceptual model-composition of the special sewage treatment plant were carried out for three types of loads on the structure, namely: constant - self-weight of the structure; temporary - snow load; instantaneous - wind from the left (right) show the satisfactory characteristics of the selected structure and allow recommending it for use. The equipment of the special treatment plant and its technical and economic indicators are presented, which also allow recommending it for use.

**Keywords:** urban planning, large cities, sustainable development, highway territories, impact of motor vehicles on the ecology of cities, pollutants, dispersion modelling, territorial planning, methods and technologies of air normalization.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

1. Tatarchenko H. Analysis of urban air pollution. Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, security systems, transport development, architecture. monographic series «European Science». Germany, Book 4. Part 4. 2021. Chapter 20. P.188-195. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-04-066.
2. Татарченко Г.О. Використання сучасних технологій у визначенні забруднених територій міста. Сучасні технології в науці та освіті: монографія / під. заг. ред. О. Б. Целіщева, Г. О. Татарченко, Г. М. Хорошун. Сєверодонецьк, 2021. С. 47-51. DOI: 10.33216/MonographSNU(978-617-11- 0211-8)-2021-320.
3. Khoroshun, A. V. Chernykh, A. Ya., Tatarchenko G.O., Bekshaev, A. A. Akhmerov. Laguerre-Gaussian beam transformations by the double-phase-ramp converter: Singular skeleton formation and its sensitivity to small misalignment *Proceeding of SPIE, USA*. 2018. Vol. 10612.P. 1-9. DOI:10.1117/12.2303901 (Scopus).
4. Khoroshun G.M., Chernykh O., Tatarchenko H.O., Sato S., Kozawa Y., Popiolek-Masajada A., Szatkowski M., Lamperska W. Chain of optical vortices synthesized by a Gaussian beam and the double-phase-ramp converter. *OSA Continuum*. 2019. Vol. 2. P. 320-331 DOI:10.1364/OSAC.2.000320 (Scopus, Q2).
5. Tatarchenko G.O., Chernih O.A., Sokolenko V.M., Tatarchenko Z.S. Modern Information Technologies in System Architecture—Urban Planning—Building Constructions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. P. 483-490 DOI:10.1007/978-3-030-42939-3\_48. (Web of Science, Q4).
6. Khoroshun G., Luniakin R., Riazantsev A., Ryazantsev O., Skurydina T., Tatarchenko H.: The Development of an Application for Microparticle Counting Using a Neural Network. *Proceedings of the 4th International Conference on*

- Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS)*. 2020.Vol. I. P. 1186-1195. URL.: <https://dblp.org/rec/conf/colins/KhoroshunLRRST20.html> (Scopus, Q4).
7. Tatarchenko G., Biloshitska N., Sychenko V., Liashuk V. The effect of ozone on wet atmospheric corrosion of aluminium of high-voltage lines. *MATEC Web of Conferences* 294. 05010. 2019. P.1-5 EOT-2019. DOI:10.1051/matecconf/201929405010 EOT-2019 (Web of Science)
  8. Khoroshun G.M., Tatarchenko H.O., Diomin M. M., Tatarchenko Z.S. Cleanroom air control. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020. Vol 181. P. 497-504. DOI:10.1007/978-3-030-85043-2\_47. (Web of Science, Q4).
  9. Tatarchenko H., Kravchenko I. Towards Clean Air of Urbanized Territories. *Heliyon*. 2022. P.1-12. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4031260> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.403126006-1>). (Scopus).
  10. Tatarchenko G. City pollution from natural and anthropogenic emissions of carbon monoxide. *Modern engineering and innovative technologie*. 2021. Issue №15. Part 1. P. 90–98. DOI:10.30890/2567-5273.2021-15-01-115.
  11. Татарченко Г.О., Черних О.А. Сучасні ВІМ-технології у вирішенні проблем екоурбаністики. *Modern engineering and innovative technologies. Heutiges Ingenieurwesen und innovative Technologien*. 2021, Issue №16. Part 3. P. 88–93. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-16-03-121.
  12. Tatarchenko H. Modeling of the processes of ozone dispersion by purification facility. *SWorld Journal*. 2022. Issue №11 Part 2, P. 26-32. DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-02-028.
  13. Татарченко Г.О. Влияние озона на локальную коррозию нержавеющей стали. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, Спец. випуск №10. 2014. Т.2. С.89-93.
  14. Татарченко Г.О., Кравченко І.В., Писаренко М.В., Поркуян С.Л. Дослідження забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автотранспорту в міському середовищі. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2019. № 8 (256). С. 99 -104. DOI:10.33216/1998-7927-2019-256-8-99-104.



15. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В, Уваров П.Є. Прибудинкові території: тенденції організації та їх проблеми. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2019. № 7 (251). С. 39–48. URL.: <http://hdl.handle.net/123456789/4840>.
16. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В. Зелені насадження міста Северодонецька. *Наукові вісті Дніпровського університету. Технічні науки*. Северодонецьк, 2019. № 16. С. 1–4. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2019\\_16\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_4).
17. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І. Формування зеленого каркаса – важлива умова містобудування. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. №75. С.361-370. DOI:10.32347/2076-815x.2020.75.361-370.
18. Татарченко Г.О. Аналіз забруднення оксидами азоту повітряного простору території Києва. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №77. С.441-450. DOI:10.32347/2076-815x.2021.77.441-450.
19. Татарченко Г.О. Об'єкти захисту повітря територій міст. *Вісник НУВГП*. 2021. № 2(94). С. 126–135. DOI:10.31713/vt202114.
20. Татарченко Г.О., Дьомін М.М, Тарасюк В.П. Модель забруднення оксидами азоту приміагістральних територій міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №78. С. 478–492. DOI:10.32347/2076-815x.2021.78.478-492.
21. Татарченко Г.О. Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. №61. С.292-308. DOI:10.32347/2077-3455.2021.61.292-308.
22. Biloshytska N., Tatarchenko H., Biloshytskyi M., Tatarchenko Z. Creating urban spaces and medium-sized cities. *Academic journal industrial machine building civil engineering*. 2020. Vol. 1,53. С. 81-86. DOI:10.26906/znp.2020.55.2277.
23. Татарченко Г.О., Татарченко З.С., Паніна Н.І, Білошицька Н.І. 3D-моделювання будівельних об'єктів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. № 16. С.194-204. DOI:10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-24.
24. Татарченко Г.О. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. *Містобудування та територіальне планування*. Київ.

2022.№79. С. 381–395. DOI:10.32 347/2076-815x.2022.79.381-395.

25. Татарченко Г.О., Дьомін М.М. Концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ. 2022. №62. С.350-362. DOI:10.32 347/2077-3425.2022.62.350-362
26. Татарченко Г.О. Просторове моделювання забруднень повітря примігстральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022. №80. С. 389–402. DOI: DOI:10.32347/2076-815X.2022.80.389-402.

### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

27. Татарченко Г.О. Транспортне планування в сучасних тенденціях розвитку простору міста. Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Міжнародної науково-практичної конференції "Транспорт і логістика: проблеми та рішення" (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса: 2019. С.31-33. URL: <https://files.duit.edu.ua/uploads.pdf>.
28. Татарченко Г.О. Формування рекреаційних сфер міського простору. Сучасні технології в науці та освіті: матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції. (Севєродонецьк 5–7 березня 2019). Севєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. С.75-76. URL: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl\\_tezkh\\_1\\_such.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl_tezkh_1_such.pdf).
29. Татарченко Г.О., Кузьмінов О.Ю., Бойко Н.І Слабкі та сильні сторони житлово-комунального господарства, енергоефективності та екології м. Севєродонецька. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. ХХІ століття». (Одеса 15–16 жовтня 2020) Одеса: 2020. С.21-24. URL.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/.pdf>.
30. Татарченко Г.О., Бездоля А.Г. Типологія забудови як фактор впливу на рівень забруднення повітряного басейну та зміну режиму аерації в місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали ІV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. (Севєродонецьк 4–5. листопада 2020). Севєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.43-45.

31. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І., Шпарбер М.Є. Актуальність утворення агломерації «Сєвєродонецьк-Лисичанськ-Рубіжне». Збірник наукових праць III Міжнародної азербайджансько-українсько науково-практичної конференції «Building Innovations – 2020». (Полтава 1–2 червня 2020). Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. С.318-321. URL: <https://nupp.edu.ua/event/iii-mizhnarodna-ukrainsko-azerbaydzhanska-konferentsiya-building-innovations-2020.html>.
32. Татарченко Г.О., Рязанцев О.І., Хорошун Г.М. Інформаційна технологія контролю стану повітря в розумному місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Сєвєродонецьк 4–5. листопада 2020). Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.76-78. URL: [http://filelibsnu.at.ua/conference/v\\_vnpik\\_rbtzhkgvsu\\_2022.pdf](http://filelibsnu.at.ua/conference/v_vnpik_rbtzhkgvsu_2022.pdf).
33. Татарченко Г.О. Екологічні аспекти урбанізованих територій. Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства». (Рівне, 21–22 квітня 2021). Рівне: 2021. С. 1-3. URL: <https://www.facebook.com/MBG.NUWGP>.
34. Татарченко Г.О. Модель конструкції очисної споруди. The XI International Science Conference «Theoretical approaches of Fundamental Sciences. Theory, Practice and prospects», (Geneva April 26 – 28, 2021). Geneva, Switzerland: 2021. С.31-33. URL.: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/04/XI-Conference-Theoretical-approaches-of-Fundamental-Sciences.-Theory-Practice-and-prospects-1.pdf>.
35. Tatarchenko G. O. Zoning criterion for the main territory of the city according to the degree of atmospheric air pollution. The 4 th International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (Stockholm January 10-12, 2022) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2022. P.345-348. URL:<https://sci-conf.com.ua/x-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modern-science-innovations-and-prospects-25-27-iyunya-2022-goda-stokgolm-shvetsiya-arhiv/>.

### Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

36. Татарченко Г.О. Теория озono-кислородной деполяризации. Монография. Вид-во СНУ ім. В. Даля, Луганськ. (м. Северодонецьк). 2019. 135 с. ISBN 978-617-11-0119-7.
37. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сучасні містобудівні проблеми сталого розвитку регіонів. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія. Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 145–153. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf\\_2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf_2017.pdf)
38. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Концептуальні засади сталого розвитку регіону у контексті містобудування Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія. Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 6–16. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf\\_2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf_2017.pdf).
39. Piddubnyi S.V., Tatarchenko H.O., Sokolenko V.M. Express Method for the Evaluation of the Frost Resistance of Silicate Building. *Materials Materials Science*. 2020, Vol. 56, P. 240–246. DOI: 10.1007/s11003-020-00422-0 (Scopus, Q4).
40. Biloshytskyi, M., Tatarchenko, H., Biloshytska, N., Uvarov, P Operational lifetime increase of the pumping equipment when pumping-out contaminated groundwater. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol.15(1). P. 42-49. DOI:10.33271/mining15.01.042 (Scopus, Q2).
41. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 1: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2019. 204 с. ISBN 978-617-11-0139-5. DOI: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0139-5)-2019-204.

42. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 2: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сєверодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2019. 176 с. ISBN 978-617-11-0147-0 DOI: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0147-0)-2019-176.
43. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 3: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сєверодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2020. 182 с. ISBN 978-617-11-0166-1 DOI: 10.33216/ TutorialSNU(978-617-11-0166-1 )-2020-182.
44. Татарченко Г.О., Карпюк Л.В., Білошицька Н.І. Комп'ютерна графіка у будівництві: навч. посіб. Сєверодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2020. 180 с. ISBN 978-617-11-0160-9 DOI: 10.33216.
45. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Чередниченко П.П. I Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*. 2017. №64. С. 396–404. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2017/201764.pdf>.
46. Демин Н.М., Татарченко Г.О., Чередниченко П.П. II Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №67. С.26-28. URL.: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2018/201867.pdf>.
47. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Осетрін М.М., Чередниченко П.П. III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*: 2019. №70. С.13-26. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201970.pdf>.
48. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Білошицька Н.І. Просторове планування території Східноукраїнського національного Університету імені Володимира Даля. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. 2019. № 7 (255). С. 7-14. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-255-7-7-13.

49. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С. Формування міських просторів малих та середніх міст. *Збірник наукових праць. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*. 2020. №1 (54). С. 81-86. DOI:10.26906/znp.2020.54.2277.
50. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 149164, Україна: B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006.1). № u202103141; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632077>.
51. Татарченко Г.О., Дьомин М.М., Білошицький М.В. Пристрій для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 148723, Україна: B01D 47/06, B01D 45/12 (2006.01). № u202102201; заявл. 26.04.2021; опубл. 08.09.2021, Бюл. № 36/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257/>.
52. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С. Білошицька Н.І. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. Україна: 147495, B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006. 1). № u202008025; заявл. 15.12.2020; опубл. 12.05.2021, Бюл. № 19/2021. 4с. URL.: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257>.
53. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. Україна: 149165, B01D 53/00, B01D 53/56 (2006.01), B01D 53/78, B01J 19/26 (2006.1). № u202103142; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL.: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632078>.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	1
ЗМІСТ .....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ МІСТОБУДІВНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ .....	17
1.1 Місто - територія найвищої концентрації населення .....	17
1.2 Транспорт - провідна галузь господарства країни .....	21
1.3 Сучасний стан повітряного простору урбанізованих територій .....	26
1.4 Вплив автотранспорту на екологію міст та людину .....	33
1.5 Методи очищення повітряного басейну урбанізованих територій .....	48
Висновки до розділу 1 .....	54
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ .....	56
2.1 Теоретичні основи нормалізації повітряного простору урбанізованих територій .....	56
2.2 Оцінка стану забруднення автомобілями повітряного простору територій міст .....	66
2.3 Просторовий розподіл викидів автотранспорту та вплив метеорологічних умов на них .....	76
2.4 Вплив характеру забудови та рельєфу на рівень забруднення повітряного простору приміагістральних територій міст .....	83
Висновки до розділу 2 .....	102

РОЗДІЛ 3. ТЕОРІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ТА КОНТРОЛЮ ЧИСТОТІ ПОВІТРЯ. ....	105
3.1 Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. ....	105
3.2 Теорія та методологія контролю чистоти повітря. ....	120
Висновки до розділу 3. ....	139
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ. ....	141
4.1 Аналіз забруднення повітряного простору території за даними супутниковими та стаціонарних постів. ....	141
4.2 Аналіз забруднення автотранспортом повітряного простору приміагістральних території за експериментальними та розрахунковими даними на прикладі парку Т.Г. Шевченко м. Київ. ....	162
4.3 Модель забруднення оксидами азоту приміагістральних територій міста. ....	182
4.4 Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту. ....	193
Висновки до розділу 4. ....	207
РОЗДІЛ 5 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НОРМАЛІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ МІСТ. ....	210
5.1 Формування зеленого каркаса важлива умова нормалізації повітряного простору міст. ....	210
5.2 Сучасні методи очистки повітряного басейну території міст. ...	218
5.3 Озонові технології для нормалізації повітряного простору територій міст. ....	222
5.4. Конструкційна модель пристрою очищення забрудненого повітря урбанізованих територій. ....	237
5.5 Модель технологічного процесу очищення повітряного басейну приміагістральної території. ....	243



5.6 Моделювання процесів розподілу озону очисної спорудою у повітряному просторі приміагістральної території міста. ....	248
Висновки до розділу 5. ....	260
РОЗДІЛ 6. КОНЦЕПТУАЛЬНО-АРХІТЕКТУРНА МОДЕЛЬ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ОЧИСНОЇ СПОРУДИ. ....	263
6.1 Концептуально-архітектурна модель захисної споруди. ....	263
6.2 Розрахунки поєднання навантажень. ....	268
6.3 Техніко-економічні показники обладнання. ....	277
Висновки до розділу 6. ....	284
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ. ....	285
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. ....	290
ДОДАТКИ. ....	327

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДБН –	Державні Будівельні Норми
ОКА –	Загальна Кількість Аерозолю
ООН –	Організація Об'єднаних Націй;
ТЕП –	Техніко-економічні показники
ЗР –	Забруднюючі Речовини
ЗЧ –	Зважені частки (РМ)

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Атмосферне повітря є життєво важливим компонентом навколишнього природного середовища, невід'ємною частиною людини, рослин і тварин. Зростання міст і освоєння нових районів, розвиток промисловості та збільшення чисельності населення надають негативний вплив на повітряний простір міст. Всесвітня організація охорони здоров'я визнає, що забруднення повітря є однією з найважливіших проблем у світі, яка впливає не тільки на якість життя населення, але і на очікувану тривалість життя та стан здоров'я.

На теперішній час підтверджено, що основним джерелом забруднення атмосфери у великих містах є автотранспорт, його внесок у валові викиди перевищує 85 - 90%. Автомобільні магістральні дороги міста, і особливо райони перехресть, є потужними джерелами нестаціонарних за часом викидів, у яких присутні понад двісті-триста достатньо шкідливих для організму людини хімічних сполук. Найбільше забруднення атмосферного повітря припадає на частку оксидів вуглецю – близько 200 млн. т на рік, оксидів азоту - 65 млн. т на рік, пилу – близько 250 млн. т на рік, золи – близько 120 млн. т на рік, вуглеводнів – близько 50 млн. т на рік.

Оксид вуглецю проявляє токсичну дію в органах та тканинах, що споживають багато кисню - мозок, серце, скелетні м'язи. Кисневе голодування може викликати випадки неврологічної недостатності, виражені у вигляді непритомності та зміни колірної чутливості очей, тому при вдиханні його зростає можливість аварій. Для людського організму оксиди азоту є більш шкідливі, ніж чадний газ і найбільшу небезпеку становить  $\text{NO}_2$ . Він впливає на людину серцево-судинними захворюваннями та призводить до порушення функцій легень і бронхів, викликає сильне подразнення слизових оболонок очей, при високих концентраціях оксидів азоту виникають астматичні прояви. Зважені частки (PM) самі по собі та в комбінації з іншими забруднювачами становлять дуже серйозну загрозу здоров'ю людини, вони здатні проникати глибоко у легені та осідати там. Всі вуглеводні впливають на серцево-судинну систему та на показники крові (зниження вмісту гемоглобіну та

еритроцитів), також можливе ураження печінки, порушення діяльності ендокринних залоз.

Зі збільшенням негативного антропогенного впливу на людину процесів урбанізації все більшого значення набувають питання збереження та захисту не тільки природних екосистем, а й повітряного простору міського середовища. Загалом об'єкти територіального планування продовжують розвиватися у відсутності достатньо ефективної концепції або моделі архітектурно-містобудівного забезпечення екологічної безпеки повітряного простору міських територій. Проблема забруднення автотранспортом повітря урбанізованих приміагістральних територій належить до пріоритетних при вирішенні завдань щодо оздоровлення навколишнього середовища міста та потребує невідкладного та планомірного вирішення.

Тому для подальшого використання міських територій відповідно до вимог сталого розвитку та екологічних норм збереження чистого повітря необхідно створити наукові засади формування теорії та методології нормалізації повітря, спрямовані на вирішення важливої містобудівної проблеми – захисту повітряного простору урбанізованих територій від забруднення токсичними компонентами автомобільних викидів. Необхідно докладати зусиль у напрямку переходу до чистого повітря урбанізованих територій, а саме виконувати основні захисні заходи, які потрібно сформулювати.

Потрібно відзначити дослідження вчених з рішення проблем просторової організації, управління, розвитку містобудівних систем Габрель М.М. [15, 16,47,48,50,75], Дьомін М.М. [5-7, 50,102], Солуха І.Б. [44], Плешкановська А.М. [2, 8], Архіпова Г.І. [238] та інших.

Серед вчених, які отримали вагомі наукові результати у розвитку моделей та методів атмосферного розсіювання у різних аспектах їх використання слід визначити роботи закордонних та вітчизняних фахівців: Tella A. [93,], M. T. Vilhena [107,108], Pérez Guerrero J.S. [110,111], Laín S. & Grillo C. A. [116], Patra. P. [118,119], Feng S. [120], Benson P. [125,126]. Моделювання розсіювання забруднення повітря в каньйоні міської вулиці Nasrin Akhter1 [88], Qin Y. [133], Berkowicz R. [136,137], Nov O., [144] та інших.

Значний внесок у вирішенні проблем: транспортної комфортності проживання у сучасних містах, режиму руху транспортного потоку, його моделювання - Kablak N. [25], Матейчик В.П. [212], Осетрін М.М. [83,234, 236,239,240], Чередніченко П.П. [5÷7, 21]; Семененко М.В. [10]; Glen, W.G. [146]; Дубова С.В. [24, 215, 216], Солуха І.Б. [223,239,240 ], Тарасюк В.П. [235, 238] та інших.

Вивченням актуальними питаннями екологічного стану міських територій, їх інноваційного та сталого розвитку, оцінкою впливу на життя людини, невизначеності й ризику в урбаністиці присвячені роботи авторів Yijun Song [23], Приймаченко О.В. [51,52], Кныазев D.K. [53], Петруня О.М. [55], Банах А.В. [74,75,76], Ferens H.C. [136], Sharma P. 149,150], Whyte W. [163], Alexandrescu L. [169] та інших. Аналіз забруднення атмосферного повітря крупних промислових міст та його вплив на рівень захворюваності розглянути авторами Duren RM [31], Рейцен Е.А. [37], Витрищак С. В. [197], Санина Е. В.; Горовая А.И. [197], Архіпова Г. І. [228], Vachon G. [232,233] та інших.

Проте, незважаючи на широкий спектр наукових досліджень, існує потреба подальшого розвитку щодо збереження та захисту повітря міського середовища. Головним напрямом дослідження є вирішення науково-прикладної проблеми збереження чистого повітря урбанізованих територій, розроблення теоретичних і методологічних основ, концептуальних, інфологічних технологічних моделей, шляхів удосконалення, методів захисту, технологічних процесів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження ґрунтується на законодавчих актах, що регламентують містобудівну та планувальну діяльність, серед яких Закони України: «Про основи містобудування» (№ 2780-ХІІ від 2 16.10.2020 ), «Про регулювання містобудівної діяльності» (№ 3038-VI від 01.01.2023), "Про охорону атмосферного повітря"(№ 2707-ХІІ від 03.01.2023 ), «Про охорону навколишнього природного середовища» (№ 1264-ХІІ від 2 10.07.2022), «Про архітектурну діяльність» (№687-ХІVвід 10.10.2022), «Про будівельні норми» (№1704-VI від 09.06.2022), «Про Генеральну схему планування території України» (№3059-III від 09.06. 18.11.2012), «Про відповідальність за правопорушення у сфері містобудівної діяльності» (№208/94-ВР від 01.12.2020),

«Про Національну інфраструктуру геопросторових даних» (№554-IX від 01.03.2023), «Про державний контроль за використанням та охороною земель» (№963-IV, від 19.11.2022), «Про благоустрій населених пунктів» (№2807-IV від 20.08.2021), «Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду» (№525-V від 16.10.2020). Обраний напрям досліджень пов'язаний з реалізацією положень Концепції сталого розвитку населених пунктів, затвердженої постановою Верховної Ради України. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферу від транспортних засобів проводилась згідно з наказом Державного комітету статистики України №452 від 13.11.2008.

Дослідження пов'язано з тематикою науково-дослідних робіт, які виконувались за участі автора в Київському національному університеті будівництва і архітектури та на кафедрі будівництва, урбаністики та просторового планування Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, "Теоретичні основи процесів забруднення повітряного простору урбанізованих територій" (реєстраційний номер №0122U200708); "Корозійні процеси за участю озону" (№0115U007240); "Проектування металевих ферм з комбінованих профілів" (№0115U007241); міжнародний проект Horizon – 2020 "Response-Integrated solutions for positive energy and resilient cities".

Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукової роботи кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури.

**Мета і задачі дослідження.** *Метою* дослідження є наукове обґрунтування та розробка методологічних основ формування містобудівних та хіміко-технологічних рішень нормалізації повітряного простору приміагістральних територій крупних міст для забезпечення комфортних умов життя населення та якості здоров'я людини.

Для досягнення мети досліджень в роботі поставлені наступні наукові *завдання*:

1. провести порівняльний аналіз стану повітряного простору урбанізованих територій провідних країн світу й України;
2. визначити теоретичні підходи та методологічні аспекти процесів нормалізації повітряного простору урбанізованих територій;

3. розробити концептуальну модель збереження стійкого рівноважного стану урбанізованих територій та інфологічну модель збереження нормативного стану повітряного середовища;

4. провести аналіз та моделювання просторового розподілу викидів автотранспорту з урахуванням впливу природно-кліматичних і містобудівних факторів;

5. обґрунтувати використання моделей та методів при моделюванні розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері та контролю чистоти повітря;

6. провести дослідження та розрахунки концентрацій забруднення атмосферного повітря токсичними компонентами примагістральних територій міста та запропонувати модель оцінки максимально небезпечних зон забруднення шкідливими речовинами;

7. визначити методи та технології нормалізації повітряного простору примагістральних територій міст;

8) запропонувати конструкційну модель очисної споруди для нормалізації забрудненого повітря примагістральних територій;

9) провести моделювання процесу розсіювання озону у повітряному просторі забруднених територій.

**Об'єкт дослідження** – повітряний простір примагістральних територій крупних міст.

**Предмет дослідження** – містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань використані наступні методи дослідження: системного аналізу – при визначенні мети, завдань та проблем нормалізації повітряного простору; монографічний метод – при дослідженні нормативно-правових актів, стандартів, наукових публікацій та методичної літератури щодо охорони атмосферного повітря. Методи порівнянь, аналізу, формалізації, узагальнення, класифікації – при моніторингу повітряного простору урбанізованих територій провідних країн світу й України, оцінювання точності

емпіричних математичних моделей; системно-структурного аналізу – при розробленні моделей системи об'єктів містобудівного дослідження, зокрема концептуальної, інфологічної моделі та принципу рівноваги для нормалізації повітря, моніторингу забруднень територій крупних міст з моделями прогнозування, технологічних схем роботи очисної установки. Методи експериментальних досліджень – при визначенні ступеню обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій шляхом практичного використання їх у проектних організаціях; просторового аналізу та моделювання – при розробленні профілів розсіювання озону на приміагістральних територіях, визначення концентрації забруднюючих речовин. Методи інтерполяції та екстраполяції - при визначенні якості повітря за відомими вимірними даними для прогнозу концентрацій викидів на автомагістралях; техніко-економічна оцінка – при обґрунтуванні способу очищення (нормалізації) повітря озоновими технологіями; розрахунково-конструктивний – при проектуванні інженерних споруд.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в отриманні теоретичних і практичних результатів щодо вирішення науково-прикладної проблеми збереження й відновлення нормативного стану повітряного простору приміагістральної території та забезпечення сталого розвитку міст з урахуванням основних принципів його планування, забудови та екологічних вимог.

*Вперше представлені, теоретично обґрунтовані й експериментально перевірені наступні наукові положення.*

1. Явища «людина ↔ довкілля ↔ транспорт» методологічно розглянуто як системна цілісність, об'єкт містобудівного дослідження, моделювання, регулювання, стратегічного просторового планування та оперативного управління процесами містобудівної діяльності.

2. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень стану повітряного простору приміагістральних територій та принципу рівноваги запропоновано методологію нормалізації повітря та методи прогнозування, збереження його складу та захисту від викидів токсичних компонентів автотранспорту.



3. Обґрунтовано метод моніторингу мікрочастинок та контролю чистоти повітря замкненого простору, на основі використання методології визначення світлових полів при проходженні Лагер-Гаусового пучка крізь подвійний фазовий клин зі створенням відповідної тривимірної конфігурації лазерного поля.

4. Розроблено математичну та просторову моделі забруднення оксидами азоту приміагістральних територій міста залежно від інтенсивності транспортних засобів та запропоновано їх зонування за рівнем забруднення: небезпечні, низької безпеки та безпечні.

5. Визначено співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів на міській магістралі та відстанями, де досягаються гранично допустимі норми викидів оксиду азоту, що дозволяє визначити зони підвищеної небезпеки для пішохідного руху навколо магістралей.

6. Запропоновано та задекларовано спосіб та конструкційна модель установки очищення забрудненого повітряного простору урбанізованих територій від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонових технологій, який забезпечує отримання ефекту з очищення повітря на міських магістралях до 70%, та розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря.

*Удосконалено в роботі.*

7. Умови сталої роботи автотранспорту та нормалізації стану повітряного простору урбанізованих території: вдосконалення організації руху вулично-дорожньої магістральної мережі та контроль технічного стану автотранспортних засобів; просторово-планувальна організація територій з високою щільністю забудови; впровадження "smart" стратегії комунікації та заохочення пішохідного та велосипедного руху; просування громадського транспорту та екологічних транспортних засобів.

8. Моделювання процесу розсіювання озону на території міста із врахуванням аварійної ситуації викиду, яке дозволяє отримати профілі максимальної концентрації озону вздовж та перпендикулярно вітрового потоку, визначити відстані, де будуть досягатися допустимі його значення та санітарно-захисні зони.

9. Вибір шляхів нормалізації повітряного простору при магістральних територіях великих міст різними способами, зокрема: створення зон малих викидів – Low Emission Zone (LEZ); заохочення активних видів транспорту; створення зелених зон; перерозподіл громадського міського простору; просування громадського транспорту; створення очисних споруд; вдосконалення транспортної політики – податки та технологічне управління дорогами.

*Набули подальшого розвитку.*

10. Уявлення про найбільш небезпечні викиди автотранспорту, що завдають великої шкоди здоров'ю громадян та навколишньому середовищу – а саме оксидів азоту, коли їх фактичний вміст на примагістральних територіях перевищує гранично допустимі концентрації на порядок і вище.

11. Методика визначення пористості примагістральної забудови з урахуванням проникності вітрового потоку з викидами автомобільного транспорту та з використанням коефіцієнта екранування забудовою від забруднень атмосферного повітря.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці методів нормалізації та запобігання забрудненню повітряного середовища примагістральної території шляхом виявлення максимально небезпечних зон забруднення шкідливими речовинами під час розробки містобудівної документації, зокрема генеральних планів міст та детальних планів примагістральної території.

1. Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проектних рішень.

2. Економічна ефективність від впровадження очисних хіміко-механічних пристроїв в зонах найбільшого забруднення виражається у показниках підвищення екологічної безпеки та зниження рівня захворюваності населення урбанізованих територій.

3. Методи та технології, що запропоновані та задекларовані (способи очищення та спеціальні споруди очищення повітря), дають широкий спектр можливостей їх застосування.

4. Проведені розрахунки концептуальної моделі очисної споруди показують задовільні техніко-економічні показники обраної конструкції й дозволяють рекомендувати її до використання.

5. Отримані практичні результати пропонуються до використання при плануванні або реконструкції міських магістралей щодо нормалізації повітряного простору.

Практична цінність підтверджена відповідними актами впровадження державним науково-дослідним інститутом "ДІПРОМІСТО" ім. Ю. М. Білоконя та компанією ТОВ "ІНСТИТУТ "КИЇВДОРМІСТПРОЕКТ".

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення, пропозиції та висновки у дослідженні, отримані автором особисто, що підтверджується одноосібними статтями які відображають основні результати дослідження. Загалом за темою дисертації опубліковано 53 наукових праці, серед них 18 праць є одноосібними. В опублікованих у співавторстві наукових працях дисертанту належать: [7] - запропоновано теоретичні результати, що отримані за допомогою чисельного аналізу та отримано положення і траєкторії фазових сингулярностей, які можуть бути критеріями рівня чистоти повітря; [4,8,9,37] - обговорено ідею здатності фіксувати захоплену мікрочастинок в стійкому положенні в заданій точці «тіла» тривимірного променю та використання цієї ідеї для контролю чистоти повітря; [2,11,23] - моделювання будівельних об'єктів; [3] - формування концепції впливу озону на металеві матеріали; [1,20,25] – теоретичні уявлення, моделювання процесів очищення повітря; [20] – визначення проблем забруднення повітря міських територій; [14-17,22,31,35] – постановка завдання та інтерпретація одержаних результатів; [48] – розробка пристрою для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій; [30,34,36,39,44] – аналіз слабких та сильних сторін енергоефективності та екології міста, актуальність утворення агломерації, сталого розвитку; [43] – розробка та дослідження технологічної схеми фільтруючої установки з двох секцій для

безперервного відкачування та очищення забруднених ґрунтових вод; [6] – розроблення методики нового експрес-методу, який дозволяє визначити довговічність каменю з найменшими трудомісткістю та високою ефективністю; [46÷49] – постановка завдання та рецензування; [27÷29] - звіт та аналіз проведення всеукраїнських науково-практичних інтернет-конференцій; [52] – визначення способу очищення забрудненого повітря урбанізованих територій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати наукових досліджень, що включені до дисертації, доповідались і обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових симпозиумах, конференціях та семінарах, зокрема на IX Міжнародній науково-практичній конференції "Транспорт і логістика: проблеми та рішення" (Одеса, травень 2019); - II та III Міжнародній азербайджансько-українській науково-практичній конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2020» (Баку-Полтава, травень 2020, 2021); Міжнародній науково-практичній конференції «Енергоефективне місто. XXI століття» (м. Одеса, листопад 2020); IV та V Всеукраїнських науково-практичних інтернет-конференціях «Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах» (Сєверодонецьк, листопад 2020, 2021); International Scientific Symposium «Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, security systems, transport development, architecture» (Germany, February 2021); Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства» (м. Рівне, квітень 2021); III та IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології в освіті та науці» (м. Сєверодонецьк, лютий 2020, квітень 2021); The 4th International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” ( Stockholm, Sweden, January 2022).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 53 наукових працях (18 з яких одноосібні), а саме: 12 - у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку дисертації, у тому числі 9 у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus, Web of Science; 3 - у міжнародних періодичних наукових виданнях; 19 - у вітчизняних періодичних виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань з технічних наук, визначених МОН України; 9 - у збірниках

матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій; 2 – монографії та 3 глави у колективних монографіях; 4 - навчальних посібника; 4 – деклараційних патенти України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації – 351 сторінка, з них 265 сторінок основного тексту, 113 рисунків та 46 таблиць, в тому числі такі, що розміщені на 23 окремих аркушах, список використаних джерел із 312 найменувань на 38 сторінках та 6 додатків на 25 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Мета першого розділу вивчити проблеми забруднення повітряного простору урбанізованих територій (міст де понад 500 тис. населення) автотранспортом, розглянути стійкий транспорт як умова концепції сталого розвитку міста та його вплив на екологію міст.

#### 1.1 Місто - територія концентрації населення

Сучасна цивілізація характеризується все більшим прискоренням темпів модернізації, заміни технічних засобів виробництва, створенням нових машин, апаратів, приладів, інтенсивним розвитком електроніки, радіотехніки, хімічної технології, авіаційної та космічної техніки, систем автоматичного управління та регулювання, лазерної та обчислювальної техніки.

Сьогодні відбувається активне вторгнення техніки у сферу розумової праці, що створює передумови передачі машинам як управляючих, а й логічних функцій розумової діяльності. Зміна змісту праці, що поступово відбувається в ході науково-технічного прогресу в різних сферах суспільства, суттєво змінює вимоги до трудових ресурсів [1]. Поряд зі збільшенням обсягу обов'язкової загальної освіти виникає проблема підвищення і зміни кваліфікації працівників, можливості їх періодичної перепідготовки, особливо в сферах праці, що найбільш інтенсивно розвиваються. Інтелектуальне місто це інноваційний розвиток міських територій [2].

Науково-технічний прогрес пред'являє зростаючі вимоги до професійних знань, кваліфікації, організаційних здібностей, а також загального культурного та інтелектуального рівня працівників, підвищує роль моральних стимулів та особистої відповідальності у праці [3].

Основні критерії прогресу є:



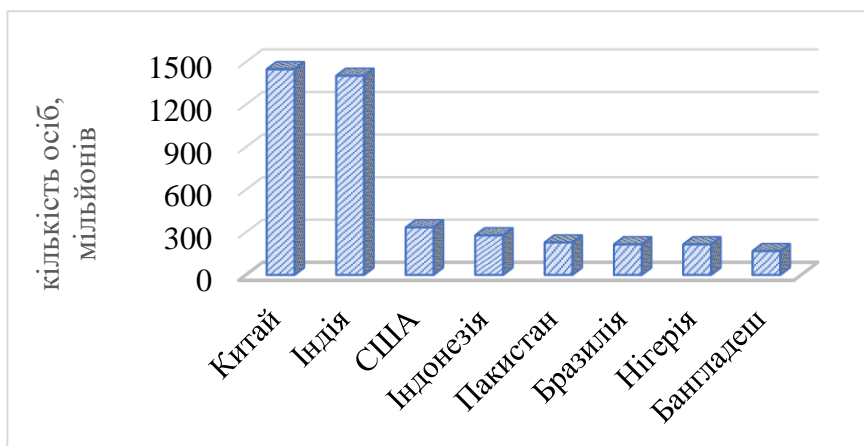
Крім того, міста згідно з опитуваннями мають переваги, де основні це:



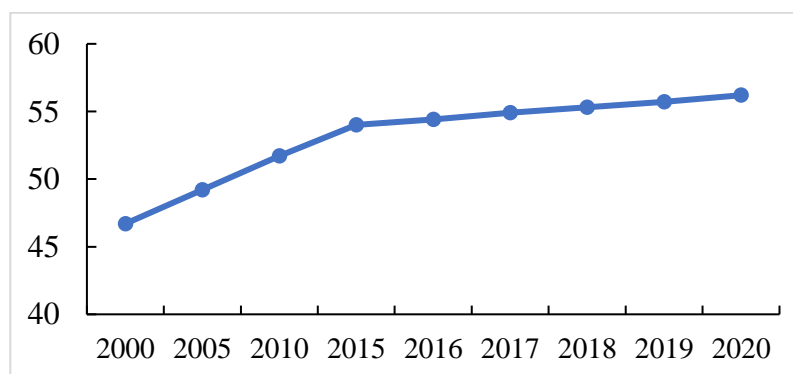
Міста являють собою центри розвитку творчого потенціалу та економічного прогресу, "Концепція сталого розвитку" набула найбільшого поширення сьогодні, згідно з якою слід регламентувати кожен вид діяльності людини, виходячи з дуже обмеженого набору рецептів, для здійснення ідеї збереження, підтримки природи в стані, придатному для нащадків [4÷7]. Можна розглядати інноваційне місто як наслідок еволюції просторової організації розумного міста [8].

На науково-технічний прогрес впливають такі світові тенденції, як глобалізація, багатополарність, зміна співвідношення економік провідних країн світу, економічна нестабільність і глобальні дисбаланси, глобалізація, трансформація регіональних економічних об'єднань. У ноосферній концепції шлях лежить через підвищення ролі інтелектуального початку, поступове переважання духовно-матеріальних чинників

матеріальними [9]. В.І. Вернадський, розвиваючи вчення про перетворення біосфери на ноосферу, вважав, що антропогенний вплив може стати потужнішим чинником на довкілля, ніж усі природні процеси разом узяті.



а)



б)

Рис.1.1. Населення світу: а) загальне у країнах; б) міське

Науково-технічний прогрес, будучи частиною культурного простору, багато в чому визначає його зміст, напрям, призводить до серйозних соціальних колізій, до принципово нових форм відносин людини у суспільстві. Вважають, що вдосконалення технічних засобів знижує трудовитрати, частку минулого праці вартості одиниці продукції. Проте нині технічний прогрес «дорожчає», оскільки потребує створення та застосування дедалі дорожчих верстатів, ліній, роботів, засобів комп'ютерного управління; підвищених видатків на екологічний захист. Місто, засноване на інноваціях, як результат еволюції просторової організації розумного міста.



Комфорт це об'єктивне почуття та об'єктивний стан задоволеності людини умовами життя, включаючи її природні та соціально-економічні показники [10].

В комфорті людини можна виділити основні аспекти:

- середовище, в якому протікає життя;
- регулярні події, які пов'язані з працею, так і з дозвіллям;
- процеси, пов'язані зі здоров'ям та певними властивостями психіки.

За історію людства приблизно до 1800 року населення світу досягло одного мільярда, другий мільярд було досягнуто лише за 130 років (1930 рік), третій мільярд — за 30 років (1960 рік), четвертий мільярд за 15 років (1974 р.) та п'ятий мільярд всього за 13 років (1987 р.). Найбільше населення сьогодні зареєстровано у Китаї, Індії, США (рис.1.1а) [11]. Приблизно 3,5 мільярда людей проживає в міських районах і процес міграції у міста має стійку тенденцію (рис.1.1б). Згідно з прогнозами, до 2050 року чисельність міського населення сягне 6,3 мільярдів осіб, внаслідок чого його частка в населенні світу зросте з 50 до 70 відсотків.

*Таблиця. 1.1*

**Населення та площа міської території найбільших міст світу**

№	Місто	Країна	Населення	Площа, км <sup>2</sup>
1	Токіо	Японія	38 505 000	8 223
2	Делі	Індія	28 125 000	2 240
3	Шанхай	Китай	22 125 000	4 015
4	Сан-Паулу	Бразилія	20 935 000	3 043
5	Мехіко	Мексика	20 395 000	2 370
6	Каїр	Єгипет	16 925 000	1 917
7	Мумбаї	Індія	23 645 000	881
8	Пекін	Китай	19 430 000	4 144
9	Дакка	Бангладеш	18 595 000	453
10	Осака	Японія	17 150 000	3 004

У Європі станом на 2020 рік міст із населенням понад 500 тис. осіб близько ста з них в Україні – вісім [12]. Важливо враховувати який території проживає населення, тобто. щільність людей, щоб оцінювати масштаб нестачі чистого повітря. Лідерами за густотою населення є Дакка, Мумбаї, Делі (табл.1.1). Таким чином, бачимо, що активно йдуть урбанізаційні процеси і, очевидно, є істотні зміни від них в екологічному просторі [13].

## 1.2. Транспорт - провідна галузь господарства країни

Стійкий транспорт - це одна із складових концепції сталого розвитку міста. Транспорт забезпечує виробничі зв'язки промисловості та сільського господарства, здійснює перевезення вантажів та пасажирів, є основою географічного поділу праці, сприяючи спеціалізації та кооперуванню підприємств, галузей, районів та країн. Без транспорту було б неможливим подолання територіального розриву між виробництвом та споживанням товарів та послуг [14].

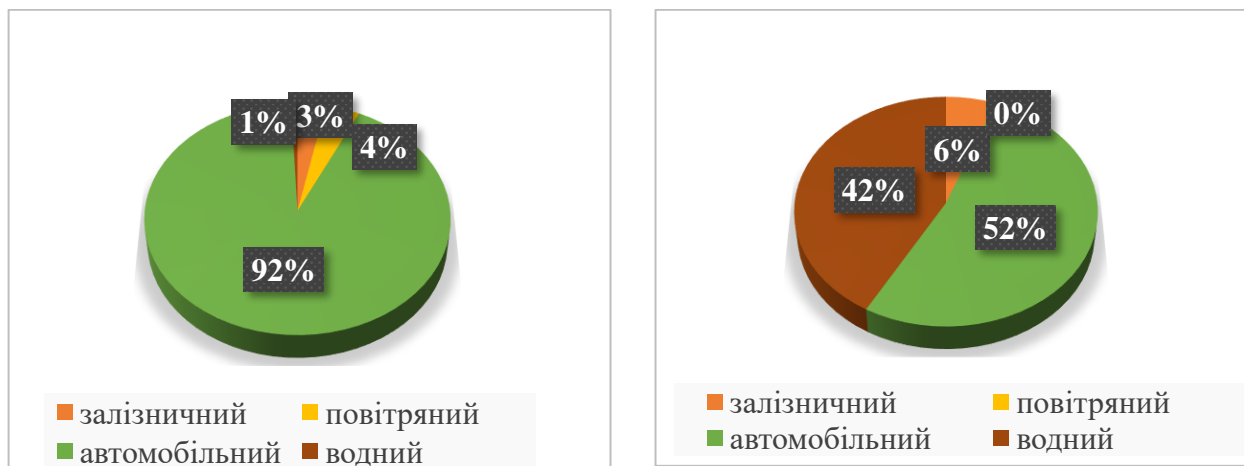


Рис.1.2. Внутрішні перевезення та за видами транспорту у Норвегії: а) пасажирів (млн пас-км); б) вантажів (млн т-км).

**1.2.1 Стійкий транспорт як умова концепції сталого розвитку міста.** В умовах урбанізації та автомобілізації суспільства, що триває, і збільшення навантаження на транспортну інфраструктуру та вулично-дорожню мережу в

задоволенні транспортних потреб населення все більшу роль відіграють міські транспортні системи [15÷17, 308]. На прикладі Норвегії видно [18], що внутрішні пасажирські перевезення 2020 року становлять 92% (рис.1.2а). На вантажні перевезення припадає 52%, оскільки їх проводиться водним транспортом (рис.1.2б). Для багатьох інших європейських країн частка автоперевезень становить 60%-80%.

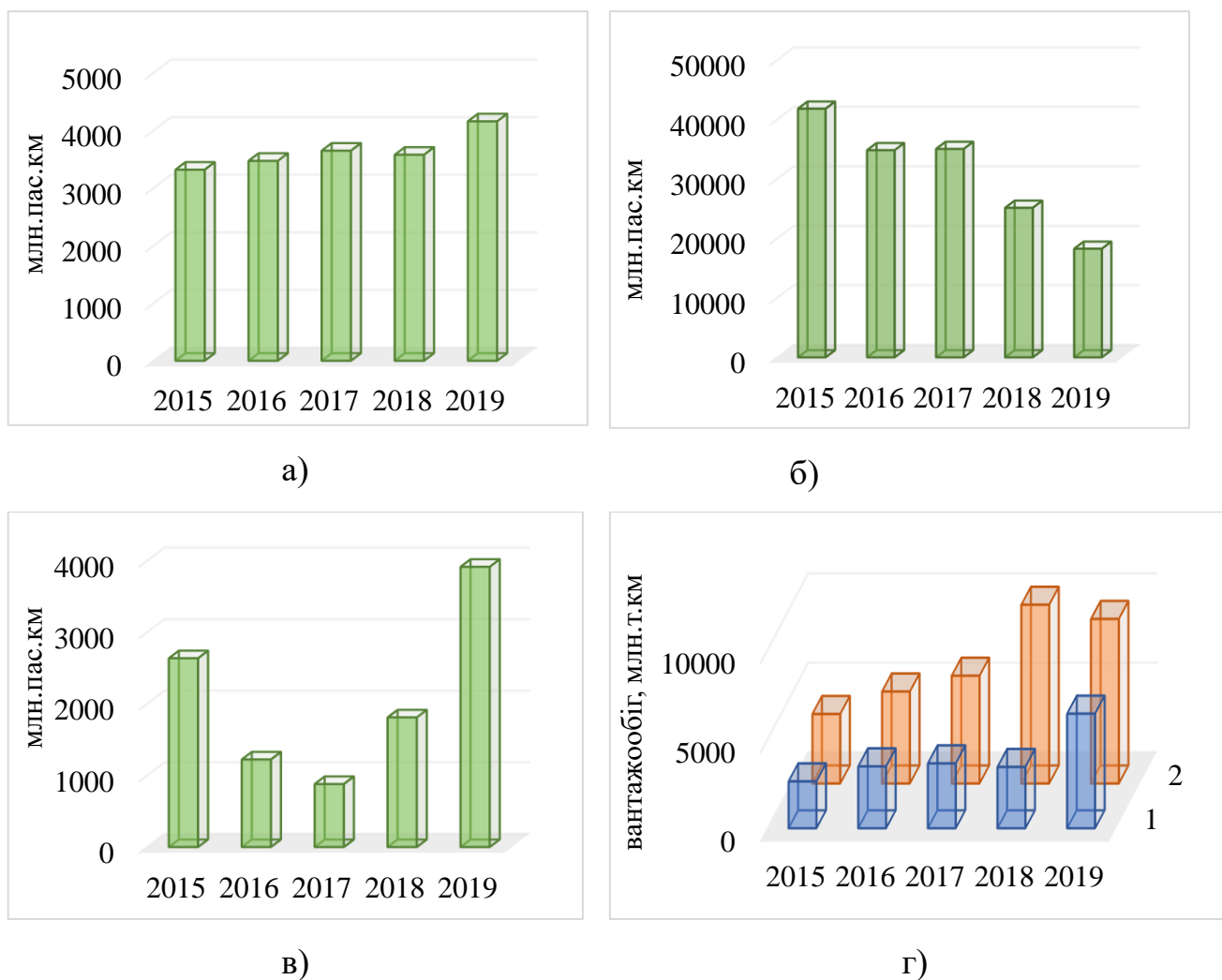


Рис.1.3. Обіг перевезень автомобільним транспортом м. Київ: пасажирів (автобусів) а) міські; б) приміські; в) міжміські; г) вантажу (1- автотранспортних підприємств; 2 - автомобільного транспорту).

На прикладі Києва [19] можна зазначити, що пасажирообіг автомобільного транспорту (автобусів) зростає протягом останніх п'яти років (рис.1.3 а), тоді як приміське сполучення знижується (рис.1.3 б). Для міжміських перевезень відбулося різке зниження в 2017 році, але вже до кінця 2019 пасажирооборот збільшився втричі-вчетверо (рис.1.3в). Звичайно тут накладаються процеси пов'язані з карантинними

заходами, але в цілому тенденції подібні до європейських [20]. Згідно з прогнозами до 2050 р., для пересування містом більше половини населення переходитимуть на користування громадського транспорту та спільне використання особистих транспортних засобів.

Вже в даний час для автобусного транспорту настає новий етап його розвитку, пов'язаний з переходом на широке застосування в експлуатаційній діяльності автобусів з гібридним приводом, що їх випускають фірми-виробники - MAN, Volvo, Mercedes-Benz, Skania, Von-Hool та ін.



Рис.1.4. Умови сталого розвитку автотранспорту

Загалом ринок автоперевезень залишається висококонкурентним – йде гостра тарифна боротьба за вантажну базу. Для вантажних автоперевезень як для автомобільного транспорту так і автотранспортних підприємств зростає (рис.1.3г).

Генеральний секретар IRU Умберто де Претто підкреслив, що «Не налагодивши роботу автотранспортного сектора, ми досягнемо жодної з цілей у сфері сталого розвитку» [20]. Сталий розвиток транспорту – це керований розвиток [21], основою реалізації якого є системний підхід та сучасні інформаційні технології, які дають змогу з високою точністю прогнозувати їхні результати та вибрати найбільш оптимальні напрями розвитку та включає: середня відстань перевезень; вантажообіг

та пасажирообіг; продуктивність праці працівників транспорту; продуктивність транспортних засобів; середньодобовий пробіг; собівартість перевезень; обсяг перевезень; швидкість доставки; технічна швидкість; експлуатаційна швидкість (рис.1.4) [22].

Для досягнення успіху необхідна координація і об'єднання зусиль усіх зацікавлених сторін, передусім транспортного, міського, природоохоронного, охороно-оздоровчого секторів [23÷25].

**1.2.2 Швидкість переміщення - основний фактор продуктивності транспорту.** Рациональне використання автомобільного транспорту під час перевезення вантажів у час є особливо актуальним, оскільки безпосередньо впливає ефективність його використання. Швидкісні властивості мають першорядне значення при виконанні транспортно-технологічних операцій у стислий термін у різних умовах експлуатації та мають найбільший вплив на продуктивність [26].

Підвищення величини продуктивності за рахунок збільшення маси перевезеного вантажу з одного боку обмежується вантажопідйомністю, з іншого боку умовами експлуатації.

Швидкісні характеристики рухомого складу автомобільного транспорту – поняття досить широке. Залежно від цілей аналізу в рамках швидкісних властивостей іноді розглядають лише процес руху автотранспортних засобів, а іноді узагальнюють весь процес експлуатації. У практиці експлуатації автомобілів швидкісні властивості зазвичай оцінюються середньою швидкістю руху. Розрізняють такі види середньої швидкості:

1. Середня швидкість чистого руху, що дорівнює відношенню пройденого  $\sum S_i$  шляху на час чистого руху  $\sum t_i$ :

$$V_c = \frac{\sum S_i}{\sum t_i} \quad (1.1)$$

2. Середня технічна швидкість, що дорівнює відношенню пройденого шляху  $\sum S_i$  до часу руху з урахуванням зупинок з технічних причин, для усунення різноманітних відмов та несправностей  $\sum t_{\text{відмі}}$ :

$$V_T = \frac{\sum S_i}{(\sum t_i + \sum t_{\text{відмі}})} \quad (1.2)$$

Середня експлуатаційна швидкість, що враховує втрати часу, пов'язані з організацією дорожнього руху та транспортного процесу  $\sum t_{\text{торгі}}$ :

$$V_e = \frac{\sum S_i}{(\sum t_i + \sum t_{\text{відмі}} + \sum t_{\text{торгі}})} \quad (1.3)$$

4. Середня ефективна (або наведена) швидкість, яка визначається з урахуванням витрат часу на технічне обслуговування, поточний ремонт, капітальний ремонт, навантаження-розвантаження автомобілів, агрегування (приспосовування) із сільськогосподарськими машинами у разі використання сільськогосподарських автотранспортних засобів у складі технологічних комплексів, заправку паливом та інших витрат часу на підтримання автомобіля у технічно справному стані  $\sum t_{\text{втрі}}$ :

$$V_{\text{еф}} = \frac{\sum S_i}{(\sum t_i + \sum t_{\text{відмі}} + \sum t_{\text{торгі}} + \sum t_{\text{втрі}})} \quad (1.4)$$

Швидкість  $V_{\text{еф}}$  є узагальненою і характеризує загалом пристосованість автотранспортних засобів до виконання тих чи інших транспортно-технологічних процесів.

Середня експлуатаційна швидкість  $V_e$ , що часто використовується для оцінки швидкісних властивостей рухомого складу автомобільного транспорту, є по суті не зовсім коректною оцінкою швидкісних властивостей, оскільки на цей показник значною мірою впливають втрати часу з причин, що не належать до конструкції автотранспортних засобів. Оцінюючи технічного вдосконалення автотранспортних засобів з погляду його швидкісних властивостей зазвичай використовують середньотехнічну швидкість.

В той самий час, транспорт є одним з основних джерел забруднення атмосфери є автотранспорт, від використання якого є величезний викид найрізноманітніших токсичних речовин.

### **1.3 Аналіз сучасного стану повітряного простору урбанізованих територій**

Всесвітня організація охорони здоров'я визнає, що забруднення повітря є однією з найважливіших проблем у світі, яка впливає не тільки на якість життя населення, але і на очікувану тривалість життя, а також на стан здоров'я й поширення легеневої хвороби [27].

Вихлопні гази автомобілів – це поєднання двохсот-трьохсот хімічних сполук, які є досить шкідливими для організму людини. Найпоширеніші забруднювачі – це зола та пил різного складу, оксиди кольорових і чорних металів, різні сполуки сірки, азоту, фтору, хлору, радіоактивні гази, аерозолі та ін. Найбільше забруднення атмосферного повітря припадає на частку оксидів вуглецю – близько 200 млн. т на рік, пилу – близько 250 млн. т на рік, золи – близько 120 млн. т на рік, вуглеводнів – близько 50 млн. т на рік.

**1.3.1 Забруднення повітряного басейну територій міст у світі.** Антропогенні викиди впливають на радіаційний баланс атмосфери і, отже, клімат [28]. Урбанізація сконцентрувала понад 50% світового населення, принаймні 70% викидів вуглекислого газу з викопного палива (з яких майже 44% - прямі викиди) на невеликій частині поверхні суші Землі [29]. Міжнародні угоди щодо обмеження викидів парникових газів вимагають перевірки, щоб гарантувати їх ефективність та справедливість [30]. Необхідні узгоджені зусилля для перетворення наукових методів і технологій, що з'являються, в оперативну систему моніторингу для підтримки рішень з управління викидами в містах [31].

За оцінками експертів, майже 7 млн. людей помирає щорічно від причин, пов'язаних із забрудненням повітря. Більше 90% забруднення припадає на країни з низькими і середніми доходами [27,32]. Здебільшого це країни Африки й Азії. Близько 3 млрд. людей, або майже 40% населення планети, як і раніше не мають доступу до чистих палив, призначених для приготування їжі, а також до чистих технологій. Наприклад:



а)



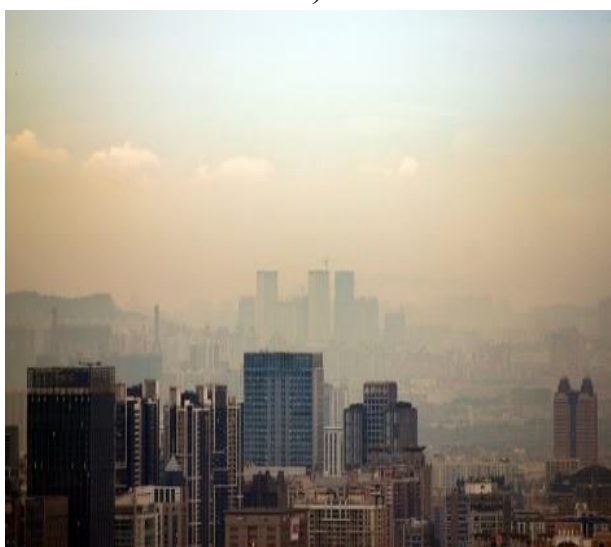
б)



в)



г)



д)



е)

Рис.1.5. Міста світу з найбільш забрудненим повітрям: а) Каїр; б) Делі; в) Пекін, г) Стамбул, д) Гуанчжоу; е) Буенос-Айрес.



➤ Каїр (рис. 1.5а) – столиця Єгипту, найбільше місто Близького Сходу. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, викиди в атмосферу столиці Єгипту діоксиду азоту, що представляє найбільшу небезпеку для здоров'я, досягає Каїр рекордних позначок і навіть може бути занесений в Книгу рекордів Гіннеса;

➤ Делі (рис. 1.5б) – друге за величиною (після Мумбаї) місто Індії, що має статус союзної території. Як і в багатьох інших великих містах, повітря Делі страждає від забруднення. Найбільший внесок у забруднення, 67% від загальної кількості викидів, або 3 тис. т в день, вносить транспорт. Ще 25% вносять 125 тис. промислових підприємств і три вугільні теплоелектростанції міста;

➤ Пекін (рис. 1.5 в) – є мегаполісом з одним з найвищих рівнів забруднення повітряного простору. Смог огортає місто, як покривало з брудної вати, а місцеві жителі не виходять з дому без ватно-марлевих пов'язок; Гуанчжоу (рис. 1.5г) є домом для близько 12 млн. осіб, які мешкають у вкрай небезпечних умовах забруднення повітря. В деякі періоди рівні

➤ забруднення вище, ніж у Пекіні. Промисловість в регіоні розвивається з величезною швидкістю, яка миттєво збільшує кількість автомобілів в місті та мешканців;

➤ Стамбул (рис. 1.5д) – найбільш гострою є проблема забруднення води та повітря, викликана промисловими і побутовими відходами. Причиною тому є використанням рідкого та твердого палива в домашніх господарствах для приготування їжі та опалення. Друга проблема пов'язана з великою кількістю автомобілів у містах Туреччини;

➤ Буенос-Айрес (рис. 1.5е) – мегаполіс зіткнувся з численними екологічними проблемами. Через порівняно вітряну погоду смог недовго затримується у місті, але в різних районах міста спостерігається значне забруднення повітря в результаті промислових і транспортних викидів. Це призводить до збільшення кількості хворих на рак легенів. Ситуація із забрудненням повітря в місті посилюється високою інтенсивністю вуличного руху;

➤ Париж (рис. 1.6а) – проблема забруднення повітря досить гостра, й показники забруднення повітря регулярно порушують нормативи ЄС. Сильне

забруднення повітря у зимовий період пов'язане зі зростанням обсягу вихлопних газів автомашин та пічного диму, а також з безвітряною погодою і відсутністю дощів;



Рис. 1.6. Забруднення повітря у: а) Парижі; б) Лос-Анджелесі; в) Тегерані.

➤ Лос-Анджелес (рис. 1.6 б) – за рівнем забрудненості повітря займає перше місце в Америці. Згідно експертам 166 млн. американців, або 52,1% людей, що мешкають у США, проживають в округах з високими рівнями забруднення повітря. Майже 20 млн. людей мешкають в 13 округах, де відбувається часткове або короткострокове забруднення атмосфери.

➤ Тегеран (рис. 1.6 в) - місто з населенням 8,5 мільйонів людей, в останні роки постраждав від швидкої та незапланованої урбанізації, що призвело до суттєвого впливу на навколишнє середовище, можливо, насамперед через погану якість повітря. Основним джерелом забруднення повітря є викиди від пересувних транспортних засобів; тому наявність точної та всеосяжної інвентаризації викидів від мобільних джерел має важливе значення для осіб, які приймають рішення, для розробки стратегій пом'якшення наслідків.

Таким чином, очевидно, що проблема забруднення автотранспортом атмосфери великих міст належить до пріоритетних при вирішенні завдань оздоровлення навколишнього середовища міста та вимагає невідкладного та планомірного рішення.

**1.3.2 Забруднення повітряного басейну територій міст в Україні.** Проблема забруднення повітря в Україні не має належної уваги ні на національному, ні на міжнародному рівні. Влада затулює і з моніторингом якості повітря, і з заходами щодо скорочення викидів. За потурання міжнародної спільноти відбуваються постійні відстрочення та продовження термінів служби основних джерел забруднення в Україні, що впливає і на якість повітря у всій Європі [33,34]. Україна є країною з найбільшим впливом забруднення повітря на здоров'я людини в Європі. Оскільки майже третина забруднення повітря відбувається за рахунок вироблення електроенергії, скорочення викидів від електростанцій має стати першим кроком у боротьбі з цією небезпекою для здоров'я.

Оцінка стану забруднення атмосферного повітря в містах України здійснюється за даними спостережень у 39 містах на 129 стаціонарних постах мережі моніторингу гідрометеорологічних організацій. В атмосферному повітрі визначається вміст 22-х забруднювальних речовин, включаючи вісім важких металів [35].

Для оцінки якості повітря використовується індекс забруднення атмосфери (ІЗА), який розраховується як сума поділених на ГДК середніх концентрацій забруднювальних речовин. За індексом забруднення атмосфери (ІЗА), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря за п'ятьма пріоритетними забруднювальними домішками, дуже високий рівень забруднення спостерігається у

Маріуполі та Дніпрі, високий – у Одесі, Кам’янському, Києві, Кривому Розі, Луцьку, Миколаєві, Слов’янську, Краматорську, Рубіжному, Львові, Запоріжжі, Лисичанську, Херсоні, Кременчуці (рис.1. 7). Більша кількість міст з дуже високим та високим рівнем забруднення атмосферного повітря знаходиться у Дніпропетровській області – 3 міста, у Донецькій області – 3, у Луганській області – 2 міста та одне місто – у Полтавській області. Інші міста – це шість обласних центрів та столиця України.

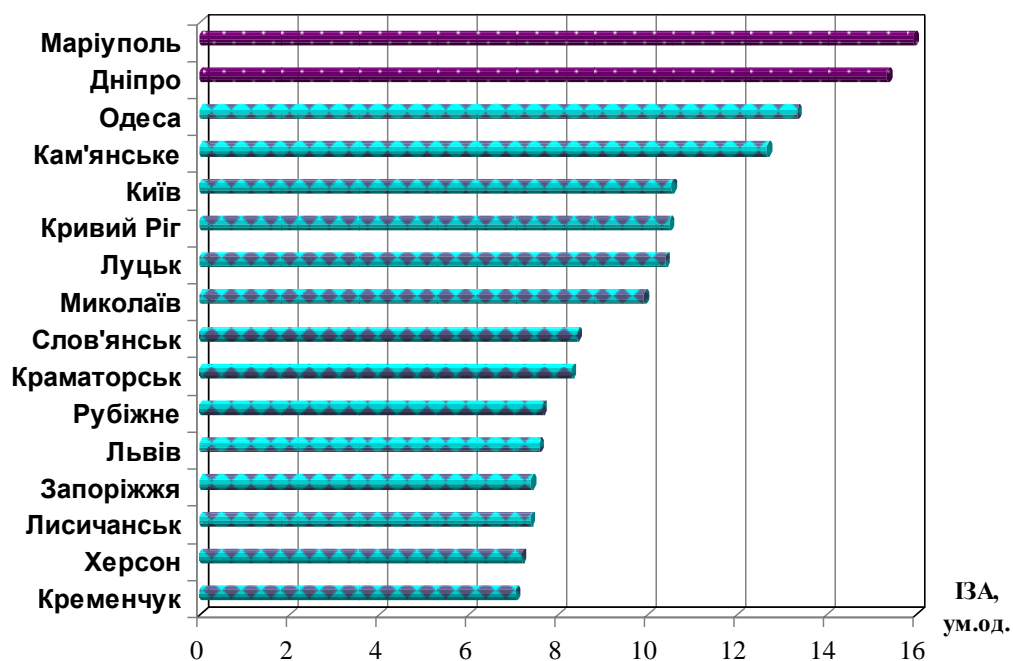


Рис 1.7. Значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) в найбільш забруднених містах України у 2019 році.

В останні роки було зафіксовано три випадки високого забруднення (ВЗ) атмосферного повітря оксидом вуглецю у м. Обухів (Київська область) у лютому з максимальною концентрацією 8,8 ГДК<sub>м.р.</sub> (для порівняння у 2017 р. було відмічене один випадок ВЗ діоксидом азоту у Вінниці). Високий рівень забруднення атмосферного повітря вказаних міст був обумовлений здебільшого підвищеним вмістом специфічних шкідливих речовин – формальдегіду, фенолу, фтористого водню, аміаку, з основних домішок – завислих речовин, діоксиду азоту, оксиду вуглецю (табл.1.2) [36].

Середньорічна концентрація формальдегіду у містах України, де проводяться спостереження, була на рівні 2,3 гранично допустимих концентрацій (ГДК<sub>с.д.</sub>),

Таблиця 1.2

**Перелік забруднювальних речовин, вміст яких в атмосферному повітрі міст зумовив найбільше забруднення за середньорічними і максимальними концентраціями (у кратності відповідних ГДК).**

Речовини	За середньорічним вмістом		За максимальним разовим	
	місто	Перевищення	місто	Перевищення
Завіслі речовини	Кривий Ріг	3,0	Горішні Плавні	4,0
	Кам'янське	2,5	Кривий Ріг	4,0
	Дніпро	2,3	Кам'янське	3,4
Оксид вуглецю	Рубіжне	1,8	Обухів	8,8
	Одеса	1,5	Слов'янськ	4,6
	Лисичанськ	1,3	Одеса	3,2
	Кам'янське	1,0	Кривий Ріг	2,8
Діоксид азоту	Київ	3,3	Київ	3,3
	Дніпро	3,0	Черкаси	3,3
	Херсон	2,8	Житомир	2,9
	Біла Церква	2,3	Вінниця	2,6
	Житомир	2,3	Херсон	2,4
	Луцьк	2,3	Кременчук	2,3
	Чернігів	2,3	Луцьк	2,2
Оксид азоту	Київ	1,3	Луцьк	1,5
	Херсон	1,2		
Сірководень	Кам'янське	0,006 мг/м <sup>3</sup>	Дніпро	4,9
	Дніпро	0,003 мг/м <sup>3</sup>	Рівне	2,3
	Запоріжжя	0,003 мг/м <sup>3</sup>	Кам'янське	1,8
	Одеса	0,003 мг/м <sup>3</sup>	Маріуполь	1,1
Фенол	Кам'янське	2,3	Слов'янськ	4,1
	Краматорськ	2,3	Херсон	4,0
	Слов'янськ	2,3	Краматорськ	3,4
Сажа	Одеса	1,2	Одеса	2,0
	Олександрія	1,0	Харків	2,0
Фтористий водень	Рівне	1,6	Вінниця	2,4
	Одеса	1,4	Краматорськ	2,3
Хлористий водень	Перевищення ГДК не зафіксовано		Чернівці	2,7
			Київ	2,0
Аміак	Кам'янське	1,3	Черкаси	2,2
Формальдегід	Маріуполь	6,0	Ужгород	4,9
	Дніпро	5,0	Кривий Ріг	2,5
	Миколаїв	4,7	Маріуполь	2,2
	Одеса	4,7	Луцьк	2,1
	Кривий Ріг	3,7	Краматорськ	1,9

діоксиду азоту – 1,5 ГДК<sub>с.д.</sub>, фенолу – 1,3 ГДК<sub>с.д.</sub>. Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за ІЗА становив 7,6 і оцінювався, як високий. Порівняно з попереднім роком він дещо підвищився (було – 7,2) за рахунок зростання середньорічного вмісту фенолу [37].

Автори [33] зазначають, що уряду України треба дуже серйозно поставитися до проблеми забруднення повітря та вжити конкретних заходів щодо скорочення викидів самих джерел. Незалежно від того, який саме шлях буде обраний – скорочення викидів електростанцій до встановлених законом меж, чи їх заміна на відновлювані потужності – цей процес є тривалим та дорогим.

Однак жодна із залучених сторін, включаючи міжнародне співтовариство, не повинна більше допускати відстрочення у цьому процесі. Доки небезпечні викиди в Україні не зменшуються, люди продовжуватимуть платити за це своїм життям.

#### **1.4 Вплив автотранспорту на екологію міст та людину**

Екологічні проблеми в усьому світі набувають першорядного значення, особливо у містах та промислових центрах, визнано, що основним забруднювачем довкілля великих міст є автотранспорт, негативний вплив якого пов'язані з токсичними газовими викидами продуктів горіння.

**1.4.1. Вплив автотранспорту на екологію міст.** Автомобільний парк, що є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища, зосереджений, переважно, у містах. Якщо в середньому у світі на 1 км<sup>2</sup> території припадає п'ять автомобілів, то щільність їх у найбільших містах розвинутих країн у 200-300 разів вища. У всіх країнах світу продовжується концентрація населення у великих міських агломераціях. З розвитком міст і зростанням міських агломерацій все більшої актуальності набуває своєчасне та якісне обслуговування населення, охорона навколишнього середовища від негативного впливу міського, особливо автомобільного, транспорту. Нині у світі налічується 300 млн. легкових, 80 млн. вантажних автомобілів та приблизно 1 млн. міських автобусів [38]. Автомобілі

спалюють величезну кількість цінних нафтопродуктів, завдаючи одночасно відчутну шкоду довкіллю, головним чином атмосфері. Оскільки основна маса автомобілів сконцентрована у великих і найбільших містах, повітря цих міст не тільки збіднюється киснем, а й забруднюється шкідливими компонентами газів, що відпрацювали.

Суперечності які притаманні автомобілю, мабуть, ні в чому не виявляються так різко, як у справі захисту природи. З одного боку, він полегшив людині життя, з іншого – отруєє її у прямому значенні слова. Фахівці встановили [39], що один легковий автомобіль щорічно поглинає з атмосфери в середньому понад 4 тони кисню, викидаючи з відпрацьованими газами приблизно 800 кг окису вуглецю, близько 40 кг оксидів азоту та майже 200 кг різних вуглеводнів. Якщо помножити ці цифри на 400 млн. одиниць світового парку автомобілів, можна уявити ступінь загрози, що ховається в надмірній автомобілізації.

Наприклад, у Японії через невеликі розміри території на одиницю площі припадає в 5 разів більше автомобілів, ніж у США [40]. Внаслідок такої концентрації автотранспорту забруднення повітря досягло критичного рівня. Регулювальники вуличного руху в центрі Токіо працюють у кисневих масках, змінюються кожні 2 години та проходять «реанімацію» в спеціальних боксах, куди накачується очищене повітря.

Вплив забруднювачів на компоненти природного середовища здійснюється через атмосферу при осадженні частинок пилу, продуктів згоряння, парів, аерозолів та інше. Забруднюючі речовини виявляються у снігу, підстилаючих ґрунтах, рослинах, тваринних організмах, оскільки у навколишньому середовищі існує кореляція між розподілом забруднюючих речовин, у атмосферному повітрі та іншими компонентами природного середовища. Збільшення кількості зваженого в повітрі та осілого на поверхні пилу пояснюється підвищеним зносом асфальтового покриття автомобільних доріг внаслідок застосування ошипованих шин.

Автомобіль, пробігши 900 км. споживатиме стільки ж  $O_2$ , скільки людина витрачає на дихання за цілий рік, автомобіль – головне джерело екологічних проблем.

Екологічний стандарт Євро-6 [41], вважається найновішим екологічним стандартом, який визначає ще більшу кількість вимог до вихлопних газів автомобілів з дизельними та бензиновими двигунами. Насамперед це стосується вмісту оксидів азоту, що викидаються дизельними двигунами в атмосферу. Зокрема, кількість допустимої концентрації оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) скорочено в п'ять разів – з 2 до 0,4 г/кВт·год, рівень твердих частинок (PM) зменшено вдвічі – з 0,02 до 0,01 г/кВт·год, а вміст залишкових вуглеводнів (НС) знижено в 3,5 рази - з 0,46 до 0,13 г/кВт·год. Відповідно до екологічного стандарту для легкових автомобілів норм Євро-6 (табл.1.3), викиди вуглекислого газу новими легковими автомобілями мають становити не більше 130 грамів на кілометр шляху [42], оксидів азоту у перерахунку на  $\text{NO}_x$  - 0,06 г/км, зважених часток - 0,005 г/км.

Таблиця 1.3

**Екологічні стандарти для легкових автомобілів порівняно з Євро-6  
(в одиницях г/км)**

Екологічний стандарт	Оксид вуглецю (II) (CO)		Вуглеводень		Летючі органічні речовини		Оксид азоту ( $\text{NO}_x$ )		Зважені частки (PM)	
	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б
Дизельне паливо/Бензин	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б	Д	Б
Євро-1	2,72 (3,16)	2,72 (3,16)	-	-	-	-	-	-	0,14 (0,18)	-
Євро-2	1,00	2,2	-	-	-	-	-	-	0,08	-
Євро-3	0,64	2,3	-	0,2	-	-	0,50	0,15	0,05	-
Євро-4	0,50	1,0	-	0,1	-	-	0,25	0,08	0,025	-
Євро-5	0,50	1,0	-	0,1	-	0,068	0,18	0,06	0,005	0,005*
Євро-6	0,50	1,0	-	0,1	-	0,068	0,08	0,06	0,005	0,005*

\*Відноситься тільки до автомобілів з двигунами з прямим упорскуванням.

З 1 січня 2014 року в Україні заборонено реєструвати автотранспорт, який не відповідає нормам Євро-4 – як новий, так і вживаний. Зміни клімату також впливають і на транспортну систему через зростання повторюваності та інтенсивності стихійних



гідрометеорологічних явищ [43]. Ступінь впливу може варіювати в залежності від режиму роботи транспортної системи та регіону країни та вимагають змін в проектуванні, конструюванні, роботі та підтримці транспортної системи. На територіях міських вулиць і доріг населених пунктів України слід враховувати особливості екологічних стандартів Євро при оцінці забруднення атмосферного повітря [44].

За результатами опитування [45] по над 60% громадян вважає, що економічному зростанню та охороні довкілля має надаватися однаковий пріоритет, й учетверо менше — 14,4% підтримує тезу, що економічне зростання має забезпечуватися, незважаючи на можливе погіршення екологічної ситуації. Більшість у суспільстві (58,4% ) бачить зв'язок між боротьбою зі зміною клімату, ефективнішим використанням енергії та можливістю пришвидшення економічного зростання і створення робочих місць в Україні. Однозначно у цьому впевнений кожен третій громадян України (30,6%). Абсолютна більшість громадян вважає зміну клімату серйозною проблемою в Україні. Боротьба зі зміною клімату в Україні не має одного чи навіть декількох головних відповідальних. Порівняно найчастіше респонденти давали відповідь, що це завдання влади (22,4%), особисто кожного (12,5%), громадянського суспільства (11,5%) та усіх разом узятих (29,6%). Найменше серед громадян покладають відповідальність на бізнес (6%) і промисловість, а також обласну і місцеву владу (4%). 86% громадян вважає внесок влади у вирішення екологічних проблем недостатнім. Найбільше негативних оцінок (89,1%) серед респондентів віком 45–54 роки. Молодь до 24 років навпаки, удвічі частіше за інших відповідала схвально про внесок влади в охорону довкілля (13,4%). Перехід до зеленої економіки частіше пріоритетним називають міські жителі (43% до 33% серед сільських жителів). Те ж стосується і проблеми ефективного управління відходами (54% до 48% серед сільських жителів) і чистого та безпечного транспорту (24% проти 20%).

На думку понад половини громадян (53%), забезпечення найменшої ціни на енергію, наскільки це можливо має бути найбільшим пріоритетом держави у сфері енергетики. Серед першочергових завдань громадяни також бачать інвестування і

розвиток чистих енергетичних технологій (32,5%), забезпечення сталого енергопостачання та розвиток кращої енергетичної інфраструктури (25,5%).

Головна екологічна проблема для 70% громадян — забруднення водойм та неякісна питна вода. Ця частка збільшилася на 10%, як порівняти з 2018 роком. Вирубка лісів займає друге місце серед екологічних проблем, згідно з думкою 63,3% опитаних. До трійки найбільш актуальних проблем для громадян входить забруднення повітря (54,9%). Найрідше серед екологічних проблем громадяни України називають знищення озонового шару (6%) та скорочення біорізноманіття (4%).

Для охорони навколишнього середовища та охорони здоров'я від впливу транспорту визнані основні шляхи, що відображені в Амстердамській Декларації [46]:

- забезпечення екологічно стійкої мобільності та сприяння розвитку більш ефективних транспортних систем;
- сприяння впровадженню стратегій та реалізації заходів, спрямованих на забезпечення безпеки транспорту для здоров'я людей;
- зниження викидів парникових газів та атмосферних забруднювачів транспортного походження, а також рівні транспортного шуму;
- сприяння сталому економічному розвитку та створенню нових робочих місць шляхом інвестицій у транспорт, який не завдає шкоди довкіллю та здоров'ю людини.

Слід відмітити, що на даний час поки не визнані конкретні шляхи вирішення протиріч між прогресом цивілізації та екологією, однак очевидно, що для зростання та розвитку цивілізації прогрес є необхідним й є важливим існування екологічно чистого міста [47÷49]. Екологія має стати не гальмом прогресу, вона має стати орієнтиром та помічником прогресу. Для вирішення проблем, пов'язаних з розвитком транспортної галузі [50], реалізація концепції сталого розвитку транспорту, що передбачає досягнення рівноваги між суспільством та навколишнім середовищем [51], необхідно визначити пріоритетні напрямки розвитку [52] які передбачають:

- Максимально можливе зниження всіх видів негативного впливу транспорту на довкілля та здоров'я населення – викидів забруднюючих речовин,

парникових газів, шумового забруднення, споживання невідновлюваних джерел енергії, відчуження земель, забруднення відходами транспортної діяльності.

➤ Зниження перевантаженості міських вулично-дорожніх мереж особистим транспортом за рахунок пріоритетного розвитку, підвищення ефективності та комфорту громадського пасажирського транспорту.

➤ Підвищення ефективності управління та перерозподіл транспортного попиту за рахунок підвищення ефективності та координації транспортного та територіального планування, розвитку більш ефективних транспортних систем, сприяння застосуванню інформаційних технологій.

➤ Створення екологічно безпечніших та енергоефективних видів транспорту та транспортних систем та сприяння на цій основі сталому економічному розвитку країни та створенню нових робочих місць.

➤ Зміцнення здоров'я населення та підвищення якості життя у містах за рахунок забезпечення сприятливих умов для безпечного та фізично активного (немоторизованого) пересування.

Таким чином, через зростаючий негативний антропогенний вплив процесів урбанізації на людину з урахуванням концепції нульового забруднення до 2050 року в рамках європейського Першого плану дій з економіки замкнутого циклу [53] все гостріше стоять питання екологічного захисту міського середовища та природних екосистем, що свідчить про важливість та актуальності порушеної проблеми [54,55].

**1.4.2. Вплив автотранспорту на стан навколишнього природного середовища у м. Київ.** Оцінка стану забруднення атмосферного повітря проводилась шляхом порівняння з відповідними гранично допустимими концентраціями (ГДК) речовин у повітрі населених міст у серпні 2019 року за даними спостережень ЦГО ім. Бориса Срезневського. ГДК розподіляються на середньодобові (ГДК<sub>с.д.</sub>), і з ними порівнюються середні концентрації, та максимально разові (ГДК<sub>м.р.</sub>), з ними порівнюються разові максимальні концентрації шкідливих речовин.

За допомогою нескладних розрахунків величина ІЗА приводиться до величини концентрацій діоксиду сірки у долях ГДК. Згідно існуючих методів оцінки рівень забруднення вважається низьким, якщо ІЗА нижче 5,0; підвищеним – при ІЗА від 5,0 до 7,0; високим – при ІЗА від 7,0 до 13,0; дуже високим – при ІЗА рівним 14,0 та більше [56]. Спостерігається також високий рівень діоксинів у навколишньому середовищі [57].

У серпні за ІЗА загальний рівень забруднення по місту і на дванадцяти постах характеризувався, як високий. На одному посту рівень забруднення характеризувався, як підвищений, ще на одному – як низький. На двох постах ІЗА не розраховувався тому, що визначалась лише одна домішка.

Загалом по місту у серпні середньомісячні концентрації п'яти забруднювальних речовин (другого та третього класу небезпеки) досягали та перевищували ГДК<sub>с.д.</sub>: діоксиду азоту – у 3,0 рази, формальдегіду – у 2,3 рази, діоксиду сірки та оксиду азоту – у 1,2 рази, вміст фенолу був на рівні 1,0 ГДК<sub>с.д.</sub>

Вміст діоксиду азоту у серпні за середньомісячними концентраціями перевищував рівень ГДК<sub>с.д.</sub> на всіх постах, крім ПСЗ №5 (пр. Науки – район Багринової гори).

Найбільші середньомісячні концентрації відмічені: на площі Перемоги, Бессарабській площі, вулиці Семена Скляренка – 3,5 ГДК<sub>с.д.</sub>; на інших постах середній вміст діоксиду азоту був у межах 3,0-3,3 ГДК<sub>с.д.</sub>, на ПСЗ № 5 – 1,0 ГДК<sub>с.д.</sub> Максимальний вміст цієї домішки був у межах 1,0-1,2 ГДК<sub>м.р.</sub>, лише в районі вулиці Інженера Бородіна та проспекту Науки – нижче рівня ГДК<sub>м.р.</sub> Всього з діоксиду азоту у серпні зафіксовано 35 випадків перевищення ГДК<sub>м.р.</sub>, що становило 3,3% від загальної кількості спостережень за цією домішкою (у минулому місяці – 1,8%). Найбільша кількість випадків перевищення ГДК<sub>м.р.</sub> з діоксиду азоту зафіксована на площі Перемоги, вулицях Каунаська та Скляренка – 7,7% [35].

Вміст формальдегіду визначався на 13-ти постах. Найбільший середньомісячний вміст формальдегіду зафіксовано на Бессарабській і Деміївській площах, проспектах Перемоги і Оболонському, вулиці Семена Скляренка – 2,7 ГДК<sub>с.д.</sub> На інших постах середньомісячні концентрації формальдегіду були у межах 2,0-2,3

ГДК<sub>с.д.</sub>, на пр. Науки – 1,0 ГДК<sub>с.д.</sub>. Максимальні концентрації формальдегіду були на рівні 0,2-0,5 ГДК<sub>м.р.</sub>

Вміст діоксиду сірки перевищував рівень ГДК<sub>с.д.</sub> майже на всіх постах міста. Найбільші середньомісячні концентрації діоксиду сірки на рівні 1,6 ГДК<sub>с.д.</sub> зафіксовані на вулиці Олександра Довженка, проспекті Перемоги, площах Бессарабській, Деміївській, Перемоги; ще на семи постах середньомісячні концентрації були у межах 1,1-1,5 ГДК<sub>с.д.</sub>, на Гідропарку – 0,9 ГДК<sub>с.д.</sub>, на проспекті Науки – 0,1 ГДК<sub>с.д.</sub>. Максимальні концентрації на постах міста становили <0,1-0,2 ГДК<sub>м.р.</sub>

Середньомісячні концентрації завислих речовин перевищували рівень ГДК<sub>с.д.</sub> в районах Бессарабської площі та проспекту Перемоги в 1,2 рази. На інших постах середньомісячні концентрації завислих речовин були у межах 0,5-0,8 ГДК<sub>с.д.</sub>. Максимальні разові концентрації завислих речовин коливались у межах 0,2-0,4 ГДК<sub>м.р.</sub>. Середньомісячні концентрації фенолу на усіх шести постах були на рівні 1,0 ГДК<sub>с.д.</sub>, максимальні разові концентрації – 0,5-0,6 ГДК<sub>м.р.</sub>. Середньомісячна концентрація оксиду азоту у серпні була на рівні 1,2 ГДК<sub>с.д.</sub>, максимальна становила 0,3 ГДК<sub>м.р.</sub>. Оксид азоту визначався тільки на Деміївській площі – в районі інтенсивного руху автотранспорту. Середньомісячні концентрації сірководню на трьох постах, де вимірювалась ця домішка, становили 0,003 мг/м<sup>3</sup>, максимальні – 0,005 мг/м<sup>3</sup> (0,6 ГДК<sub>м.р.</sub>). Середньомісячні та максимальні разові концентрації оксиду вуглецю на постах і загалом по місту не перевищували рівнів відповідних санітарно-гігієнічних нормативів і були в межах <0,1-0,5 ГДК<sub>с.д.</sub> та 0,1-0,7 ГДК<sub>м.р.</sub> відповідно [56].

Вміст аміаку, хлористого водню та фтористого водню не перевищували рівень відповідних санітарно-гігієнічних нормативів. За інтегральним показником – ІЗА найбільш забрудненими у серпні були райони Деміївської та Бессарабської площ. Високим рівнем забруднення повітря характеризувались також вулиця Семена Скляренка, проспекти Перемоги (район метро «Святошин») і Оболонський, вулиці Каунаська, Олександра Довженка (поблизу метро «Шулявка»), площа Перемоги, бульвар Лесі Українки, вулиці Академіка Стражеска, Попудренка і район Гідропарку (поблизу мосту метро та автомагістралі). Повітря на вулиці Інженера Бородіна (район

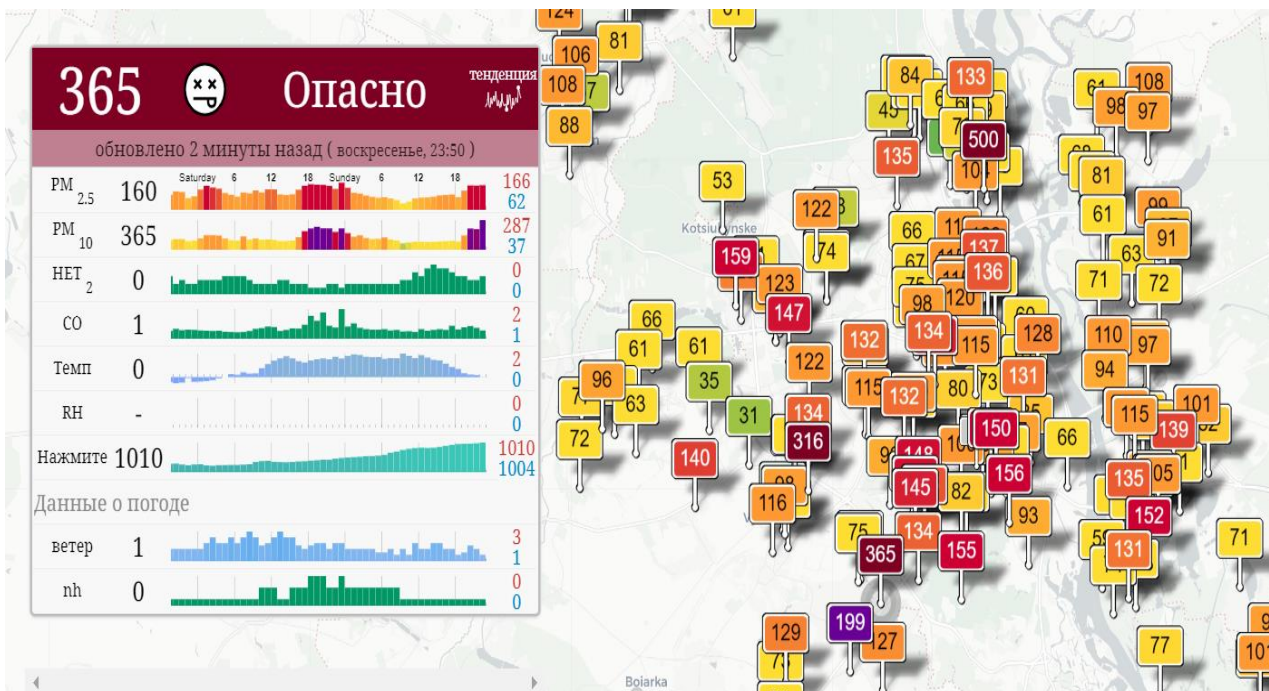


Рис.1.8. Индексы якості повітря територій м. Києва

ДВРЗ) характеризувалось підвищеним рівнем забруднення, на проспекті Науки (поряд з метеомайданчиком обсерваторії) – низьким рівнем [58]. Загалом у серпні, порівняно з попереднім місяцем, спостерігалось деяке підвищення середнього вмісту формальдегіду, діоксиду азоту і оксиду азоту.

У столиці України 17 лютого 2022 року, зафіксовано один із найвищих показників забруднення повітря у світі. Зазначається, що станом на 9:30 індекс Києва становить 155 при нормі 50. При такому рівні атмосферного забруднення людям із захворюваннями дихальної системи радять одягати респіратори, у приміщеннях закривати вікна та включати очищувачі повітря, а також виключити спортивні заняття на відкритому повітрі. Київ знаходився на шостому місці, до першої трійки увійшли Лахор (Пакистан), Колката (Індія) та Дакка (Бангладеш).

У Києві продовжують удосконалювати міську систему моніторингу якості повітря. У всіх районах Києва змонтовано 46 датчиків моніторингу якості повітря [59]. Це суттєвий крок до розширення існуючої системи контролю за станом повітря в столиці. На відміну від датчиків громадського контролю, встановлені містом індикативні датчики аналізують повітря за більшою кількістю показників, є сертифікованими, більш точними та інформативними (рис.1.8).

**1.4.3 Вплив забруднюючих речовин на здоров'я людини.** Дослідження [35] рівня забруднення твердими частинками 56 найбільших міст світу (із загальною чисельністю населення 608 млн осіб) на підставі даних моніторингу ВООЗ, атмосферного моделювання, супутникового дистанційного зондування та даних моніторингу поверхні, і виявили, що не менше 96% населення цих міст дії  $PM_{2.5}$  у концентраціях, що перевищують рекомендовані ВООЗ. Зазначається, що міста з найвищим рівнем забруднення перебувають у країнах із нижчим рівнем економіки. За статистикою [36], в середньому один легковий автомобіль викидає в атмосферу за день близько одного кілограма різних токсичних і канцерогенних речовин. До того ж подібні речовини здатні акумулюватися та перебувати в навколишньому середовищі до 5 років. Вантажні машини та автобуси виробляють більше вихлопних газів, ніж легкові автомобілі. Цей факт безпосередньо пов'язаний з режимом роботи й об'ємами двигунів внутрішнього згоряння автомобілів. Автобус, на відміну від легкового авто, постійно викидає в повітря оксиди сірки, вуглецю та сполуки свинцю.

За хімічним складом і властивостями, а також характером впливу на організм людини забруднюючі речовини поділяють на групи [60,61].

1. Нетоксичні речовини (азот, кисень, водень, водяна пара, вуглекислий газ та інші природні компоненти атмосферного повітря).

2. Оксид вуглецю або чадний газ (CO) – продукт неповного згоряння палива, безбарвний газ, без смаку та запаху. При поглинанні оксид вуглецю швидко проникає крізь мембрани капілярів, близько 80-90% з'єднується з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін, у результаті знижується здатність крові переносити кисень. Кисневе голодування внаслідок отруєння оксидом вуглецю може викликати випадки неврологічної недостатності, виражені у вигляді непритомності та зміни колірної чутливості очей. Токсична дія CO проявляється в органах та тканинах, що споживають багато кисню, таких як мозок, серце, скелетні м'язи. У результаті при вдиханні оксиду вуглецю зростає можливість аварій. Вплив оксиду вуглецю (CO) на центральну нервову систему проявляється у зміні колірної чутливості очей – зростає ймовірність аварій. Оксид вуглецю впливає на організм людини як подразник слизових оболонок через 2 - 3 години при концентрації до  $115-575 \text{ мг/м}^3$  і викликає

отруєння при концентрації 2300 - 3500 мг/м<sup>3</sup>. Збільшені середньодобові концентрації оксиду вуглецю збільшує смертність людей із серцево-судинними захворюваннями. Оксид вуглецю утворюється в ході передполум'яних реакцій, при згорянні вуглеводневого палива з деяким недоліком повітря (при упорскуванні палива на пізніх стадіях), а також при окисленні частинок сажі в зоні з дефіцитом кисню. Оксид вуглецю має наркотичну дію, при вдиханні поєднується з гемоглобіном крові, витісняючи з неї кисень.

3. У її складі оксиди азоту – NO і NO<sub>2</sub>. Викликає сильне подразнення слизових оболонок очей, при високих концентраціях оксидів азоту (понад 0,004%) виникають астматичні прояви і набряк легенів.

*Оксид азоту (NO)* - безбарвний газ, легко окислюється киснем, що міститься в атмосферному повітрі, і перетворюється на діоксид азоту.

*Діоксид азоту (NO<sub>2</sub>)* - стабільний газ жовтувато-бурого кольору, що сильно погіршує видимість і в більшості випадків надає характерного коричневого відтінку повітря. Діоксид азоту в 7 разів токсичніший за оксид азоту, він впливає на організм людини як подразник при концентрації до 15 мг/м і викликає набряк легень при концентрації 200 - 300 мг/м<sup>3</sup>. Механізм утворення оксидів азоту досить складний і визначається наявністю кількох режимних факторів - високої температури в циліндрі та наявністю надлишкового кисню в паливоповітряній суміші. Перелічені умови виконуються тільки на режимах роботи двигуна, на яких викиди NO<sub>x</sub> виявляються досить значними.

4. У цю групу входять різні вуглеводні (сполуки типу C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). Вуглеводні - мають неприємний запах, мають подразнюючу дію і є канцерогенами. Утворення вуглеводнів у циліндрах двигунів внутрішнього згорання обумовлено переважно порушеннями у процесі згорання палива. Будь-які несправності системи запалення, що призводять до перепусток циклів, змін у часі подачі іскри, її характеристик, якості розпилювання палива призводять до різкого зростання викидів C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Велике значення при цьому має склад суміші та якість сумішоутворення, при порушеннях яких частка незгорілого палива різко збільшується, призводячи до зростання викидів C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. На швидкості бензиновий двигун виділяє 0,07% вуглеводнів (від загального



викиду), а малому ходу — 0,98%. Виявлено понад 160 вуглеводневих компонентів (метан, бензол, ацетилен та ін.), токсикологічні властивості більшості з них ще не вивчені. Найбільш токсичними, і при цьому канцерогенними є поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ). Максимальний рівень токсичності (агресивність х концентрація) має бенз(ос)пірен. Токсичність газоподібних низькомолекулярних вуглеводнів проявляється у наркотичній дії на організм людини, викликаючи стан ейфорії, що збільшує ймовірність ДТП. поліциклічні ароматичні вуглеводні, потрапляючи в організм людини, поступово накопичуються до критичних концентрацій та стимулюють утворення злоякісних пухлин.

5. Цю групу складають органічні сполуки – альдегіди. У відпрацьованих газах містяться в основному формальдегід, акролеїн й оцтовий альдегід. Ці сполуки, подразнюють органи зору, дихальні шляхи, вражають центральну нервову систему, нирки, печінку. Фотохімічний смог викликає запалення очей, слизової оболонки носа і горла, відзначаються симптоми задухи, загострення легневих і нервових захворювань, бронхіальної астми. *Формальдегід* - безбарвний газ із різким дратівливим запахом, відноситься до групи альдегідів. Максимальна кількість альдегідів утворюється під час роботи двигуна на холостому ходу, коли температура згоряння палива знижена. Наголошуються різні варіації індивідуальних реакцій людей на присутність в атмосферному повітрі формальдегіду. У здорових людей помітно значне збільшення ознак подразнення за рівнями концентрації вище 0,1 мг/м<sup>3</sup>. Переважними симптомами впливу формальдегіду на здоров'я людини є подразнення очей (при концентрації 0,6 - 1,2 мг/м), носа та горла (при концентрації 0,1 - 3,1 мг/м), пересихання слизової оболонки в носі (при рівні концентрації 0,5 - 2,0 мг/м<sup>3</sup> протягом 5 годин), печіння в носі та очах, сльозотеча, чхання (при концентрації 2,5 - 3,7 мг/м), при концентрації понад 3,7 мг/ м<sup>3</sup> - сильна сльозотеча, кашель, нудоту, утруднене дихання.

6. Компоненти цієї групи – сажа та інші дисперсні частинки. Сажа – твердий вуглець (С) – є основним компонентом нерозчинних твердих частинок. Утворюється сажа при термічному розкладанні вуглеводнів у газовій чи паровій фазі за нестачі кисню. Механізм освіти включає кілька стадій: освіти зародків; зростання зародків до

первинних (шестикутних платівок графіту); збільшення розмірів частинок (коагуляція) до складних утворень конгломератів, що включають 100-150 атомів вуглецю; вигорання. Викиди сажі з газами, що відпрацювали, у дизельних двигунів більше, ніж у двигунів з іскровим запалюванням. Утворення сажі залежить від властивостей палива: що більше співвідношення вуглецю (С) до водню (Н), то вихід сажі вище. У процесі утворення сажі на поверхні конгломератів сорбуються голкоподібні утворення ПАВ, у т.ч. бензапірен, тому сажа відноситься до класу небезпечних забруднюючих речовин. Видимі автомобільні викиди стають при концентрації сажі  $130 \text{ мг/м}^3$ . Розміри частинок, що становлять  $0,19\text{-}0,54 \text{ мкм}$ , можуть відкладатися в носових пазухах, трахеях і бронхах. Адсорбуючи на своїй поверхні бензапірен, сажа надає більш негативний вплив, ніж у чистому вигляді. Сажа як будь-який дрібний пил діє на органи дихання, але головна небезпека полягає в тому, що на ній адсорбуються канцерогенні речовини, отже, зростає ризик захворювань на рак [62,63].

7. До цієї групи відносять сірчисті сполуки – сірчаний ангідрид, сірководень, які мають місце в відпрацьованих газах, коли використовується паливо з підвищеним вмістом сірки. Сірчисті сполуки надають подразнюючу дію на слизові оболонки горла, носа, очей людини. Сірчистий газ викликає онкологічні захворювання. Вдихання вологого повітря, що містить оксид сірки, особливо небезпечний для людей, які страждають на серцево-судинні захворювання. Тривале вдихання сірчистого газу підвищеної концентрації діє на організм особливо токсичне, викликаючи порушення діяльності нервової системи [63].

*Сірка діоксид* - безбарвний газ з різким запахом, добре розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту. Реакція організму людини на присутність в атмосферному повітрі концентрацій діоксиду сірки дуже швидка (протягом кількох хвилин до однієї години). Серед виявлених ознак – зміна показників дихальної здатності (при концентрації  $1,1 - 1,7 \text{ мг/м}^3$ ), збільшення специфічного вентиляційного опору дихальних шляхів, а також такі явища як хрипи та задишка, подразнення слизової очей, отруєння, спричинене порушенням вуглеводного та білкового обміну. Тривалий вплив навіть щодо низьких концентрацій сірчистого ангідриду збільшує

смертність від серцево-судинних захворювань, сприяє виникненню бронхітів, астми та інших респіраторних захворювань. Суміш  $\text{SO}_2$  та  $\text{CO}$  при тривалому впливі викликає порушення генетичної функції організму.

8. До складу цієї групи входять свинець та його сполуки. Ці компоненти виникають у відпрацьованих газах при використанні етилованого бензину. *Сполуки свинцю* вражають органи і тканини організму, нервову систему, шлунково-кишковий тракт, порушують обмінні процеси, призводять до зростання онкологічних захворювань. Небезпека отруєння сполуками свинцю посилюється тим, що вони, як канцерогенні речовини не видаляються з організму, а накопичуються в ньому, так само як у ґрунті та рослинах. В організмі людини свинець утримується білками еритроцитів, потім надходить у плазму крові та досягає нирок, печінки й інших органів. У кістках свинець накопичується поступово та надовго лишається в них. Ураження ясен, розлад кишечника, захворювання нирок, судин і центральної нервової системи, пригнічення синтезу білка, негативний вплив на генетичний апарат клітини – результат отруєння свинцем. Якщо з водою людина отримує більше 0,1 мг іонів свинцю на добу, то це може привести до підвищеної стомлюваності, депресії, порушенню функцій нервової системи, анемії, ниркової недостатності, судом. Іони свинцю можна видалити з води, осадивши їх у вигляді сульфідів. Свинцеве отруєння навіть на ранніх стадіях впливає на головний мозок, в результаті чого у дітей знижується інтелект, порушується координація рухів, погіршується слух і пам'ять [63].

З 1000 т забруднюючих речовин, щодня потрапляють в повітря з вихлопів автомобілів, 200 т чадного газу, 800 т вуглеводнів та інших сполук. Пріоритетною шкідливою домішкою у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині, є оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), частка якого становить в середньому 69% загальної кількості викидів шкідливих речовин. Частки інших домішок розподілені наступним чином: 17% припадає на оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) і 14% – на сумарні вуглеводні ( $\text{CH}$ ). Тому як вихлопні гази сприяють зниженню кількості кисню в крові і заважають нормальному газообміну, слід виводити організм на корисні прогулянки в передмістя або в віддалений від дороги парк, щоб отримати порцію свіжого повітря.

**Ефект впливу забруднюючих речовин на здоров'я людини**

Ефект впливу	Концентрація домішки, мг/м <sup>3</sup>		
	оксид вуглецю CO	діоксид сірки SO <sub>2</sub>	оксиди азоту NO <sub>x</sub>
Ознаки легкого отруєння або подразнення слизових оболонок через 2 - 3 год	115-575	130	20
Отруєння через 30 хвилин	2300 – 3500	210-400	100
Небезпечно для життя при короткочасному впливі	5700	1600	150

Склад вихлопних газів досить різноманітний і велика частина компонентів токсична, ефект впливу найбільш небезпечних забруднюючих речовин на здоров'я людини наведено у (табл. 1.4). При постійному впливі вихлопів варто урізноманітнити своє меню антиоксидантами, які містяться в ягодах, фруктах, зелених овочах і зеленому чаї, а також у насінні, та пити більше води, тому як вона сприяє детоксикації.

Такий "допінг" допомагає організму справлятися з наслідками вдихання хімічного коктейлю та підтримує здоров'я. Кожна людина повинна задуматися про те, які серйозні наслідки несе атмосфера, просякнута шкідливими хімічними речовинами. Життя, дане нам одного разу природою не повинно порушуватися штучними чинниками, які негативно позначаються на здоров'ї людини. Однак виключити з життя наявність автотранспорту неможливо або проблематично, але цілком є можливим і необхідним скоротити кількість шкідливих домішок, що містяться в вихлопних газах. Одним із шляхів екологізації автомобільного транспорту є переробка його на альтернативні види палива.

Оцінка забруднення атмосферного повітря проводиться з урахуванням кратності перевищення показників забруднення (ПЗ) їх нормативного значення (ГДК) і включає визначення рівня забруднення (допустимий, недопустимий) та ступеню його небезпечності (безпечний слабо небезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з таблицею 1.5.

**Оцінка забруднення атмосферного повітря**

№	Кратність перевищення ГДК	Ступінь небезпечності	Рівень забруднення
1.	$\geq 1,0$	Безпечний	Допустимий
2.	$> 1,0 \div 2,0$	Слабко небезпечний	Недопустимий
3.	$\geq 2,0 \div 4,4$	Помірно небезпечний	Недопустимий
4.	$> 4,4 \div 8,0$	Небезпечний	Недопустимий
5.	$\geq 8,0$	Дуже небезпечний	Недопустимий

В даний час у середньому кожна сім'я має 1-2 автомобілі. Оскільки люди переважно проживають у містах, відбувається заповнення всієї території міста транспортом, і внаслідок цього утворюється зона підвищеної концентрації шкідливих речовин. Деякі з цих речовин осідають на дорогах, інші піднімаються в повітря, накопичуються в атмосфері і випадають з опадами, забруднюючи ґрунти і воду.

Таким чином, можна констатувати, що населення міст відчуває постійний екологічний пресинг з боку антропогенних факторів, що змінює навколишнє середовище. Збільшення рівня захворюваності серед мешканців різного віку свідчить про погіршення комфортності життя.

**1.5 Методи очищення повітряного басейну урбанізованих територій**

Захист атмосферного повітря від забруднень, що містяться в димових газах агрегатів паливно-енергетичного комплексу, вихлопних газах двигунів є необхідним та наважливим для життєдіяльності людини. Тому очищення газових викидів в атмосферу є актуальною проблемою на вирішення якої направлені зусилля всього людства.

Всі способи очищення газів визначаються в першу чергу фізико-хімічними властивостями домішок, їх агрегатним станом, дисперсністю, хімічним складом а ін. Існуючі методи очищення можна поділити на дві групи: некаталітичні (абсорбція й адсорбція) та каталітичні. Основні способи:

➤ *Знешкодження* – обробка домішок до нешкідливого для людей, тварин, рослин і в цілому для навколишнього середовища стану.

- *Очищення* – видалення (виділення, уловлювання) домішок з різних середовищ.
- *Знезараження* – інактивація (деактивація) мікроорганізмів різних видів, що знаходяться в газоповітряних викидах, рідких і твердих середовищах.
- *Дезодорація* – обробка одорантів (речовин, що володіють запахом), що містяться в повітрі, воді або твердих середовищах, з метою усунення або зниження інтенсивності запахів.

Методи очищення промислових викидів від газоподібних домішок за характером протікання фізико-хімічних процесів поділяються на чотири групи: промивка викидів розчинниками домішок (метод абсорбції); промивка викидів розчинами реагентів, що поєднують домішки хімічно (метод хемосорбції); поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами (метод адсорбції); поглинання домішок шляхом застосування каталітичного перетворення [64].

Адсорбційний – шкідливі домішки вловлюють за допомогою поглиначів, в якості яких використовують активоване вугілля (як в протигазі), вапняк, а також рідини які поглинають – лужні розчини аміаку і вапна. Недоліки – необхідність установки громіздкого обладнання та періодичного очищення рідини яка поглинає. Окислювальний спосіб полягає у випалюванні шкідливих горючих домішок до вуглекислого газу і води; однак, виникає проблема викидів зайвих обсягів вуглекислого газу [65].

Каталітичний – пропускання газової суміші, що викидається через тверді каталізатори, в якості яких найчастіше використовують металеві сітки (наприклад, з платини або ванадію) або оксиди металів (цинку, алюмінію, марганцю та ін.). Каталізатори – це речовини, що прискорюють хімічні реакції, але самі в них не витрачаються. Іноді буває доцільно використовувати поєднання перерахованих вище методів (наприклад, застосовують адсорбційно-окислювальний метод або каталітичне окислення) [66].

- *Фільтрація* – досить поширений прийом тонкого очищення газів. Її переваги – порівняльна низька вартість обладнання (за винятком металокерамічних

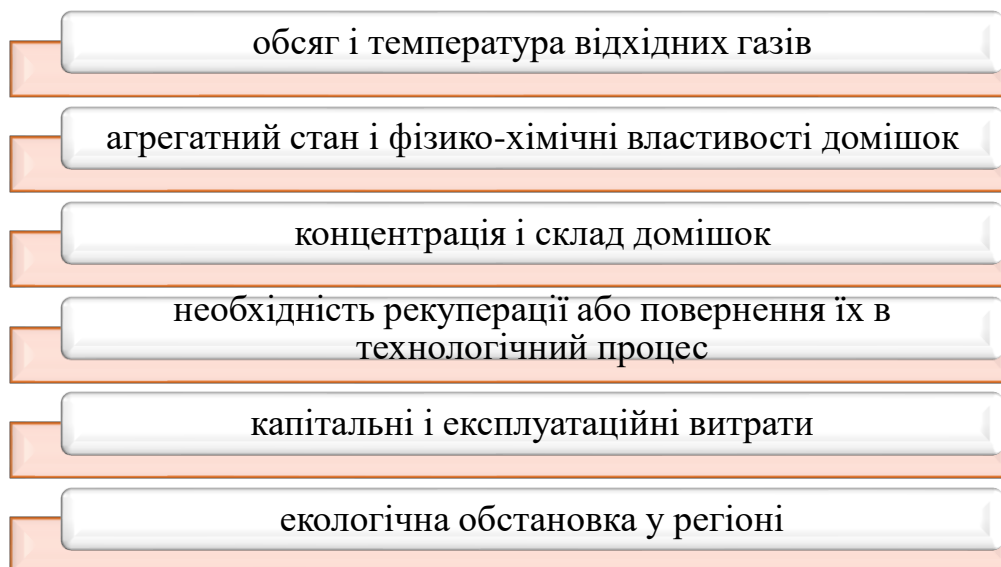
фільтрів) та висока ефективність тонкого очищення. Недоліки фільтрації – високий гідравлічний опір і швидке забивання фільтруючого матеріалу пилом [67].

Найпоширеніші з них – очищення за допомогою фотокаталітичних, адсорбційних і пилових фільтрів та очищення із застосуванням іонізуючих очисників. Фотокаталітичні фільтри з'явилися порівняно нещодавно. Це найбільш економічний та ефективний метод очищення повітря, аналогічний за своєю структурою природнім фотохімічним процесам. Він ґрунтується на розкладанні й окисленні токсичних домішок під впливом ультрафіолетового випромінювання. Фотокаталітичні фільтри знищують не тільки токсичні домішки: вони вбивають віруси і бактерії та знищують неприємні запахи в приміщенні. Адсорбційні вугільні фільтри усувають практично всі токсичні домішки з атмосфери, крім окисів вуглецю, окислів азоту, формальдегіду, які в чималих кількостях присутні в атмосфері великих міст. Тому вони малоефективні в міських квартирах або офісах, проте їх з успіхом можна застосовувати в заміських будинках [65].

Найбільш простими і досить дешевими є пилові очищувачі повітря, що складаються зі спеціальної тканини з різними волокнами. Ці волокна здатні затримувати частинки пилу середньої дисперсності, але не можуть очистити повітря від токсичних домішок. Пил, що осів в індустріальних містах, переважно містить 20% оксиду заліза, 15% оксиду кремнію й 5% сажі. Промислова пил включає також оксиди різних металів і неметалів, багато з яких токсичні. Це оксиди марганцю, свинцю, молібдену, ванадію, сурми, миш'яку, телуру. Пил та аерозолі не тільки ускладнюють дихання, але й призводять до кліматичних змін, оскільки віддзеркалюють сонячне випромінювання та ускладнюють відвід тепла від Землі.

➤ Санітарна очистка – це очищення газу від залишкового вмісту в газі забруднюючої речовини, з якою забезпечується дотримання встановлених для останнього ГДК в повітрі населених місць або виробничих приміщень. Санітарна очистка газоповітряних викидів проводиться перед надходженням газів, що відходять в атмосферне повітря, і саме на цій стадії необхідно передбачати можливість відбору проб газів з метою контролю їх на вміст шкідливих домішок [68].

Вибір методу очищення газів, що відходять залежить від конкретних умов виробництва та визначається переліком основних чинників:



Принципи роботи пиловловлюючих апаратів засновано на використанні різних механізмів осадження частинок: гравітаційним осадженням, під дією відцентрової сили, дифузійним осадженням, електричним (іонізаційні) осадженням та деяких інших. За способом уловлювання пилу апарати бувають – сухим, мокрим й електричним очищенням [68].

Каталітичні нейтралізатори випускають двох видів: окислювальні і біфункціональні. Перші зменшують викиди оксидів вуглецю та вуглеводнів на 80-90%, в них здійснюється опалювання продуктів неповного згоряння за допомогою нагнітачів, пульсарів або ежекторів. Другі знижують кількість викидів оксидів вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту на 70-80%, в них відбувається, з одного боку, відновлення оксидів азоту до азоту і кисню, з іншого – окислення оксидів вуглецю та вуглеводнів до вуглекислого газу та води [67].

Каталізатори та фільтри встановлюють на автомобілях іноземного виробництва. Зрозуміло, такі кроки значно підвищують вартість машин, тому ціна іномарок у кілька разів перевищує вартість вітчизняних. Але жорсткі екологічні вимоги, що введені в європейських країнах, змушують виробників йти на ці витрати, оскільки в результаті підвищується ефективність збереження чистоти атмосферного повітря. Однак будь-який каталізатор не вічний: через певний час (як правило, 7 років) його ефективність знижується, і тоді господар автомобіля змушений платити



податок за забруднення повітря. Саме в цей момент європейський або японський власник машини і прагне продати її. Куди? Ну, звичайно, в країни колишнього СНД, де присутній автомобільний дефіцит, а автовласники не платять податок за забруднення! Наші машини поки не оснащують каталізаторами і фільтрами, а численні іномарки на наших дорогах, як правило, старі, випущені 7 і більше років тому [69]. Результатом цього є катастрофічно брудне повітря в наших містах, що призводить, як ми вже говорили, до підвищеного рівня захворюваності населення.

Для захисту атмосфери від негативного антропогенного впливу вживаються наступні основні заходи:

#### 1. Екологізація технологічних процесів:

1.1. створення замкнених технологічних циклів, маловідходних технологій, що виключають потрапляння в атмосферу шкідливих речовин;

1.2. зменшення забруднення від теплових установок: централізоване теплопостачання, попереднє очищення палива від сполук сірки, використання альтернативних джерел енергії, перехід на паливо підвищеної якості (з вугілля на природний газ);

1.3. зменшення забруднення від автотранспорту: використання електротранспорту, очищення вихлопних газів, використання каталітичних нейтралізаторів для догорання палива, розробка водневого транспорту, перехід транспортних потоків за місто.

#### 2. Очищення технологічних газових викидів від шкідливих домішок.

3. Розсіювання газових викидів в атмосфері. Розсіювання здійснюється за допомогою високих димових труб (висотою понад 300 м). Це тимчасовий, вимушений захід, який здійснюється внаслідок того, що існуючі очисні споруди не забезпечують повного очищення викидів від шкідливих речовин.

#### 4. Влаштування санітарно-захисних зон, архітектурно-планувальні рішення.

➤ *Санітарно-захисна зона (СЗЗ)* – це смуга, що відокремлює джерела промислового забруднення від житлових або громадських будівель для захисту населення від впливу шкідливих факторів виробництва. Ширина СЗЗ встановлюється

в залежності від класу виробництва, ступеня шкідливості і кількості виділених в атмосферу речовин (50-1000 м) [70].

➤ *Архітектурно-планувальні рішення* – правильне взаємне розташування джерел викидів і населених місць з урахуванням напрямку вітрів, спорудження автомобільних доріг в обхід населених пунктів та ін. [71].

Забруднення повітря зваженими частинками може бути зменшено за допомогою наявних технологій (наприклад, зниження споживання енергії, особливо енергії, що виробляється шляхом спалювання палива, зміна способів пересування, планування землекористування).

Однак, слід відмітити, що у літературі практично відсутні уявлення про збереження та очищення повітря спеціальним обладнанням, яке розміщене на особливо забруднених територіях. З огляду на виявлені проблеми актуальним є розробка інженерно-планувальних рішень з очищення повітря, яке забруднюється викидами від магістральних мереж та доріг.

## Висновки до розділу 1.

У першому розділі проаналізовані проблеми забруднення повітряного простору урбанізованих територій (міст де понад 500 тис. населення) автотранспортом, розглянути стійкий транспорт як умова концепції сталого розвитку міста та його вплив на екологію міст. На підставі аналізу стану повітряного басейну урбанізованих територій визнано:

1. Найбільш помітний і значний вплив процесу урбанізації надають на стан атмосферного повітря, ґрунтів і водних об'єктів.

2. Досягнення рівноваги між суспільством та навколишнім середовищем, збереження чистого повітряного простору міста та планети загалом потребує комплексного підходу при її вирішенні.

3. Населення міст відчуває постійний екологічний пресинг з боку антропогенних факторів, що змінює навколишнє середовище. Збільшення рівня захворюваності серед мешканців різного віку свідчить про погіршення комфортності життя.

4. Основним джерелом забруднення повітря у містах є автомобільний транспорт. Для вирішення проблем, пов'язаних із розвитком транспортної галузі, реалізації концепції сталого розвитку транспорту необхідно визначати пріоритетні напрямки його розвитку з урахуванням екологічної складової.

5. Проблема забруднення автотранспортом повітря урбанізованих територій належить до пріоритетних при вирішенні завдань. оздоровлення навколишнього середовища міста та вимагає невідкладного та планомірного рішення.

6. Незважаючи на активну роботу фахівців щодо зниження забруднюючих речовин у вихлопних газах автомобілів, переходу на «зелені» технології загальний рівень забруднення повітря урбанізованих територій зростає.

7. У літературі практично відсутні уявлення про збереження та очищення повітря спеціальним обладнанням, яке розміщене на особливо забруднених територіях. З огляду на виявлені проблеми актуальним є розробка інженерно-

планувальних рішень з очищення повітря, яке забруднюється викидами від магістральних мереж та доріг.

8. У містобудівних документах відсутні положення та рекомендації щодо оцінки та обліку особливостей повітряного простору урбанізованих територій.

Наведені висновки свідчать про важливість та актуальність проблеми яку необхідно вирішувати, а саме формувати основи теорії та визначити методології очищення повітряного простору урбанізованих територій

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 2, 22, 24, 29, 30, 31, 39, 40, 47, 48,49. (за списком, який наведений в анотації).

## РОЗДІЛ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Мета другого розділу на основі аналізу стану повітряного простору територій міст при забрудненні його автомобільними викидами запропонувати концептуальну модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій, інфологічну модель об'єктів дослідження з урахуванням різних факторів: видів палива, розподілу токсичних та нетоксичних викидів у повітряному просторі, метеорологічних умов, рельєфу, щільності забудови.

#### 2.1 Теоретичні основи процесів забруднення повітряного простору урбанізованих територій

**2.1.1 Концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій.** Висновки зроблені на базі аналізу сучасного стану повітряного басейну урбанізованих територій покладено в основу розробки теоретичних уявлень збереження чистого повітря урбанізованих територій. Проблема чистого повітряного простору міста та планети загалом потребує комплексного підходу при її вирішенні і, отже, визначається складним, багатограним об'єктом дослідження.

Можна виділити три наріжні завдання які спрямовані на досягнення рівноваги між суспільством та навколишнім середовищем, збереження чистого повітряного простору урбанізованих територій

*1. Місто є нерівноважною екосистемою, на його територіях відбувається порушення природного екологічного балансу.*

Міста є провідною формою територіальної та соціально-економічної організації сучасного суспільства. Середовище - це сукупність факторів та елементів, що впливають на організм у місці його проживання. У містобудуванні міським

середовищем прийнято називати сукупність об'єктів містобудівних, міських інфраструктур, що утворюють архітектурно-планувальну структуру міста. У той же час міське середовище розглядається як сукупність об'єктів або компонентів природного середовища, антропогенних, природно-антропогенних та природних об'єктів [6÷7, 72÷73].

Місто як середовище існування людини характеризується такими основними особливостями:

- різноплановою забудовою, від одноповерхових будівель до висотних споруд;
- зосередженням на обмеженій площі безлічі комунікацій (газо- та водопроводи, каналізація, електромережі, телефонні лінії та ін).
- наявністю великої кількості різних видів транспорту та високою інтенсивністю дорожнього руху;
- наявністю підприємств, з різним ступенем небезпеки.

На урбанізованих територіях формуються дві субсистеми: природна та антропогенна (рис.2.1).

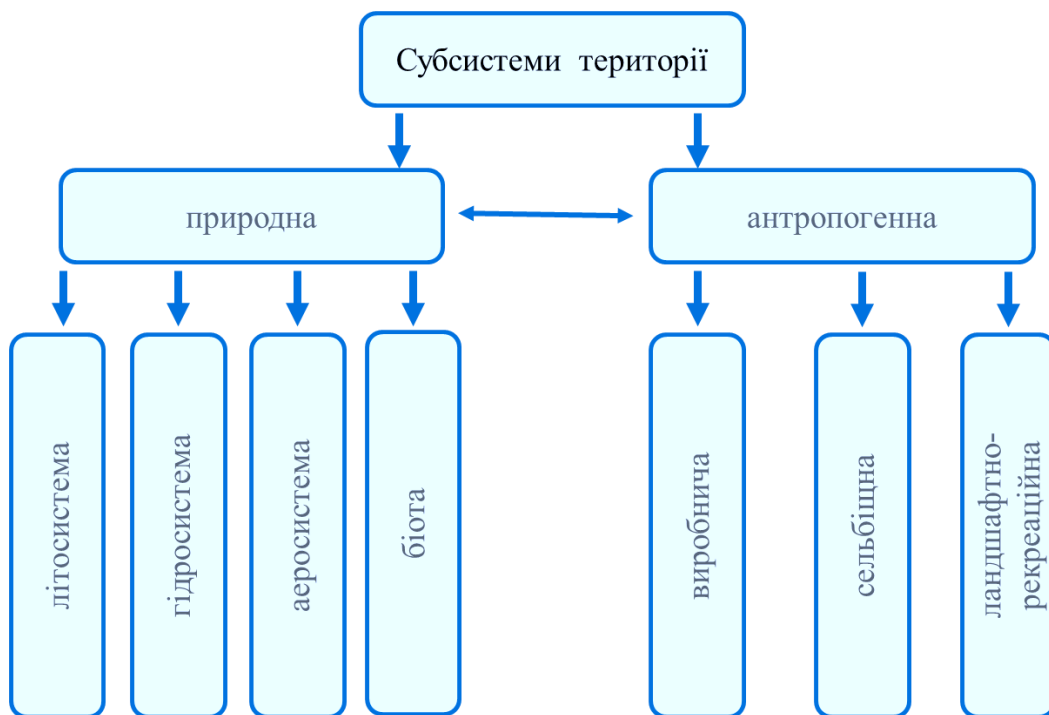


Рис.2.1. Структура субсистем територій

Природну субсистему поділяють на літосистему, гідросистему, аеросистему та біоту; а антропогенну - на виробничу, сельбищну, ландшафтне-рекреаційну, що у сукупності складають "інфраструктуру" різноманітних процесів життєдіяльності як окремої людини, так і суспільства (територіальної громади) у цілому.

Всі міста, особливо, великі крупні та найкрупніші - це антропогенні системи, які повністю залежать від навколишніх територій, оскільки вони п'ють чужу воду, дихають чужим повітрям, не можуть прогодувати своє населення і одночасно з цим викидають в біосферу велику кількість продуктів відходів виробництва та споживання. Населення міст відчуває постійний екологічний пресинг з боку антропогенних факторів [74÷77], що змінює навколишнє середовище, тому містобудівники та екологи вважають за необхідне, хоча б часткового та примусового, усіма можливими засобами забезпечувати стійкість цих субсистем, зберігати здатність до відновлення, прагнути досягнути рівноважного стану субсистем територій (рис.2.2).



Рис.2.2. Рівноважний стан субсистем територій

У багатьох містах відзначається тенденція до підвищення температури повітря, зниження загальної та ультрафіолетової радіації, швидкості вітру, відносної вологості, збільшення хмарності, кількості опадів, числа днів з туманами та інших мікрокліматичних змін [78].

2. *Основним джерелом забруднення повітря у містах є автомобільний транспорт.*

Проблема забруднення автотранспортом повітря урбанізованих територій належить до пріоритетних при вирішенні завдань. оздоровлення навколишнього

середовища міста та вимагає невідкладного та планомірного рішення. Для вирішення проблем, пов'язаних із розвитком транспортної галузі, реалізації концепції сталого розвитку транспорту необхідно визначати пріоритетні напрямки його розвитку з урахуванням екологічної складової [79]. На даний час, можна констатувати, що до умов роботи автотранспорту на урбанізованих територіях з метою збереження чистого повітря на цих територіях та водночас сталого розвитку транспорту та міста необхідний комплексний підхід (рис.2.3). А саме, оптимізації дорожньої мережі та контроль за використанням транспортних засобів; міське планування з високою щільністю забудови та розумні стратегії комунікації; розвиток міст, орієнтований на громадський транспорт та заохочення пішохідного та велосипедного руху; удосконалення громадського транспорту та просування екологічних транспортних засобів.



Рис.2.3. Умови сталої роботи автотранспорту та збереження чистого повітря урбанізованих територіях.

3. *Розвиток та функціонування міських структур визначається, як правило, не законами природи, а потребами суспільства.*



Зоною комфорту людини називають область її життєвого простору із найменшим рівнем тривожності. У зоні комфорту людина відчувається безпечно та розслаблено, вона робить звичні дії: ходить на роботу, використовує знайомі маршрути, вирішує стандартні для неї завдання тощо. Між зоною комфорту та критичним рівнем стресу (зоною паніки) існує область зростання. Саме в ній відбувається максимальний розвиток та збільшення продуктивності.

Негативні зміни в екологічній ситуації неминуче призводять до погіршення якості життя людей, практично у всіх сферах їх життєдіяльності і, насамперед, здоров'я. Збільшення рівня захворюваності серед мешканців різного віку свідчить про погіршення комфортності життя.

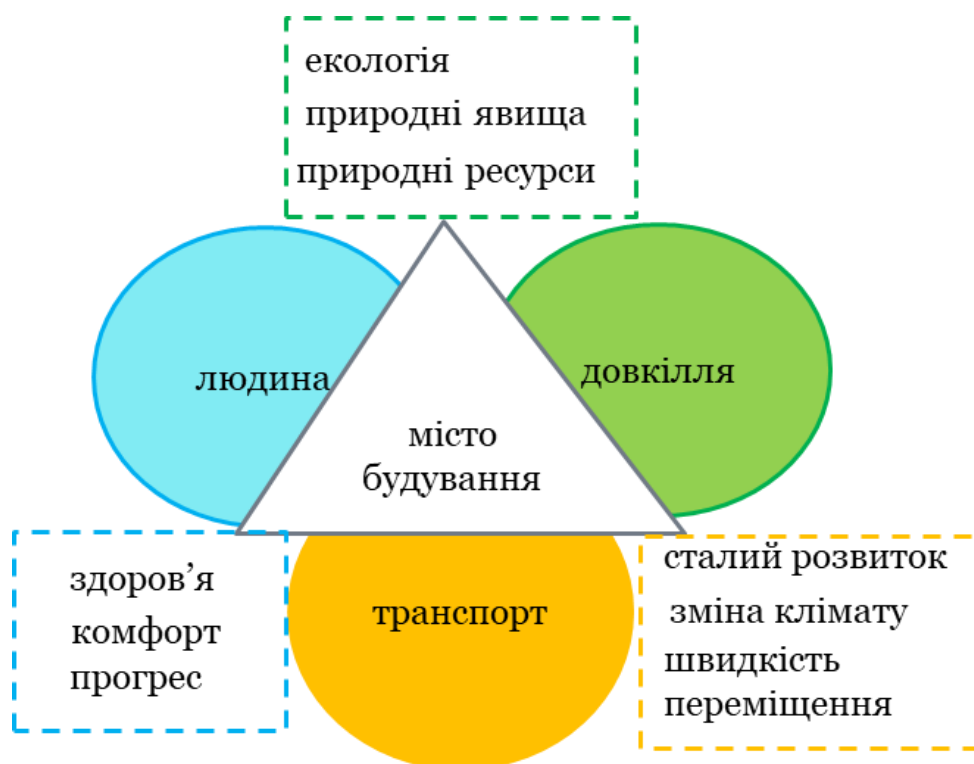


Рис. 2.4. Концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій

Тут, слід зазначити, що в останні роки у світі відбувається багато техногенних катастроф, аварій причини яких все частіше пов'язують із людським фактором. Людина стикається з багатьма проблемами навколишнього середовища, виникнення яких пояснюється, головним чином, небезпечними явищами, пов'язаними із забрудненням повітря, погодою, кліматом та водою.

Таким чином, автором [80] пропонується до розгляду концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій як системна цілісність об'єктів, яка складається з трьох об'єктів (рис.2.4):

- *людини*, яка прагне комфортне жити, а комфорт вимагає постійного прогресу і в той же час зберігати головне своє надбання -здоров'я;
- *транспорту*, який пов'язаний з необхідністю швидкого переміщення товарів, послуг, що вимагає сталого розвитку економіки та призводить до зміни клімату;
- *довкілля*, стан якого під антропогенним впливом погіршується на тлі посилення природних катаклізмів.

Концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій складається з трьох об'єктів, де елементи кожного об'єкту зв'язані один з іншим. Виділено основні поняття, що характеризують цілісну систему об'єктів і є ознаками в цій галузі.

Основні шляхи реалізації концептуальної моделі переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій можна поділити на чотири напрямку: планувальні; технологічні; санітарно-технічні; контрольньо-заборонні (рис.2.5).

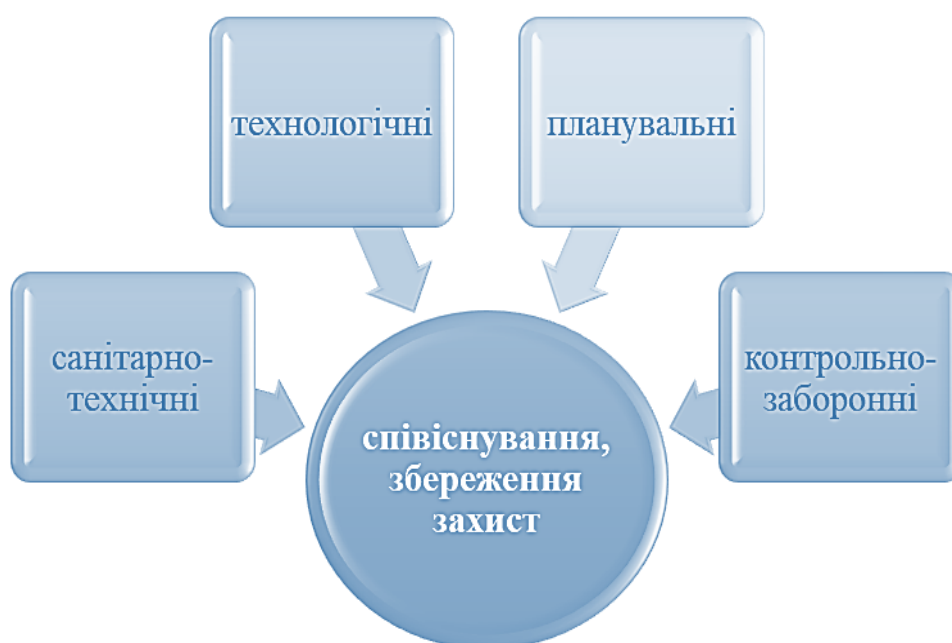


Рис. 2.5. Основні шляхи реалізації концептуальної моделі переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій

Планувальні - створення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств, оптимальне розташування промислових підприємств з урахуванням рози вітрів, винесення найбільш токсичних виробництв за межі міста, раціональне планування міської забудови, озеленення міста.

Технологічні – створення нових технологій, що базуються на частково або повністю замкнутих циклах – раціональне використання палива.

Санітарно-технічні – спорудження надвисоких димових труб, встановлення газопилоочисного обладнання, герметизація технічного та транспортного обладнання – пов'язані з використанням очисних пристроїв.

Контрольно-заборонні – встановлення гранично допустимих концентрацій та гранично допустимих викидів забруднюючих речовин, заборона виробництва окремих токсичних продуктів, автоматизація контролю за викидами.

Тобто, згідно основних шляхів реалізації концептуальної моделі переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження та захисту об'єкту дослідження.

**2.1.2 Інфологічна модель об'єктів дослідження.** Переходячи до конкретних об'єктів дослідження у напрямі концептуальної моделі переходу до чистого повітря урбанізованих територій можна сформулювати інфологічну модель об'єктів дослідження (рис.2.6). Основні конструктивні елементи інфологічної моделі – це сутності, зв'язок між сутностями та його атрибути (властивості).

Сутність - це те, що може бути чітко ідентифіковано, за чим хотілося б необхідно спостерігати в рамках поставленого завдання. Буквально, сутність – це те, що існує.

Для об'єкту «населення» визнані такі параметри як щільність населення, гранично-допустимі концентрації забруднюючих речовин та здоров'я, що визначає загальний стан суспільства. Основними параметрами для об'єкта «примагістальна територія» є кількість транспортних засобів, що рухаються по даному маршруту, викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище і відстані від забудови до магістралі, від магістралі до безпечних територій. Третій об'єкт інфологічної моделі

є «повітряний басейн», що пов'язаний з територіями міста, а саме приміагістральними. Основні параметри його – забудова територій, забруднювачі, що потрапляють у повітря та метеоумови, що визначають ступінь розсіювання поллютантів.

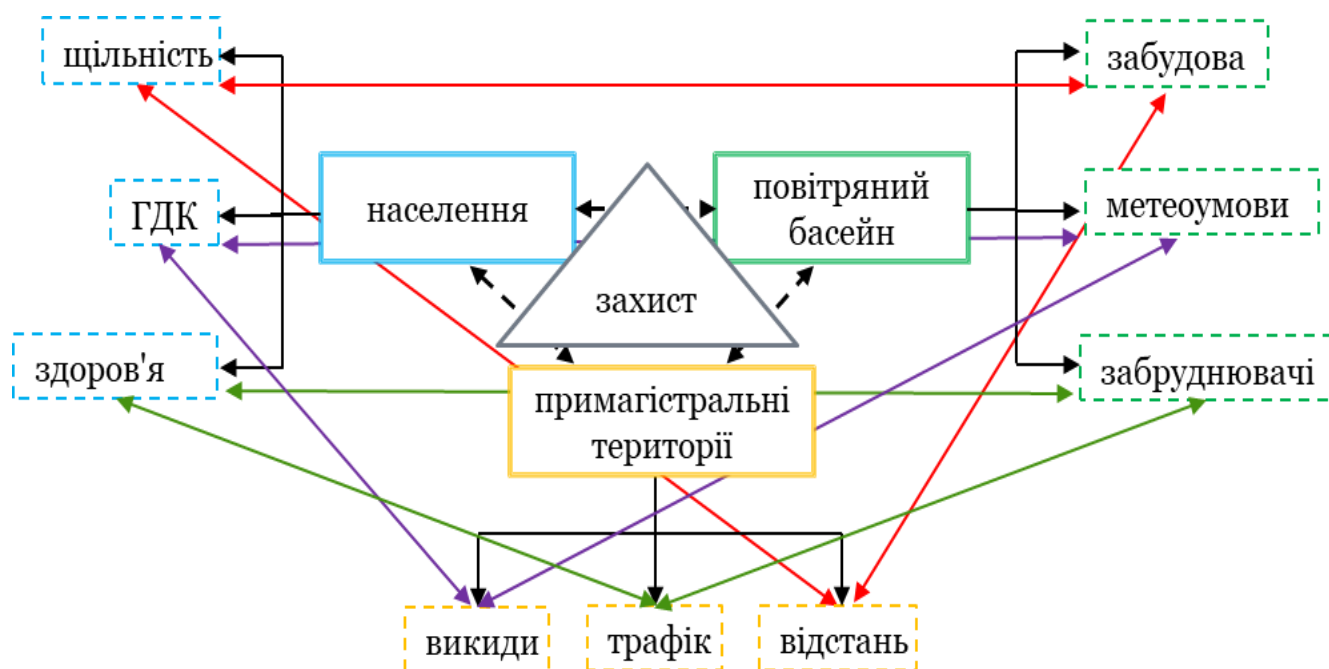


Рис 2.6. Інфологічна модель об'єктів дослідження

Усі параметри пов'язані між собою основними зв'язками - переміщенням, розсіюванням і розміщенням. Зв'язок «переміщення» об'єднує параметри трьох об'єктів – метеоумови у повітряному басейні, трафік на магістральних дорогах та здоров'я людини, що характеризується його врівноваженістю з навколишнім середовищем. Для зв'язку «розсіювання» визнані параметри – забруднювачі, що перевищують фонові значення, викиди що потрапляють в навколишнє середовище та граничнодопустимі концентрації. Зв'язок «розміщення» об'єднує такі параметри як забудова тобто розподіл будинків і споруд, відстань від очисної споруди до магістралі, від магістралі до забудови та щільність - число жителів, що припадає на 1 км<sup>2</sup> території.

Для об'єкта «населення» визначені такі основні параметри як здоров'я нації, щільність населення, граничнодопустимі концентрації забруднюючих речовин.

**ER- модель об'єкта дослідження**

Об'єкт	Параметри		Дійство	Середовище
	назва	значення		
повітряний басейн	метеоумови	короткострокове особливе поєднання метеорологічних факторів	переміщення	навколишнє середовище
	забруднювачі	антропогенний агент, який потрапляє в навколишнє середовище в кількостях, що перевищують фонові значення	розсіювання	навколишнє середовище
	забудова	розміщення будинків і споруд	розміщення	крупні міста
примагістральні території	трафік	обсяг транспортних засобів, що рухаються по даному маршруту	переміщення	крупні міста
	викиди	викид шкідливої речовини в навколишнє середовище	розсіювання	навколишнє середовище
	відстань	від очисної споруди до магістралі, від магістралі до забудови	розміщення	крупні міста
населення	здоров'я	природний стан організму, що характеризується його врівноваженістю з навколишнім середовищем	переміщення	навколишнє середовище
	ГДК	граничнодопустимі концентрації	розсіювання	навколишнє середовище
	щільність	число жителів, що припадає на 1 км <sup>2</sup> території	розміщення	крупні міста

На підставі запропонованої концептуальної моделі переходу до чистого повітря урбанізованих територій та інфологічної моделі об'єктів дослідження пропонується до розгляду ER-модель, що складається з трьох сутностей примагістральної території-

повітряний басейн-населення (табл.2.1). Для кожної сутності визначені основні параметри, дійства (зв'язки), середовище [81].

Таким чином, зростання міст і освоєння нових районів, розвиток промисловості та збільшення чисельності населення надають негативний вплив на повітряне середовище міст. Цей вплив проявляється у зростанні викидів у атмосферу як стаціонарних та неорганізованих джерел забруднення, так і автомобільного транспорту. Атмосферне повітря є життєве важливим компонентом навколишнього природного середовища, невід'ємною частиною довкілля людини, рослин і тварин. Забруднення повітря становить серйозну загрозу для здоров'я людей і навколишнього середовища в цілому. Тому необхідно докладати зусиль в напрямку переходу чистого повітря урбанізованих територій, а саме виконувати основні захисні заходи.

Проблема зниження шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище у містах та здоров'я людині є комплексною та передбачає вирішення низки науково-дослідних завдань: виявлення умов формування викидів забруднюючих речовин у міську атмосферу автотранспортними засобами; розробка математичної моделі цього механізму; оптимізація управління автотранспортними потоками у великих промислових центрах, за умов неможливості розширення (перепланування) транспортних комунікацій у системі забудованого міського ядра, постійний моніторинг повітряного простору та додаткові інженерні системи збереження та очищення повітря.

Таким чином, на базі наукових засад запропонована концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій «людина ↔ довкілля ↔ транспорт», згідно з якою, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження і захисту системної цілісності цих об'єктів, в рамках якої розроблено інфологічна модель збереження чистого повітря урбанізованих територій «населення ↔ повітряний простір ↔ примагістральні території», що дозволяє визначити основні конструктивні елементи та зв'язки між ними.

## 2.2 Оцінка стану забруднення автомобілями повітряного простору урбанізованих територій

Викиди парникових газів в результаті діяльності були основною причиною потепління глобального клімату приблизно на 1,1 градуса за шкалою Цельсія в період з 1850 по 1900 роки. Очікується, що протягом найближчих 20 років цей рівень у середньому досягне або перевищить 1,5 градуса. Збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері є основною рушійною силою зміни клімату [52].

Щорічна екологічна шкода від функціонування всіх видів транспорту тільки за такими видами негативного впливу, як забруднення повітря, шум та вплив на клімат, становить понад 3 млрд. доларів. Тому одна з найбільш актуальних проблем автотранспорту є зниження негативного екологічного впливу на навколишнє середовище.

Одна із зручностей, що перейшла з розряду розкоші у необхідність – це зручність переміщень. Комфорт залежить від звичайного сукупного часу, що витрачається на транспортування людини між потрібними місцями, а також зручність як самого переміщення, так і пов'язаних з цим факторів, наприклад, паркування машини, стану трафіку, метеоумов.

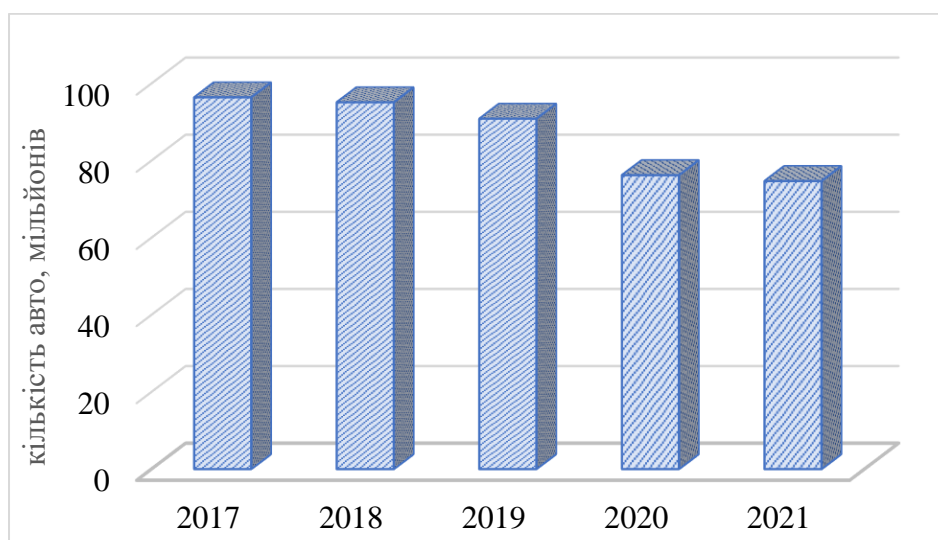


Рис.2.7. Статистика виробництва нових автомобілів у світі

Згідно статистичним даним виробництва нових автомобілів у світі за останні роки знижується (рис.2.7), однак, не дивлячись на це в даний час аналітики нарахували 1,2 млрд. машин, при цьому 95% загальної кількості зареєстрованих одиниць техніки склали легкові автомобілі.

За даними AUTO-Consulting, в Україні зараз на 1000 мешканців налічується 245 автомобілів. Найбільше машин у мешканців Києва – 407 авто/1000 мешканців. Кількість автомобілів у Києві з 2015 року зросла в 1,7 рази. Максимальна добова кількість активних автомобілів у Києві на січень 2022 року становить 1,13 мільйона одиниць. За останній рік в українській столиці кількість автомобілів збільшилась на 4,1%. На другому місці за цим показником перебувають жителі Волинської області – 314 авто/1000 мешканців. На третьому – Київській області (311 авто на 1 тис. осіб). У Запорізькій області на кожну 1000 жителів припадає 300 машин, на Кіровоградщині — 271, а на Рівненщині — 269. Найменше автомобілів — 200 на 1000 мешканців — у Львівській, Чернігівській та Закарпатській областях. [<https://tsn.ua/auto/news/ukrayina.>].

Чотири з п'яти зареєстрованих нових автомобілів в Україні в 2020 році - завезені з-за кордону легкові автомобілі, що були у використанні. Найбільш популярною моделлю серед завезених б\у іномарок став Volkswagen - 58518 розмитнених авто. У топ-3 також потрапили Ford (33811 авто) і Skoda - (28782). У парку комерційних автомобілів України, якщо дивитися за роками випуску, понад 20% транспортних засобів було випущено до 1985 року. Автомобілі, випущені у 2008 році, склали 744 тис. одиниць – це близько 7% машин [26].

**2.2.1 Рівень забруднення повітря різними видами палива.** Технічний стан автомобілів тісно пов'язаний із застосуванням якісних палив, відповідним певним нормативним документам. Якість палива також обумовлює склад відпрацьованих газів автотранспорту. Склад та властивості токсичних речовин, що надходять в атмосферу міста з вихлопними газами, істотно залежать не тільки від виду палива, а й від типу, моделі, технічних параметрів автомашин, у тому числі від ступеня їхньої



зношеності. Застосування бензинів, що мають відхилення від їхніх вимог, погіршує технічний стан двигуна і призводить до вище викиду токсичних речовин [82].

Паливо в основному складається з вуглецю та водню. При згорянні вуглець з'єднується з атмосферним киснем, утворюючи вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), водень ( $\text{H}_2$ ) з'єднуючись з киснем ( $\text{O}_2$ ), утворює воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Наприклад, з 1 л дизельного палива утворюється близько 0,9 л води, яка з допомогою теплоти згорання непомітно видаляється через систему вихлопу. Навіть у дизельному двигуні, що працює на відміну від бензинового двигуна з великою кількістю повітря, виникають отруйні речовини, хоч і в порівняно меншій кількості. Зниження токсичності вихлопних газів необхідне дотримання строгих стандартів на відпрацьовані гази.

Структура токсичних компонентів при спалюванні 1 кг палива в основних компонентах є оксиди вуглецю, азоту, сірки, вуглеводні, альдегіди, зважені частинки (сажа) (рис.2.8). Як видно з рис.2.8 різниця в найгірших показниках у бензинових двигунів це високий рівень викидів оксидів вуглецю та у дизельних – оксиду сірки та сажі. Тут слід зазначити, що у вмісті у викидах оксиду азоту відмінність незначне, тобто для цього викиду важливий не стільки тип двигуна, скільки паливо та очисна система.

Двигун, що працює на бензині, викидає порівняно легко окислювальні речовини - етил і етилен, а газовий двигун - метан, який з усіх граничних вуглеводнів є найбільш стійким до окислення. Газове паливо згоряє повніше за бензин, і тому концентрація окису вуглецю у вихлопі автомобіля на газу в кілька разів нижче, ніж у вихлопі бензинового автомобіля.

Автотранспорт є ще й потужним джерелом виділення аерозолів, які формуються за двома різними механізмами:

- перша частина аерозолів надходить в атмосферу міста внаслідок неповного згорання палива у двигунах (особливо у дизелях) транспортних засобів. При цьому виділяється тонкодисперсний аерозоль сажі. У складі сажі, що викидається двигуном, є і поліциклічні вуглеводні, що мають канцерогенну та мутагенну дію (близько 75% мутагенів адсорбуються саме на сажі), що сильно підвищує її агресивність;

- друга частина аерозолію формується внаслідок взаємодії шин автомобіля та повітряного потоку, створюваного ним, з поверхнею дороги.

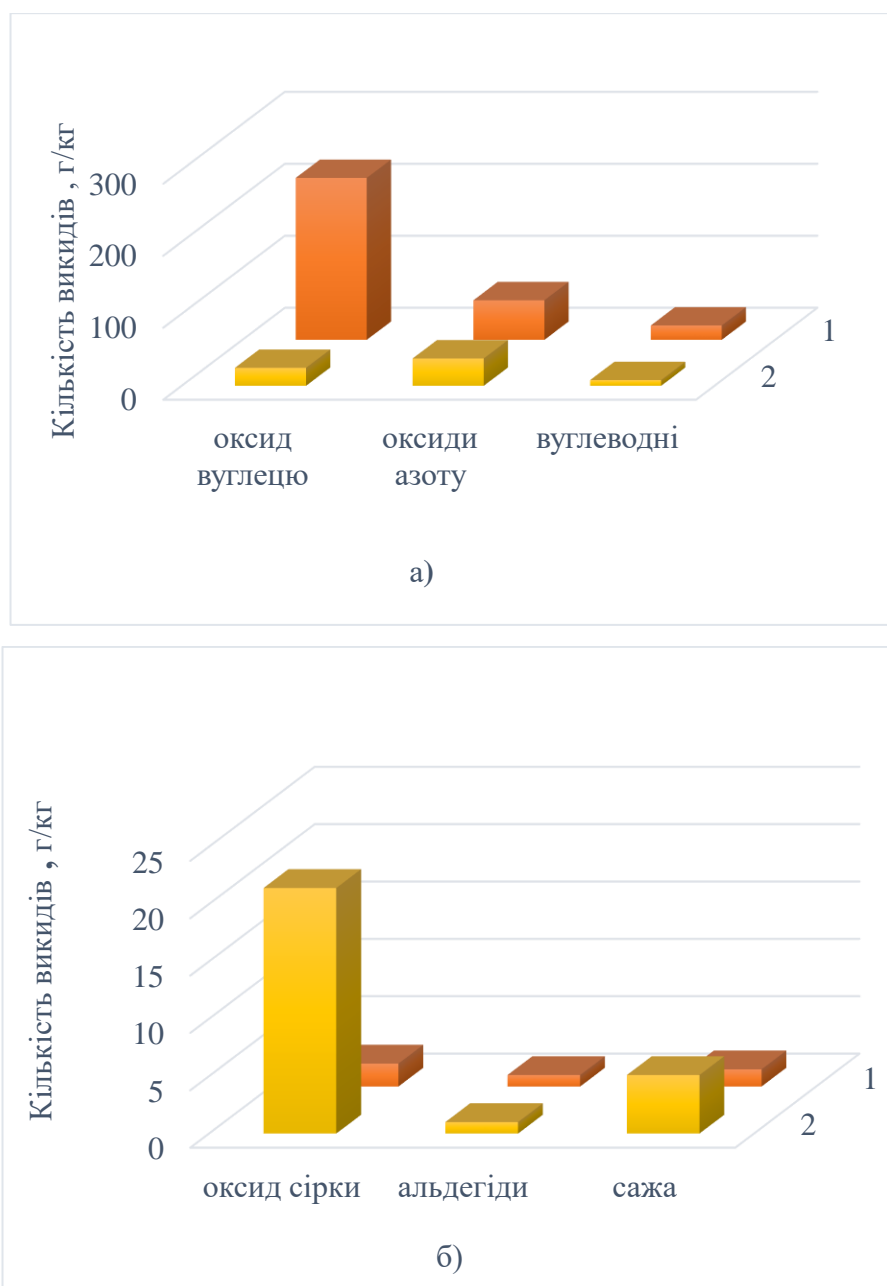


Рис.2.8. Кількість викидів забруднюючих газів автомобілем з бензиновим (1) та дизельним двигуном (2) при спалюванні 1 кг палива.

При режимі роботи двигуна на холостому ході та примусовому холостому ході, тобто при гальмуванні двигуном при включеній передачі та відпущеній педалі подачі палива, умови згоряння робочої суміші в циліндрах різко погіршуються, у відпрацьованих газах зростає вміст продуктів неповного згоряння - в основному

оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів ( $C_xH_y$ ), також непродуктивно витрачається паливо (табл.2.2). При цьому концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах малі.

При роботі двигуна на середніх та повних навантаженнях порівняно з режимами холостого ходу та примусового холостого ходу, зменшуються концентрації оксиду вуглецю і вуглеводнів і значно збільшуються концентрації оксидів азоту (3 – 5 разів). Технічний стан двигуна впливає на викиди, які у випадку зношеного двигуна можуть перевищувати норму, наведену в табл. 2.2 у два-три рази.

Таблиця 2.2

### Концентрація забруднюючої речовини залежно від режиму роботи двигуна

Режим, показники	Вуглеводні $C_xH_y$ , мг/л	Оксид вуглецю, CO, % за об'ємом	Оксид азоту $NO_x$ , мг/л
Холостий хід	2 - 6	4-1 2	Сліди
Примусовий холостий хід	8-1 2	2 - 4	Сліди
Середні навантаження	0,8-1,5	0 - 1	2,5-4,0
Повні навантаження	0,7-0,8	2 - 4	4 – 8

Таблиця 2.3

### Значення коефіцієнту k, що враховують зміни кількості шкідливих речовин, що викидаються, залежно від швидкості руху

V, км/ч	Швидкість руху												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
k	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,6

Кількість забруднюючих викидів від машини залежить від швидкості її руху (табл. 2.3). Зростання викидів у легкових автомобілів починається при швидкостях понад 60 км/год, тоді як для важкого транспорту з 40÷50 км/год. У загальному випадку при високих швидкостях це відбувається за рахунок витрат палива зі

збільшенням швидкості, а за низьких – за рахунок не повного спалювання палива та низьких температур.

У таблиці 2.4 наведені найменування різних типів автомобільного транспорту, що працює на бензині, дизельному паливі, нафтовому газі та відповідно на рис. 2.9 для кожного типу кількість викидів забруднюючих речовин у повітря від 1 машини різних типів автотранспорту за один кілометр пробігу.

Таблиця.2.4

### Найменування та нумерування груп автомобілів

№	Найменування групи автомобілів	Група
1	Легкові бензинові	IБ
2	Легкові дизельні	ІД
3	Вантажні бензинові з вантажопідйомністю до 3т (у т. ч. працюючі на зрідженому нафтовому газі) та мікроавтобуси	II
4	Вантажні бензинові з вантажопідйомністю понад 3 т (у т. ч. працюючі на зрідженому нафтовому газі)	III
5	Автобуси бензинові	IV
6	Вантажні дизельні	V
7	Автобуси дизельні	VI
8	Вантажні газобалонні, що працюють на стиснутому природному газі	VII

Найбільша кількість забруднюючих речовин викидається при розгоні автомобіля, тому що в цей момент двигун споживає найбільшу кількість палива, а значить у цей момент викиди вихлопних газів найінтенсивніші.

Згідно рис.2.9 можливо відмітити, що для автомобілів груп II, III, IV, VII відзначається високий рівень викидів оксиду вуглецю; викиди оксидів азоту ( $\text{NO}_x$  у перерахунку на  $\text{NO}_2$ ) притаманні абсолютно всіх типів автомобільного транспорту, теж можна говорити і про викиди вуглеводнів, за винятком легкових дизельних автомобілів; груп IV, VI характеризуються високим вмістом діоксиду сірки та до них додаються легкові дизельні автомобілі у випадках викидів сажі.

Найбільша кількість викидів атомарного кисню походить від автофургонів і мікроавтобусів вагою до 3,5 тон, також вагову частку вносять вантажні автомобілі всіх вагових категорій та автобуси вагою понад 3,5 тони.

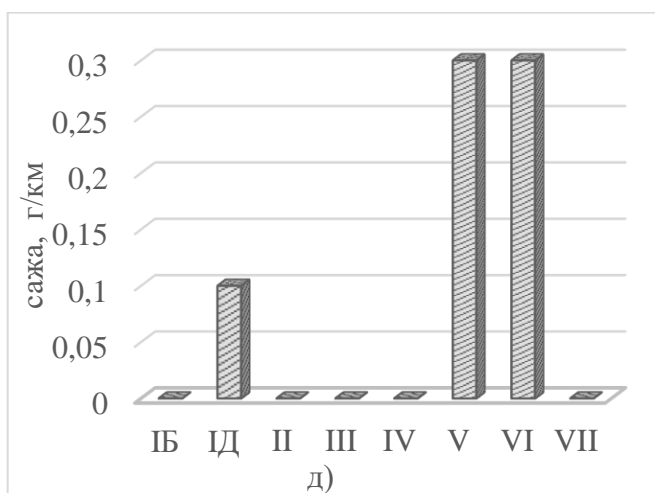
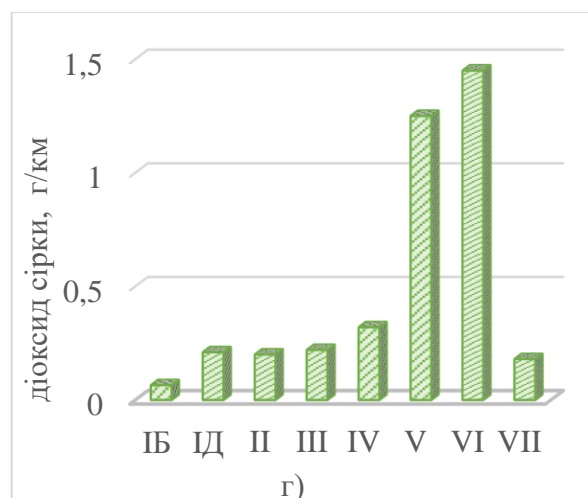
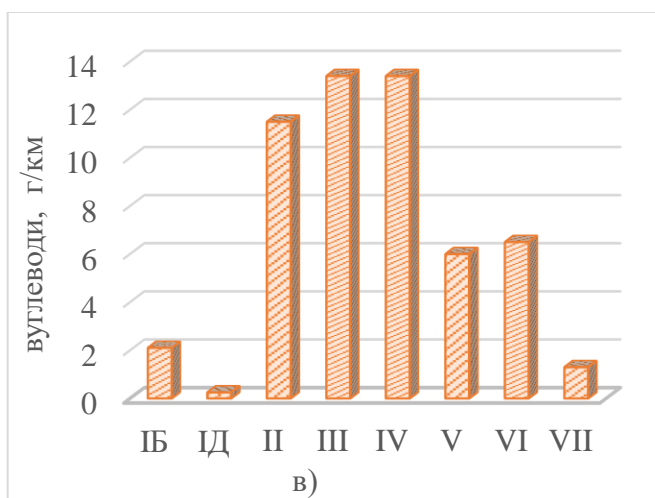
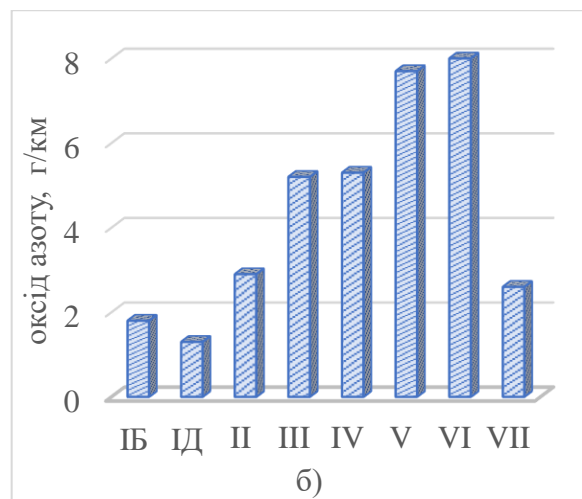
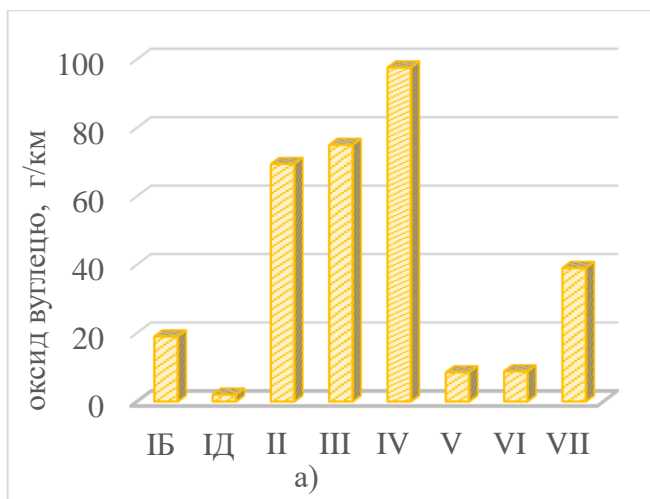


Рис.2.9. Викиді забруднюючих речовин у повітря від 1 машини різних типів автотранспорту (см. табл. 2.4) за один кілометр пробігу:  
 а) оксидів вуглецю;  
 б) оксидів азоту ( $\text{NO}_x$  у перерахунку на  $\text{NO}_2$ );  
 в) вуглеводнів;  
 г) діоксидів сірки;  
 д) сажі.

**2.2.2. Обсяг повітря для розведення шкідливих речовин до норми.** Викиди автомобілів небезпечні не тільки тому, що містять велику кількість токсичних елементів, а й тому, що відразу надходять до активної зони біосфери, вони перебувають на рівні дихання людини.

Проведено розрахунок кількості чистого повітря, необхідного для розведення шкідливих речовин до норм ГДК найбільш небезпечних для здоров'я людини, а саме, оксидом вуглецю (чадним газом), діоксидом азоту (IV), вуглеводнем (пентаном). Розрахунок проводився за наступними параметрами:

1. Об'єм шкідливих речовин за формулою:

$$V_B = K_B \cdot Q_T, \quad (2.1)$$

де  $V_B$  – обсяг шкідливої речовини, що виділяється автомобілем;  $v$  – вид шкідливої речовини;

$K$  – коефіцієнт, чисельне рівний кількості викидів відповідного компонента (л) при згорянні двигуна автомобіля за 1 км;

$Q$  – кількість палива, л;  $t$  – вид палива.

2. Масу викидів знайдено за формулою:

$$m_B = V_B \cdot M_B / 22,4 \quad (2.2)$$

де  $m_B$  – маса шкідливої речовини;  $M_B$  - відносна молекулярна маса.

3. Кількість повітря, необхідного для розведення, визначено за формулою:

$$V_{\text{пов}} = m_B / \text{ГДК}_B \quad (2.3)$$

де  $\text{ГДК}_B$  – гранично допустима концентрація шкідливої речовини у повітрі житлових районів (табл.2.5).

Таблиця.2.5

#### Значення ГДК відпрацьованих газів у повітрі населених міст

Найменування забруднюючої речовини	Клас безпеки	Середньодобова ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид вуглецю	4	3
Вуглеводні	3	1,5
Оксид азоту	2	0,04
Діоксид сірки	3	0,05
Сажа	3	0,05

Результати розрахунків наведено у рис.2.10, з якого видно, що найбільша кількість повітря потрібна для розведення вихлопного газу оксиду вуглецю для дизельних легкових авто та автобусів, а також вантажні карбюраторні з

вантажопідйомністю до та понад 3т (у т. ч. працюючі на зрідженому нафтовому газі) та мікроавтобуси. Слід зазначити, що практично для всіх видів транспорту наявність оксидів азоту вимагає великої кількості атмосферного повітря з різницею від двох разів до порядку в порівнянні з оксидами вуглецю.

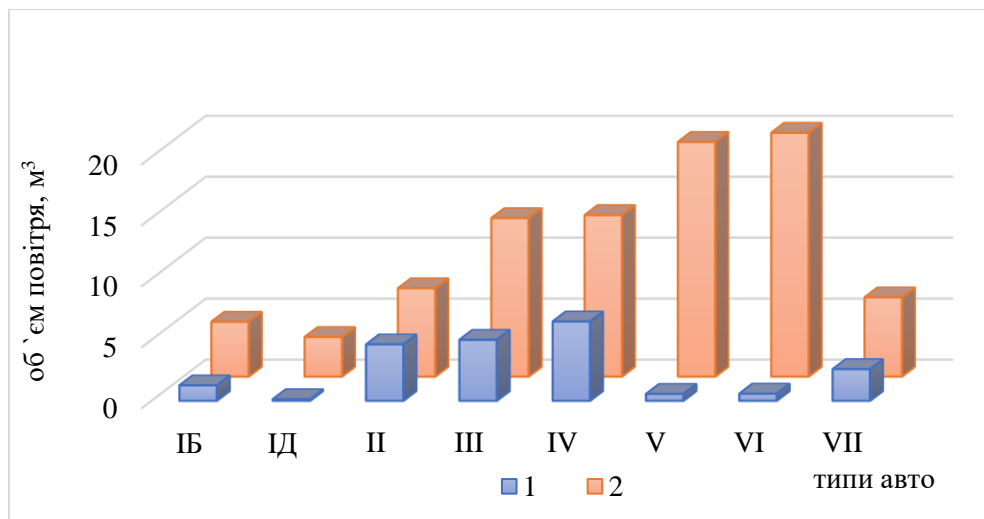


Рис.2.10. Розрахунок кількості повітря, необхідного для розведення норм ГДК середньодобових на прикладі 100 автомашин: 1 – оксид вуглецю; 2 – оксид азоту.

У табл. 2.6 наведено зразкові обсяги деяких природних ресурсів, що споживаються містом із населенням 1 млн. чол. та площею 20 тис. га та показано розміри територій, необхідних для збереження стійкості такої міської екосистеми та відтворення дефіциту цих ресурсів. З таблиці слід, що цього необхідно близько 8-11 млн. га територій, тобто в тисячу разів більше, ніж займає саме місто. Навіть з урахуванням конвективних потоків, вітрів, процесів трансформації, випадання з опадами кількість необхідного повітря для екологічно безпечного проживання у великому місті потрібна дуже велика. Визначення площі міського кварталу можна проводити фотограмметричним методом [83].

З таблиці слід, що цього необхідно близько 8-11 млн. га територій, тобто в тисячу разів більше, ніж займає саме місто. Навіть з урахуванням конвективних потоків, вітрів, процесів трансформації, випадання з опадами кількість необхідного повітря для екологічно безпечного проживання у великому місті потрібна дуже

велика. Визначення площі міського кварталу можна проводити фотограмметричним методом [83].

Таблиця. 2.6

**Обсяги та дефіцит споживання природних ресурсів містом площею 20 тис. га із населенням 1 млн. осіб**

Найменування ресурсу	Споживання містом	Відтворення всередині міста	Дефіцит	Територія, необхідна покриття дефіциту, тис. га
Атмосферний кисень	30 млн. т	25 ÷ 30 тис. т	29,7 млн. т	5000 ÷ 6000
Вода	500 млн. м <sup>3</sup>	5 тис. м <sup>3</sup>	~500 млн. м <sup>3</sup>	1500 ÷ 2000

Інтенсивність самоочищення атмосфери на міській території визначається, з одного боку, швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що обурює вітровий потік. Для скорочення обсягів шкідливих автомобільних викидів в атмосферу використовують цілий перелік методів, а саме:

- 

Постійне удосконалення моделей двигунів та зменшення корпусів автомобілів для мінімізації споживання ними палива.
- 

Використання екологічних видів палива (природного газу, рідкого водню, етилового спирту та інших різновидів зеленого бензину).
- 

Обладнання вихлопних труб автомобілів нейтралізаторами.
- 

Впровадження автоматизованих систем регулювання руху для скорочення часу роботи автомобільних двигунів в режимі холостого ходу та набору швидкості.
- 

Створення зони зелених насаджень повздож доріг.
- 

Створення очисних споруд повздож доріг.



Таким чином, з метою підвищення якості повітря примагістральних міських вулиць запропоновано при плануванні враховувати територію з необхідним обсягом повітряного басейну пропорційне до максимальної інтенсивності запланованого автомобільного трафіку, а саме відношення кількості викидів забруднюючих речовин до кількості повітря має перевищувати 1/1000. При неможливості виконання цих умов вводити додаткові обмежувальні заходи. Визначено, що обсяг повітряного простору примагістральних територій слід розраховувати заввишки два метри, оскільки значення реєстрованих концентрацій на нижніх рівнях міського каньйону (до 2 м) значно вище, ніж на верхніх рівнях.

### **2.3 Розсіювання викидів автотранспорту та вплив метеорологічних умов на них**

Розсіювання викидів забруднюючих речовин – це зменшення концентрації забруднюючих речовин у результаті перемішування з атмосферним повітрям.

Середньодобові зміни вмісту газових складових пов'язані з двома незалежними змінними, перша з них - кількість викидів, що надходять в атмосферу міста, друга - метеорологічні умови розсіювання. Третій можливий фактор формування міського забруднення - перенесення забруднень з віддалених районів та передмість - через незначні масштаби або низьку повторюваність далекого перенесення повітряних мас з високими концентраціями забруднюючих домішок.

#### **2.3.1 Розподіл токсичних та нетоксичних викидів у повітряному просторі.**

У повітряному просторі піднімаються вгору нетоксичні речовини такі як азот, дещо легший за повітря, тому його концентрація з висотою підвищується, кисень, трохи важчий за повітря і малорозчинний у воді, водень та водяна пара легші за повітря (рис.2.11). Щільність водяної пари становить лише 0,72 кг/м<sup>3</sup>, що майже в 1,7 рази легше за повітря.

З токсичних піднімаються вгору тільки оксид вуглецю - продукт неповного згоряння палива, легший за повітря. Оксид та діоксид азоту – важчі за повітря, внаслідок чого концентруються біля поверхні землі, збирається в поглибленнях, де

легко окислюється киснем, що міститься в атмосферному повітрі, і перетворюється на діоксид азоту. Вуглеводні, що утворюються у циліндрах двигунів внутрішнього згоряння та обумовлені переважно порушеннями у процесі згоряння палива, значно важчі за повітря. Їх пари, а також пари рідких вуглеводнів важчі за повітря. При попаданні вуглеводнів у навколишнє середовище вони здатні накопичуватися в різних, заглибленнях (траншеях, колодязях, низинах), а при певному відсотковому вмісті в повітрі утворюють вибухонебезпечні суміші, які від джерела відкритого вогню або навіть незначної іскри вибухають.

Альдегіди, а це в основному формальдегід, безбарвний газ із різким задушливим запахом, дещо важчий за повітря (відносна масова щільність парів 1,03), добре розчиняється у воді. По масі сірчистий газ перевищує повітря удвічі з половиною рази. Сірководень важчий за повітря (щільність атмосферного тиску становить 1,2 г/л,  $H_2S$  — 1,4 г/л), тому він має тенденцію накопичуватися в нижній частині ділянок, що погано вентилуються.

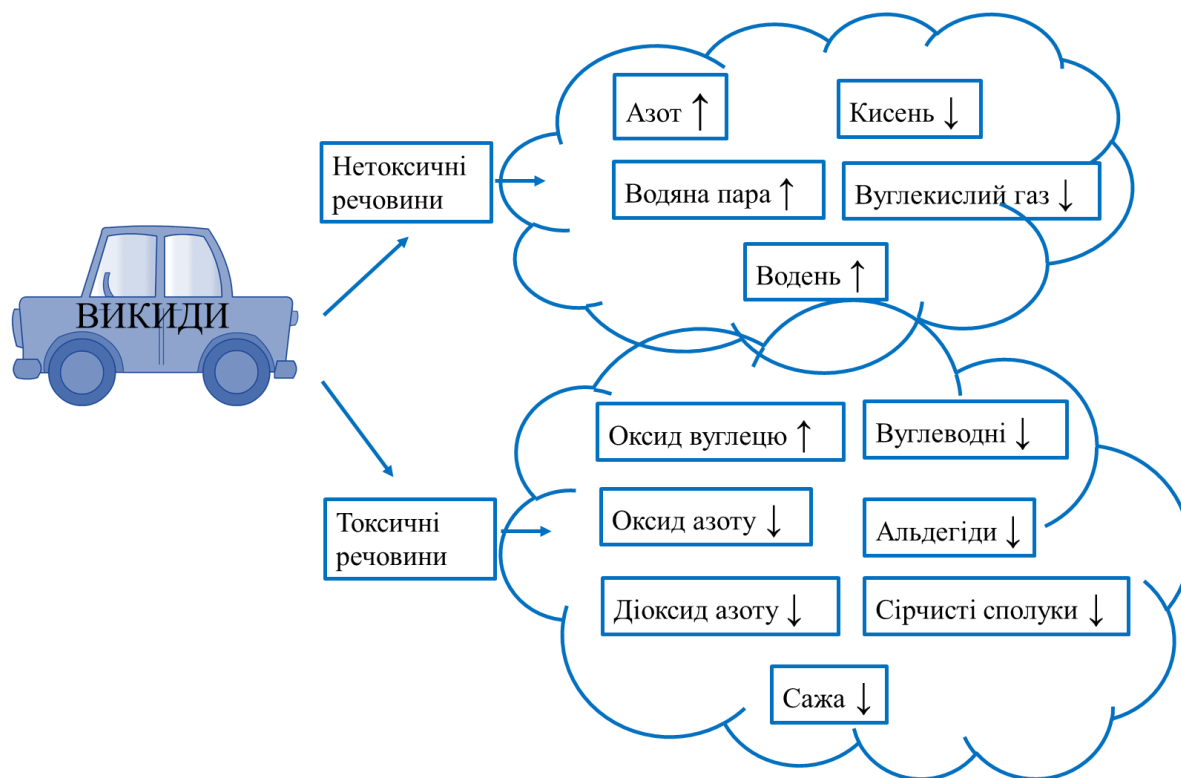


Рис.2.11. Розподіл токсичних та нетоксичних викидів у повітряному просторі (↑ - піднімаються вгору; ↓ - осідають).

Пари рідких вуглеводнів важчі за повітря. При втраті частини вуглеводнів у навколишнє середовище вони здатні накопичуватися в різних, заглибленнях (траншеях, колодязях, низинах), а при певному відсотковому вмісті в повітрі утворюють вибухонебезпечні суміші, які від джерела відкритого вогню або навіть незначної іскри вибухають. Альдегіди, а це в основному формальдегід, безбарвний газ із різким задушливим запахом, дещо важчий за повітря (відносна масова щільність парів 1,03), добре розчиняється у воді. По масі сірчистий газ перевищує повітря удвічі з половиною рази. Сірководень важчий за повітря (щільність атмосферного тиску становить 1,2 г/л,  $H_2S$  — 1,4 г/л), тому він має тенденцію накопичуватися в нижній частині ділянок, що погано вентилуються.

Частинки розміром понад 10 мкм відносно швидко опускаються на землю під впливом тяжкості. Частинки з діаметром від 4 до 10 мкм піднімаються з димом на висоту понад 1 км і можуть переміщатися потоком повітря на сотні кілометрів. Частинки від 1 до 4 мкм дуже повільно осідають, досягаючи земної поверхні протягом року. Частинки менше 1 мкм поширюються подібно до молекул газу.

Зразкова швидкість осадження частинок у нерухомому повітрі в залежності від розміру складає значне різні значення (табл.2.7).

Таблиця 2.7

**Швидкість осадження частинок у нерухомому повітрі  
в залежності від їх розміру.**

Радіус частинок, мкм	0,1	1	10	100
Швидкість осадження, см/с	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-2}$	0,3	25

Тому забруднюючі гази в основному стеляться вздовж траси на десятки та сотні кілометрів, також поступово поширюючись перпендикулярно до дороги (рис.2.12). Час життя та перетворення газоподібних забруднювачів атмосфери в даний час ще недостатньо вивчений.

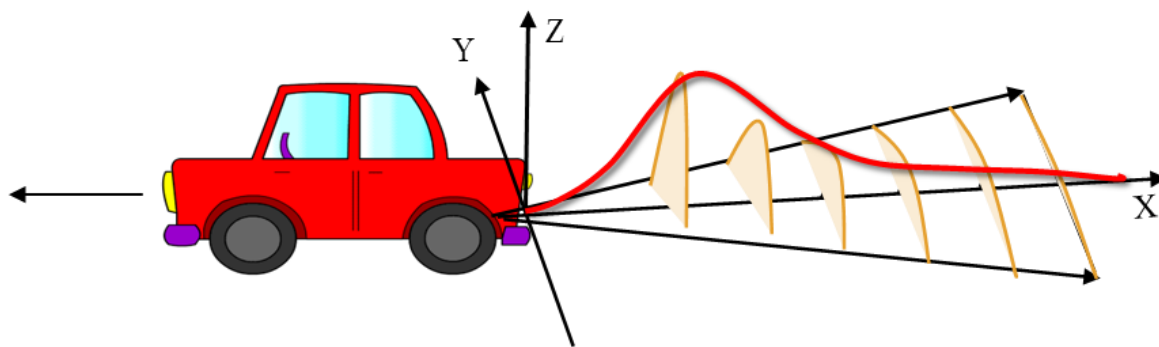


Рис.2.12. Розподіл забруднюючих газів от викидів автотранспорту

Наприклад, оксид азоту на повітрі швидко окислюється до діоксиду азоту, а оксид вуглецю практично миттєво реагує з киснем до діоксиду вуглецю. У той же час в атмосфері відбувається реакція фотодисоціації діоксиду азоту  $\text{NO}_2$  на  $\text{NO}$  і  $\text{O}$ , при цьому поглинається випромінювання ультрафіолетової області сонячного спектру, яке відіграє переважну роль в атмосферних фотохімічних процесах. Наслідком дисоціації  $\text{NO}$  є велика кількість вторинних реакцій. Спільне окиснення вуглеводнів і оксидів азоту призводить до утворення сполук, які в результаті подальших реакцій утворюють речовини пероксиацилнітрати (ПАН), що мають сильну токсичну дію. Речовини групи ПАН можна знайти у забрудненому міському повітрі під час токсичного туману (смогу). Діоксид сірки зберігається в атмосфері від кількох годин до кількох днів.

Встановлено, що основною причиною фотохімічних перетворень у приземному шарі атмосфери міст є високий рівень забруднення повітря органічними речовинами (переважно нафтового походження) та оксидами азоту.

Серед вторинних фотохімічних реакцій важливе значення має взаємодія молекулярного кисню та оксиду азоту  $\text{NO}$  з атомарним киснем, у результаті утворюється озон  $\text{O}_3$  та діоксид азоту. Енергія, необхідна для розриву зв'язку між азотом та киснем, становить близько 300 кДж/моль, тому вважають, що оксид вуглецю (II) в атмосфері знаходиться у швидкому кругообігу та середній час його перебування становить близько 35 діб (2-4 місяці). Швидкості осадження для оксиду азоту - в межах  $(0,002-0,0129) \text{ см}^{-1}$ .

При високих концентраціях NO і NO<sub>2</sub> вони частково окислюються під впливом сонячної радіації до вищого оксиду азоту N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, який взаємодіючи з вологою повітря утворює азотну кислоту. З'єднання ванадію, аерозолі бенз(а)пірена, поширюючись в атмосфері разом з пилом, дощем або снігом, осідають на ґрунт або водойми.

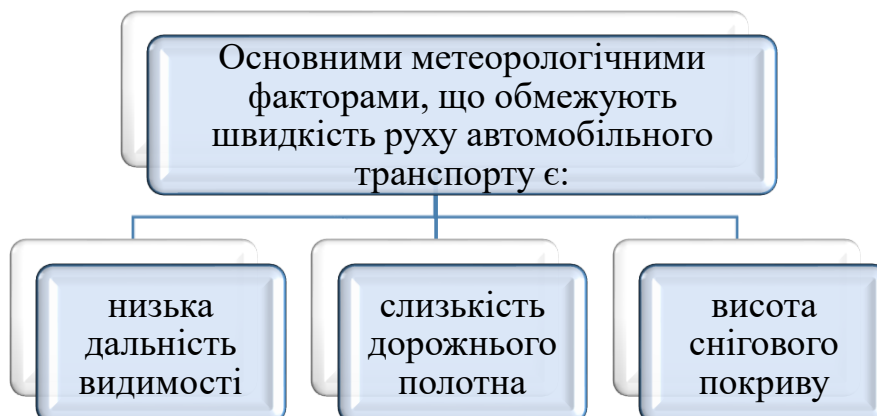
Концентрації оксидантів схильні до великих коливань, але спостерігається певна закономірність. Як правило, за низькими нічними концентраціями спостерігається їх значне збільшення в ранкові години. Максимум настає опівдні з посиленням дії сонячних променів. Зниження концентрацій відбувається із заходом сонця.

Сумарна концентрація окислювачів, званих ще оксидантами, що утворюються в атмосферному повітрі внаслідок фотохімічних перетворень, часом може бути використана як гігієнічний показник інтенсивності протікання реакцій. Для озону швидкості осадження варіювали в межах (0,0045-0,0137) см<sup>-1</sup>.

### 2.3.2 Вплив метеорологічних умов на розподіл забруднюючих речовин. У

великих містах антропогенні системи чинять дуже відчутний тиск на природне середовище, а урбанізація перетворює її радикально, порушуючи природну рівновагу. Однією з особливостей транспорту є високий рівень залежності його функціонування від природних факторів, а саме від метеорологічних умов.

Погодні умови не залежать від типу рухомого складу, його технічного стану та кваліфікації водія, однак впливають на умови руху та транспортні умови експлуатації автобусів, що призводить до досить тісного зв'язку погодних параметрів із витратою палива [85]



Метеорологічні умови характеризують стан атмосфери та атмосферних процесів. До таких умов відносяться температура, тиск, вологість повітря, вітер, хмарність і опади, тумани, грози, а також тривалість сонячного сяйва, температура і стан ґрунту, висота снігового покриву та сніговий покрив і ожеледь. Всі ці фактори суттєво різняться за сезонами року, доби, території розташування.

Скупчення небезпечного забруднення повітряного середовища шкідливими викидами автотранспорту виникають поблизу автомагістралей, у «години пік», при несприятливому збігу метеорологічних умов, що перешкоджають природному очищенню повітря від автомобільних викидів. Для отримання достовірних характеристик про рівень забруднення атмосфери в околиці автомагістралі за несприятливих метеорологічних та транспортно-дорожніх умов необхідно проводити численні та широкомасштабні відбори проб газів та аерозольних опадів протягом кількох років, що потребує значних фінансових витрат.

*Несприятливими метеорологічними факторами*, що впливають на рівень і тривалість забруднень, є приземні інверсії та затримуючі шари у прикордонному шарі атмосфери при швидкостях вітру на поверхні землі менше 5 м/с. *Сприятливими факторами* є нестійкий стан атмосфери при швидкості вітру на поверхні землі понад 5 м/с, а також опади. Причинами аномально-високих концентрацій забруднювачів у приземному шарі атмосфери слід вважати:

незначна товщина шару перемішування та малі середні швидкості вітру в ньому ( $< 4$  м/с)

опади менше 2-3 мм за 12 годин

відносна вологість повітря  $>60\%$

туман та димка

виникнення малоградієнтного поля тиску (підвищеного чи зниженого), малорухливих антициклонів та гребнів

наявність приземних інверсій (у шарі 0-100 м) або піднятих інверсій (у шарі до 500 м)

тривале (до 48 годин) збереження несприятливих параметрів термодинамічного стану прикордонного шару атмосфери

Опади є одним із головних факторів, що призводить до значного очищення атмосферного повітря від забруднень. Час процесу самоочищення залежить від виду опадів, їх інтенсивності та кількості. Максимальне очищення атмосферного повітря спостерігається у теплий період року при випаданні злив. Облік метеокліматичних даних дозволяє підвищити економічну ефективність у цій сфері життя міста у кілька разів.

Вивчення процесу розподілу домішок у повітряному басейні міста є досить складним завданням. Проблеми тут пов'язані з характером джерел у місті, їх різноманітністю та просторовим розподілом по всій площі міста. Крім того, завдання ускладнюються характером шорсткості міста, розподілом будівель та рельєфу місцевості загалом. З іншого боку, облік взаємодії зазначених вище факторів з метеорологічними умовами підвищує ступінь складності завдання, що розглядається. Хоча внесок окремих джерел може бути порівняно невеликим, їх інтеграція призводить до створення високого рівня забруднення повітря у місті. Одним із прикладів підсумовування джерел є ефект впливу викидів автомобілів. Все це призводить до утворення в містах великої хмари домішок, що має складну структуру і склад.

Аерозолі та інші антропогенні домішки, крім їх суттєвого впливу на оптичні властивості атмосфери, беруть активну участь в утворенні туманів та низьких хмар. Встановлення закономірностей поширення домішок у місті та її межами у зв'язку з процесами туманоутворення має важливе практичне значення. Так, наприклад, у приміській зоні туман може розглядатися як важливий фактор, що перешкоджає появі заморозків. Розглядаючи негативні ефекти забруднення навколо міст, насамперед можна зазначити осадження всякого роду шкідливих хімічних сполук на рослинність і діяльний шар ґрунту загалом.

Розглядаючи місто як майданне джерело, очевидно, що концентрація домішок з висотою тут падатиме і потік домішок з міста буде позитивним і спрямованим вгору. Якщо розглядати місто як точкове джерело, то за межами міста з підвітряного боку концентрація домішки з висотою спочатку зростає, а після досягнення максимуму починає знижуватися. При цьому до земної поверхні за межами міста домішки

надходять з атмосфери за рахунок гравітаційного осідання або для невагомих домішок тільки в результаті турбулентного обміну і дифузії. При цьому турбулентний потік домішок спрямований донизу і має негативне значення.

Сезонна мінливість концентрацій газових складових антропогенного походження, насамперед, визначається великомасштабними атмосферними процесами, оскільки від сезону до сезону кількість викидів, що надходять у міську атмосферу, змінюється мало.

Вітровий режим багато в чому визначає розсіювання пилових та газових викидів в атмосферу. Відсутність вітру часто сприяє накопиченню та тривалому знаходженню забруднюючих речовин у повітрі на певній території.

## **2.4 Вплив характеру забудови та рельєфу на рівень забруднення повітряного простору приміагістральних територій міст**

**2.4.1 Міські магістралі та приміагістральні території.** В умовах глобалізації світової економіки транспорт поряд із фінансовою та інформаційною сферою виступає найважливішим важелем інтеграційних процесів. Особлива роль транспорту залежить від того, що завдяки йому структурується ринкова економіка, формується єдиний економічний простір [86].

Проблема зниження шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище у містах є комплексною та передбачає урахування багатьох факторів: розвиненість дорожньої мережі, транспортне завантаження, якість палива, види автотранспорту, типи забудови приміагістральних територій, розмірів міських каньйонів, рельєфу місцевості, метеоумов та ін.

Розумне місто відрізняється якісними мережами мобільності та логістики, де автомобільний транспорт забезпечує потреби господарства та населення у перевезеннях та разом з містом утворює «каркас» території, якій є найбільшою складовою інфраструктури, служить матеріально-технічною базою формування та розвитку територіального поділу праці, надає істотний вплив на динамічність та ефективність соціально-економічного розвитку окремих регіонів та країни в цілому.



Безпечні, ефективні та екологічні логістичні системи, засновані на автомобільному транспорті, допомагають містам і передмістям домагатися сталого економічного зростання.

Таблиця.2.8

### Види міських магістральних доріг та основне їх призначення [87]

Тип руху	Основне призначення
<b>Магістральні дороги</b>	
Безперервного руху	Швидкісний транспортний зв'язок поза житловою забудовою між віддаленими промисловими і сільбищними районами в найзначніших і значних містах; виходи на зовнішні автомобільні дороги, до аеропортів, великих зон масового відпочинку і поселенням у системі розселення. Пересікання з магістральними вулицями і дорогами в різних рівнях
Регульованого руху	Транспортний зв'язок між районами на окремих напрямках і ділянках переважно вантажного руху, що здійснюється поза житловою забудовою, виходи на зовнішні автомобільні дороги. Пересікання з вулицями і дорогами, як правило, в одному рівні
<b>Магістральні вулиці загальноміського значення</b>	
Безперервного руху	Транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами і громадськими центрами в найзначніших, значних і великих містах, а також з іншими магістральними вулицями, міськими і зовнішніми автомобільними дорогами. Забезпечення руху транспорту по основних напрямках у різних рівнях
Регульованого руху	Транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами і центром міста, центрами планувальних районів; виходи на магістральні вулиці та дороги і зовнішні автомобільні дороги. Пересікання з магістральними вулицями і дорогами, як правило, в одному рівні
<b>Магістральні вулиці районного значення</b>	
Транспортно-пішохідні	Транспортний зв'язок між житловими районами, а також житловими і промисловими районами, громадськими центрами, виходи на інші магістральні вулиці

Міські магістральні дороги безперервного та регульованого руху за їх призначенням (табл.2.8) можливо поділяти на:

- магістральні,
- магістральні вулиці загальноміського значення;
- магістральні вулиці та дороги районного значення.

Таким чином, основні функції вуличне-дорожньої мережі є:

- мобільність - яка забезпечує безпечне та комфортне пересування з високими швидкостями (магістральні дороги);
- зв'язок - яка забезпечує доступ до об'єктів тяжіння (магістральних доріг з місцевими);
- розподіл-з'єднування - яка забезпечує внутрірайонні пересування;
- доступ – яка забезпечує доступу транспорту і немоторизованих учасників руху (пішоходів і велосипедистів) до земельних ділянок та будівель різного призначення, що є об'єктами тяжіння учасників руху.

Рівень загазованості магістралей та приміагістральних територій залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини та рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту та автобусів у загальному потоці та інших факторів. Основні характеристики, що впливають рівень забруднення атмосферного повітря продуктами викидів автотранспорту це:

- інтенсивність транспортного потоку,
- швидкість потоку автотранспорту,
- склад транспортного потоку;
- якість палива.

За безпосередньої близькості автомагістралі до житлових районів, а також заповнення автомобілями дворів та проїздів житлової забудови відбувається зростання концентрації токсичних речовин у місцях проживання людей.

**2.4.2 Просторове моделювання забруднень повітря примігстральних територій міст.** Для характеристики загального навантаження та виявлення областей високої забрудненості дуже важливе знання даних про просторовий та тимчасовий вплив, насамперед, автотранспорту, на якість повітря, особливо урбанізованих територій. Просторовий вплив забруднень визначається формою міста, розподілом землекористування, місцезнаходженням джерел викидів, характером міського руху та забудовою територій. Розсіювання викидів транспортних засобів на околицях міської вулиці та висотних будівель, так званого міського вуличного каньйону, значно велике і призводить до погіршення якості повітря, появи ділянок підвищеної концентрації токсичних викидів. Дисперсія у вуличному каньйоні зазвичай визначається співвідношенням сторін вуличного каньйону до зовнішнього вітру. [88].

Залежно від взаємного розміщення будинків і їх розташування відносно червоних ліній розрізняють такі прийоми забудови кварталів: периметральна, групова, рядкова, лінійна, стрічкова, біоструктурна, терасна, точкова, комбінована та ін.

Периметральна забудова характеризується розміщенням будинків вздовж червоних ліній вулиць, що обмежують квартал. Цей прийом відрізняється найбільшою простотою в архітектурному відношенні, але має ряд недоліків: відсутність зв'язку внутрішніх квартальних просторів із простором вулиці, вимушену несприятливу орієнтацію житлових приміщень за сторонами світу, погану провітрюваність кварталів в разі невеликих розмірів. При такій забудові ділянок зі значними нахилами поверхні багато будинків доводиться розташовувати довгою стороною по нахилу в (поперек горизонталей), що створює значну різницю по висоті цокольного поверху, а іноді виникає і необхідність влаштування додаткових поверхів.

Рядкова забудова характеризується розміщенням будинків паралельними рядами – рядками незалежно від напрямку вулиць (часто будинки обернені торцями до транспортної магістралі). Рядкова забудова виникла із прагнення поставити всі житлові будинки в однакові умови стосовно інсоляції, провітрювання і взаємозв'язку з внутрішніми квартальними просторами та з транспортними магістралями. Головна перевага полягає в тому, що 90...100 % будинків мають оптимальну орієнтацію і

захищені від шуму магістралі. Рядкова забудова, маючи певні гігієнічні переваги, створює деякі труднощі в архітектурному рішенні вулиці, на яку в цьому випадку виходять торці будинків. При цьому організуються вузькі, ізольовані один від одного двори. Найбільш доцільна така забудова в поєднанні з іншими композиціями.

Лінійна забудова використовується при розміщенні житлових будинків вздовж транспортної, пішохідної магістралі або водоймища. Цей прийом дає позитивний мікрокліматичний ефект лише при співпаданні напрямків лінії забудови з азимутом оптимальної орієнтації типів будинків, що використовуються.

Стрічкова забудова утворюється послідовно розташованими будинками або одним протяжним будинком у вигляді стрічки, що зивається. Використовується з метою зберігання природного ландшафту, гнучкого “вписування” в нього. При такому прийомі можна створити гарний мікроклімат: забезпечити тривалу інсоляцію внутрішніх мікрорайонних територій, регулювати вітровий режим території, забезпечити захист від шуму.

Біоструктурна забудова нагадує біологічну будову клітчатки дерева, бджолиних сот та ін. Може складатися з окремих будинків та з єдиної безперервної структури, має велику гнучкість, виразність, не менше 70% будинків мають оптимальну орієнтацію (найдовші будинки знаходяться в секторі оптимальної орієнтації), постійне затінювання дворів території не перевищує 10%, легко створити оптимальний аераційний режим території, має розвинений дворовий простір.

Терасна забудова використовується на крутих схилах. Дах будинку, що стоїть нижче, стає майданчиком відпочинку (терасою, висячим садом) для будинку, що стоїть вище. При розташуванні на сонячних схилах (південно-східному, південно-південно-східному) забезпечує оптимальну орієнтацію. При освоєнні інших схилів виявляються негативні мікрокліматичні моменти: перегрів приміщень (південний, південно-західний, західний схили) або недостатня інсоляція.

Точкова забудова в чистому вигляді використовується з метою максимального збереження естетичних і гігієнічних якостей природного ландшафту. В містобудівній практиці точкові будинки найчастіше використовуються як містобудівні акценти і в комбінації з іншими видами забудови [89, 90].

Розсіювання повітря у міських каньйонах відрізняється від розсіювання на відкритих однорідних чи складних неоднорідних територіях. Інтенсивність вертикальної та горизонтальної турбулентності, наприклад, описується за подібними значеннями параметрів для міських каньйонів набагато меншими, ніж значення для відкритої однорідної території [91]. Практично всі нові методи поєднують супутникове дистанційне зондування та географічні інформаційні системи (ГІС), останнім часом використовуються для постійного моніторингу якості повітря на мікрорівні для ефективної оцінки ролі міських умов [92, 93].

Таким чином, для покращення якості міського повітря важливо повністю розуміти поведінку забруднюючих речовин у міському середовищі, обмеженому забудовами.

У системі координат, що рухається зі швидкістю автомобіля, поширення вихлопних газів описується рівнянням турбулентної дифузії та стаціонарним рівнянням. У приземному шарі атмосфери воно має вигляд:

$$u \frac{dn}{dx} = \left( D_T \frac{d^2n}{d^2y} + D_T \frac{d^2n}{d^2z} \right) \quad (2.4)$$

де  $n(x, y, z)$  – щільність молекул вихлопних газів; вісь  $OX$  спрямована у бік руху автомобіля; вісь  $OY$  – напрямок перпендикулярний вектору швидкості; вісь  $OZ$  має вертикальний напрямок (на поверхні траси дорівнює нулю);  $D_T$  - коефіцієнт турбулентної дифузії.

Діюча методика розрахунку концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі враховує вплив на вітровий потік тільки форм рельєфу місцевості. Сучасна забудова міст, що характеризується великою висотою будівель і високою щільністю їх розміщення, за ступенем впливу порівнянна з рельєфом місцевості. Однак цей фактор ніяк не враховується при розрахунках концентрації забруднення повітря в атмосфері та місць утворення підвищених концентрацій.

В архітектурно-будівельній аеродинаміці розроблені методи розрахунку трансформації повітряного потоку, що обтікає різні види підстильної поверхні: рельєфу місцевості, забудови міста в цілому, елементів забудови і мікросороткості. Вплив кожного з факторів характеризується коефіцієнтом трансформації повітряного

поток. Комплексний вплив підстильної поверхні поряд з коефіцієнтом трансформації оцінюється також розміром зони впливу.

Так як саме вітер переміщує та розсіює забруднюючі речовини в атмосфері, його швидкість та повторюваність і визначають рівень забруднення атмосфери, місця утворення зон підвищеної концентрації забруднюючих речовин, періодичність виникнення несприятливих ситуацій.

Головною умовою під час розрахунку розсіювання забруднюючих речовин є рельєф місцевості. Однак, забудова сучасного міста за середньої висоти 30 м і більше співвідноситься за впливом на швидкість та напрямок вітру до рельєфу. Не врахування цього вагомого фактору може суттєво вплинути на достовірність та точність визначення місць утворення максимальних концентрацій забруднюючих речовин у місті. Окрім того, на території житлової забудови можливе утворення зон зниження швидкості вітру, відсутності циркуляції в яких веде до сповільнення виведення забруднюючих речовин.

В містобудівній аеродинаміці використовується такий вираз для перерахунку швидкості вітру  $V_0$  на висоті флюгера  $h_0$  до швидкості вітру  $V$  на деякій висоті  $h$ :

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2.5)$$

де  $n$  — безрозмірна величина, що приймається в залежності від шорсткості підстиляючого шару.

Відповідно до теоретичної моделі Ф.Л. Серебровського [94, 95], швидкість вітру на території міста під впливом підстиляючого шару визначається з наступного виразу:

$$V_i = V_0 \cdot k, \quad (2.6)$$

де  $k$  — коефіцієнт трансформації:

$$k = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4;$$

де  $\tau_1$  — коефіцієнт трансформації під впливом рельєфу;

$\tau_2$  — коефіцієнт трансформації під впливом забудови в цілому;

$\tau_3$  — коефіцієнт трансформації під впливом елементів забудови;

$\tau_4$  — коефіцієнт трансформації під впливом мікрошорсткості (зелені насадження, тощо).

В даному виразі коефіцієнт трансформації розглядається як константа, що не змінюється з висотою. Проте вплив різних видів шорсткості та рельєфу на вітровий потік відрізняється і це відображається на швидкості вітрового потоку.

Наприклад, при обтіканні вітровим потоком окремої лінійної будівлі навколо неї утворюються три зони, втрата швидкості вітру в яких становить 5-10% не більше по відношенню до швидкості вітру на відкритій місцевості:

- зона підпору повітряного потоку перед будівлею має наступні розміри: довжина зони  $L_1 = (3...4) \cdot H_{\text{буд}}$ , висота  $H_1 = (1...1,8) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,65$ ;

- циркуляційна зона за будівлею:  $L_2 = (6...8) \cdot H_{\text{буд}}$ ,  $H_2 = (1,5...2,5) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,50$ ;

- зона сліду  $L_3 = (17...22) \cdot H_{\text{буд}}$ ,  $H_3 = (2...3) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,80$ ; де  $H_{\text{буд}}$  - висота будівлі.

При обтіканні повітряним потоком будівель плоскої протяжної форми також можна виділити ці три зони:

- зона підпору повітряного потоку перед будівлею має наступні розміри: довжина зони  $L_1 = (1,5...2) \cdot H_{\text{буд}}$ , висота  $H_1 = (1...1,8) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,70$ ;

- циркуляційна зона за будівлею:  $L_2 = (10...12) \cdot H_{\text{буд}}$ ,  $H_2 = (1,5...2,5) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,45$ ;

- зона сліду  $L_3 = (20...25) \cdot H_{\text{буд}}$ ,  $H_3 = (1,5...2) \cdot H_{\text{буд}}$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_3 = 0,80$ .

При обтіканні вітровим потоком групи будівель необхідно враховувати форму фрагменту забудови, розмір і форму розташування розривів між будівлями, кут розташування фронтальних будівель по відношенню до напрямку потоку. Коефіцієнт трансформації  $\tau_3$  всередині фрагменту забудови в середньому знижується до  $0,3...0,7$  і може навіть досягати значення  $0,1...0,2$ . Однак, така ситуація, що зона високих концентрацій забруднюючих речовин припадає на внутрішню частину групи

житлових будинків, зустрічається не часто, за винятком випадків розсіювання від декількох низьких джерел викиду. Тому при розв'язанні задач розсіювання забруднюючих речовин від високих точкових джерел доцільно оцінювати житлову забудову в цілому.

При обтіканні вітровим потоком житлової забудови (мікрорайон, район, населений пункт) можна виділити 4 основні зони:

- зона підпору на рівні середньої висоти забудови має довжину  $L_1 = (17...20) \cdot H_z$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_2 = 0,75$ ;
- циркуляційна зона на початку забудови:  $L_2 = (30...35) \cdot H_z$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_2 = 0,85$ ;
- циркуляційна зона за забудовою з підвітряної сторони:  $L_3 = (20...25) \cdot H_z$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_2 = 0,7$ ;
- зона сліду  $L_4 = (20...35) \cdot H_z$ , середній коефіцієнт трансформації  $\tau_2 = 0,85$ , де  $H_z$  – середня висота забудови.

Таким чином, розміри зони, в якій відбувається трансформація вітрового потоку, можуть сягати значно ширших меж самої забудови. Наприклад, з навітряного боку за 5-поверхової забудови до 300 метрів, з підвітряного боку до 900 метрів. Крім того, міська забудова має суттєвий вплив на напрямок вітрового потоку, відхиляючи його від первісного напрямку за рахунок утворення вертикальних і горизонтальних циркуляційних вихорів всередині забудови.

На зміну вітру істотно впливають форма забудови, розміри і місця розташування розривів між будівлями, кут атаки вітру по відношенню до фронтальної забудови і т.д.

В результаті дії всіх зазначених чинників місце виникнення зони з максимальною концентрацією забруднюючих речовин може бути зміщене на сотні метрів від запланованого розрахункового місця. Для малих і середніх міст, що мають розміри 3-6 км, не врахування зазначених чинників зміни швидкості вітру в умовах реконструкції та розміщення нових джерел ЗР може привести до забруднення атмосферного повітря та погіршення екологічної обстановки [96] .



Геометричне моделювання є поширеним підходом у дослідженнях розсіювання забруднюючих речовин [97, 98]. Типологія блоків є ключовим елементом для представлення загальної геометрії міського середовища та дослідники ґрунтуються на ній. Пористість забудови це система різних пустот, проходів та просторів у структурі міської тканини. Головними якостями пористої міської тканини є проникність та зв'язаність просторів, забезпеченість необхідними територіями та функціями, сприятливий мікроклімат.

В ідеалізованій моделі просторового профілю забруднень повітря приміагістральних територій запропоновано використовувати параметр проникності території який введений для оцінки продувності міської забудови щодо вітрового потоку що набігає, використовувати як коефіцієнт забруднення атмосферного повітря від викидів автомобільного транспорту [99]. Проникність визначається ставленням довжини транспортних та пішохідних зв'язків на одиницю площі ділянки. Враховуються лише відкриті пори, замкнуті простори (закриті пори) не впливають на проникність транспорту [100].

Тобто, концентрація забруднень атмосферного повітря залежно від забудови визначається за формулами як й з розрахунком без забудови, але з додаванням перерахункового коефіцієнта  $l$ . Тоді, наприклад, за відсутності вітру в стрічковій забудові (рядами) (рис.2.13а) ми отримуємо 100% проникність, відповідно перерахунковий коефіцієнт буде дорівнювати  $l=1$ . При забудові під кутом до 45 до магістралі (рис.2.13б) кількість забруднень території знижується незначно, всього на 10% та  $l=0,9$ .

Схема забруднення територій автомобільними викидами при замкненої забудові (периметральна) (рис.2.14а) досить складна за розподілом забруднень, в цілому знижує проникнення у внутрішньо будинкові території на 35÷45% и коефіцієнт забруднення атмосферного повітря від викидів автомобільного транспорту дорівнює  $l=0,45\div0,55$ .

Можна відмітити, що найбільш число ділянок підвищеної концентрації токсичних викидів утворюється при замкненої (периметральна) та фронтальній забудовах приміагістральних територій. Найменший коефіцієнт  $l$  досягається при

фронтальній забудові щодо магістралі (рис.2.14б), це  $0,1 \div 0,45$ , при цьому екранування забруднених повітряних потоків може досягати 95%.

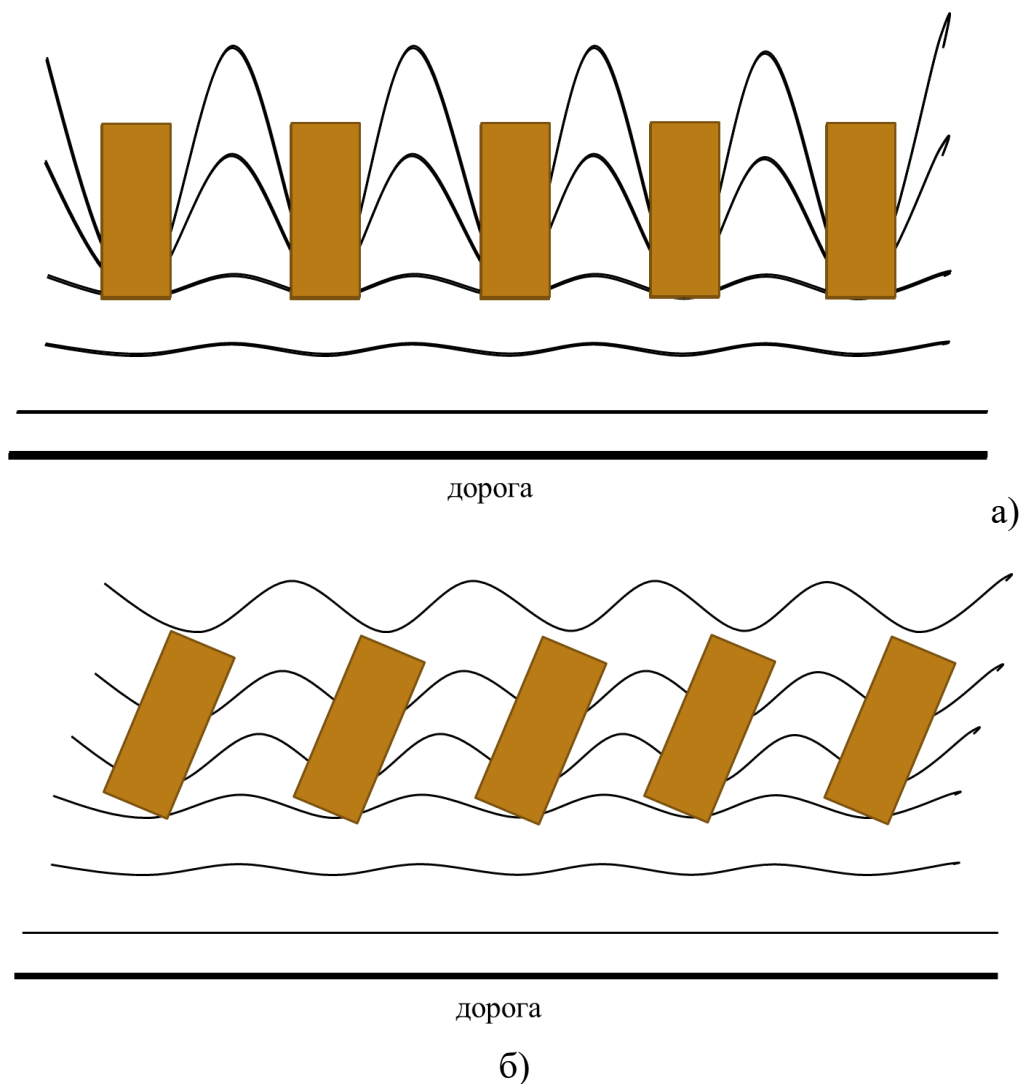


Рис. 2.13. Моделювання просторового забруднення територій автомобільними викидами при забудові: а) стрічкової; б) під кутом.

Однак треба зазначити, що на перших поверхах, звичайно, розташовані офіси, торговельно-розважальні центри, магазини, ресторани, кафе тощо, які «беруть на себе» основний вал забруднення повітряного простору, що потрапляє до приміщень з вулиць. Важливо також відзначити накопичення токсичних речовин у підземних переходах, парковках і навіть станціях метро.

Тут же можна відзначити і пішоходів, і велосипедистів, і пасажирів, які чекають на пасажирський транспорт, а також самих водіїв, які знаходяться в самому епіцентрі токсичних автомобільних викидів. При кожному вдиху здоровий дорослий закачує у

легені приблизно  $0,3 \div 0,5$  л повітря. У середньому за хвилину відбувається 15 - 16 вдихів, отже, лише за хвилину через органи проходять 8-9 л, за годину – близько 500 л, за добу – 12 000 л або 12 кубометрів повітря.

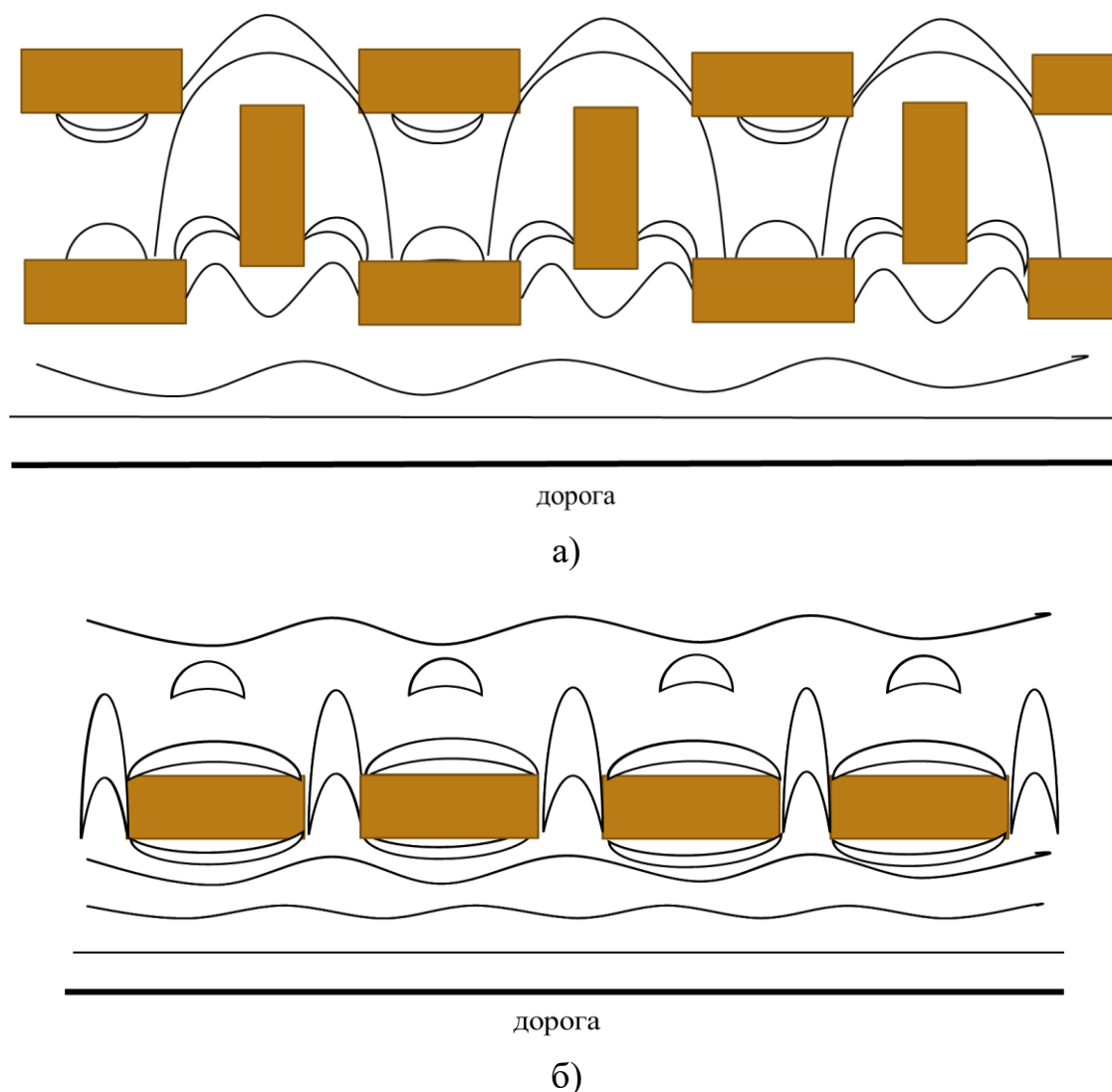


Рис.2.14. Моделювання просторового забруднення територій автомобільними викидами при з забудові: а) замкненою; б) фронтальної.

Звичайно, ідеалізована геометрія, як правило, недооцінює густину міста, оскільки спрощені масиви мають тенденцію переоцінювати рівень забруднення. При чисельному моделюванні розсіювання міських забруднювачів бажано використовувати концепцію блокової типології. Однак загалом важливо зрозуміти поведінку забруднюючих речовин в обмеженому міському середовищі, знати схеми забруднення автотранспортом просторового профілю приміагістральних територій для подальшого покращення якості міського повітря. Таким чином, проникність

забудови можна ефективно використовувати для планування розвитку міського середовища, оцінки потенціалу забруднення міських територій, управління якістю атмосферного повітря з метою охорони здоров'я населення.

Крім того, слід відмітити, що для всіх типів забудови утруднено розсіювання викидів автомобілів на тісних вулицях, хоча державними нормами визнано [101], що відстань від краю проїзних частин міських швидкісних доріг і доріг вантажного руху до лінії регулювання забудови з точки зору санітарно-гігієнічних вимог необхідно приймати не менше 50 м.

Таким чином, проникність забудови можна ефективно використовувати для планування розвитку міського середовища, оцінки потенціалу забруднення міських територій, управління якістю атмосферного повітря з метою охорони здоров'я населення [102].

Мікромасштабні моделі розсіювання забруднюючих речовин різного рівня складності можуть використовуватися для вимірювання якості повітря в містах та може допомогти фахівцям з планування забудови, розробляти більш ефективні проекти з урахуванням контролю за забрудненням повітря та «розумною» організацією дорожнього руху.

#### **2.4.3. Вплив рельєфу на забруднення повітряного простору територій міст.**

Вплив рельєфу місцевості на максимальну концентрацію приземних забруднюючих речовин враховується безрозмірним коефіцієнтом  $\eta$ . У разі рівної або слабопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км,  $\eta = 1$ . Якщо перепад висот перевищує 50 м на 1 км, то коефіцієнт  $\eta$  встановлюється на основі аналізу картографічного матеріалу, що характеризує рельєф місцевості на околиці радіусом  $R=50-H_m$ , де  $H_m$  - висота найбільш високого з джерел викидів, розташованих на одній або декількох земельних ділянках, в межах яких розташований конкретний об'єкт, що негативно впливає на навколишнє середовище (ми розглядаємо  $H=0,5$ м), у цьому  $R$  має бути менше 2 км.

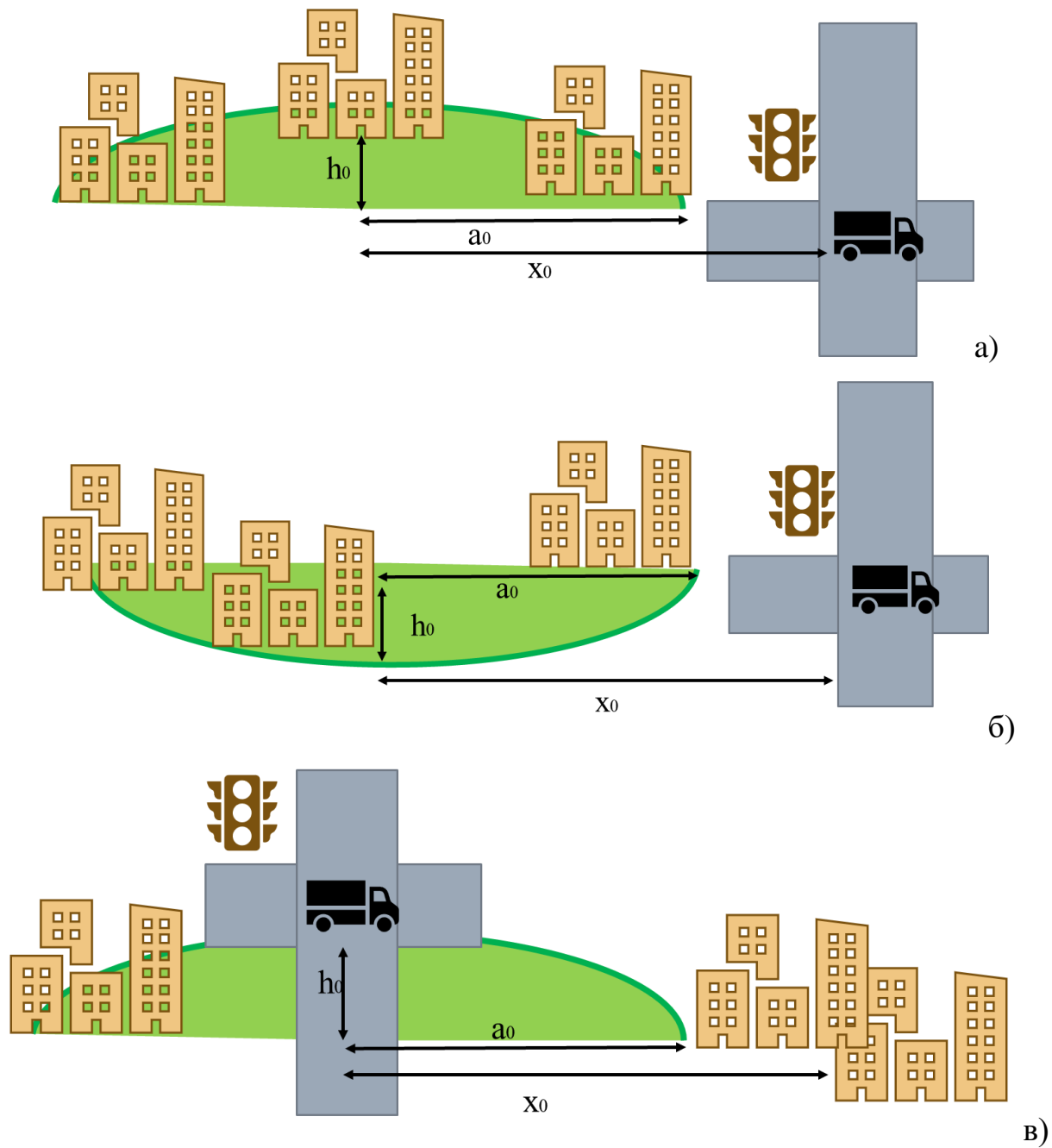


Рис. 2.15. Врахування рельєфу місцевості на максимальну концентрацію приземних забруднюючих речовин: а) пагорб; б) улоговина; в) схил. Джерело викиду забруднення розглядається як точкове.

Якщо у місті розташування джерела викиду, що розглядається, можна виділити окремі форми рельєфу (гряди, гребінь, улоговину, уступ), то поправочний коефіцієнт на рельєф  $\eta$  визначається за формулою (2.7):

$$\eta = 1 + \varphi_1(\eta_M - 1), \quad (2.7)$$

где  $\varphi_1$  - функция, определяемая в зависимости от отношения  $x_0/a_0$  (рис.2.15, 2.16) для форм рельефа, сечения (таблица 1 приложения) [103];

$x_0$  - відстань від середини аналізованої форми рельєфу, гряди або улоговини і від верхньої кромки схилу у разі уступу до джерела викиду, м;

$a_0$  - півширина гряди, пагорба (рис.2.15а, 2.16а), улоговини (рис.2.15б, 2.16б) або протяжність бічного схилу уступу (рис.2.15в, 2.16в), м.

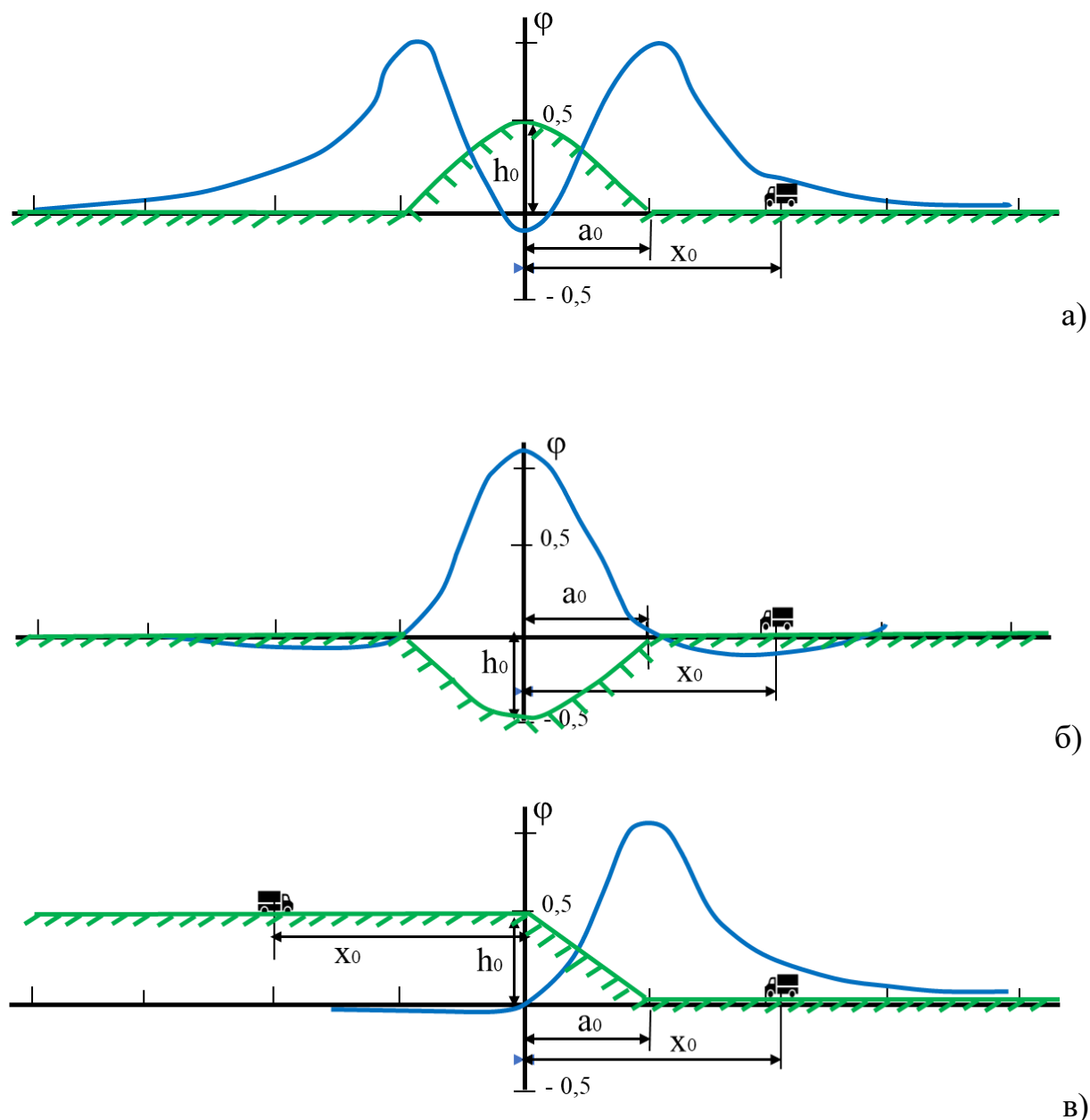


Рис.2.16. Розподіл розсіювання забруднень в залежності від рельєфу:

а) пагорб; б) улоговина; в) схил.

Якщо джерело викиду розташоване на верхньому плато уступу, то функція  $\varphi_1$  визначається залежно від відношення мінус  $x_0/a_0$ ;  $\eta_m$ - функція, що визначається за таблицею 2 (додаток 2) залежно від різних форм рельєфу та безрозмірних величин  $n_1$  и  $n_2$ :

$$n_1 = \frac{H}{h_0} \quad (2.8)$$

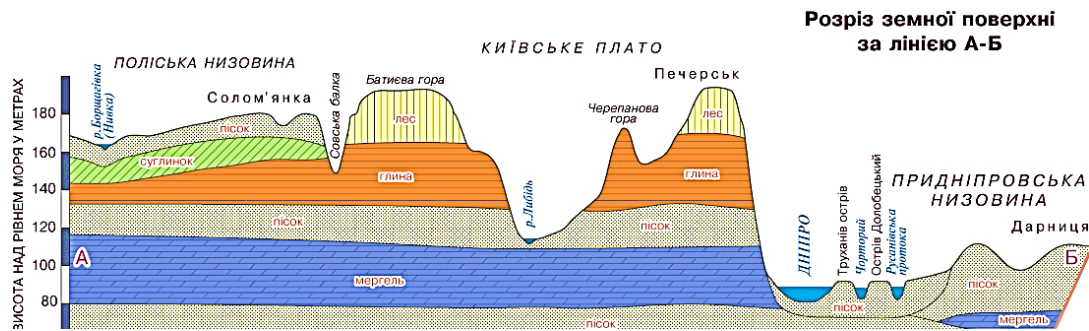
$$n_2 = \frac{a_0}{h_0} \quad (2.9)$$

де  $H$  – висота джерела викиду, м;  $h_0$  - висота (глибина) форми рельєфу, м.

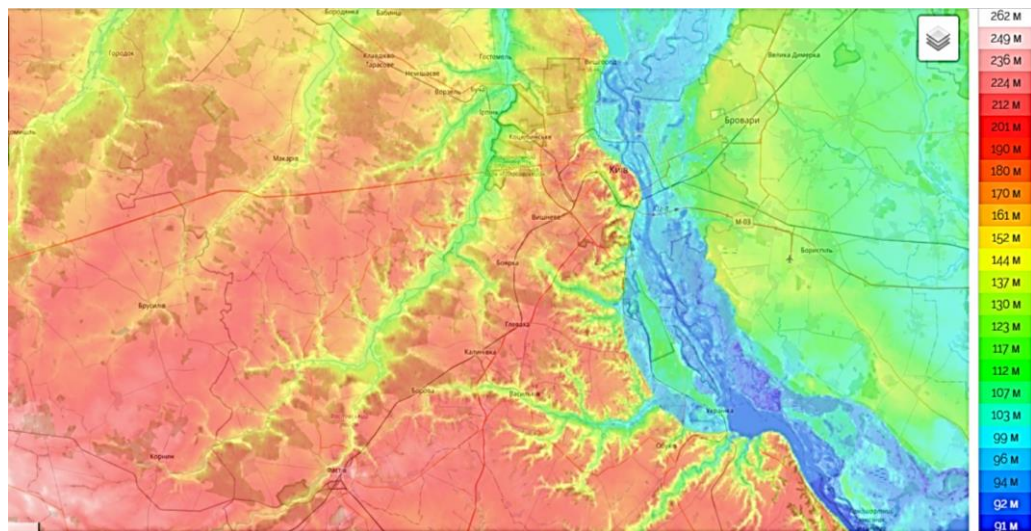
У місті поблизу магістральних доріг більшість шкідливих речовин зосереджено у місцях перехресть, вузлів (розв'язках доріг). Викидається найбільша кількість шкідливих речовин в вузлах за рахунок концентрацій великої кількості автомашин, на перехрестях за рахунок гальмування та зупинки автотранспорту перед світлофором та подальшим його розгоном по дозвільному сигналу світлофора. Таки міста умовно можливо розглядати як точкове джерело, та розраховувати як умовно стаціонарну систему виходячи зі статистичних даних.

Середній час очікування пасажирського транспорту складає  $10 \div 15$  хвилин, отже, за цей час людина виробить  $225 \div 250$  вдихів та пропустить через свої легені  $112 \div 125$  літрів забрудненого повітря, де концентрація токсичних речовин може перевищувати гранично допустимі норми десятки і більше разів.

На прикладі міста Києва можна побачити, що рельєф представлений рівнинними формами: на Лівобережжі – Придніпровська низина, на Правобережжі у північній частині – Поліська низина, у південній частині – Придніпровська височина. Відроги наддніпрянської височини (Київське плато) густо розсічене балками та ярами, місцевість піднімається, утворюючи ряд окремих висот, то опускається до рівня долини Дніпра. Найвищі точки (106 м) над рівнем Дніпра лежать у східній частині міста, в районі Печерська.



а)



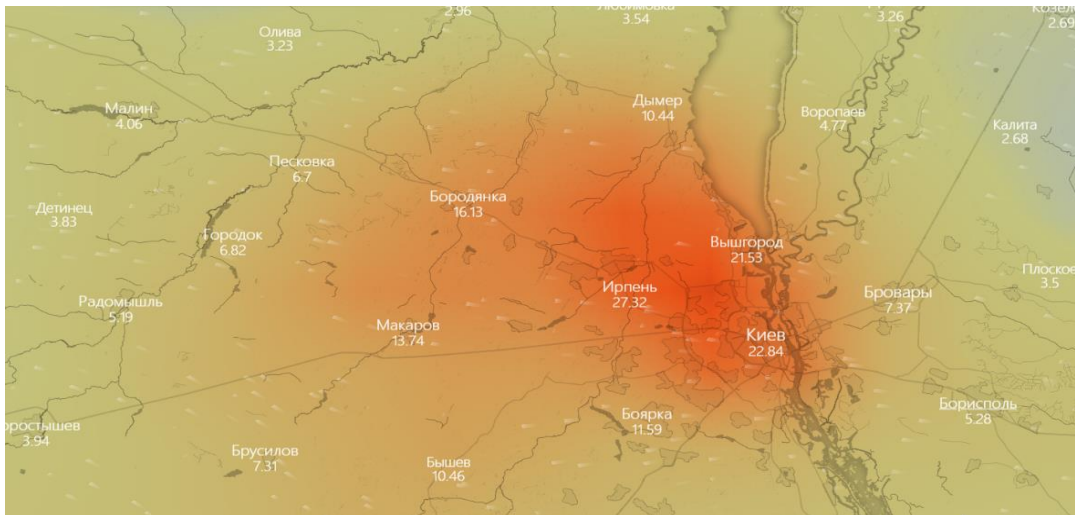
б)

Рис.2.17. Мапа Києва: а) рельєф [104]; б) топографія [105], в) забруднення приміагістральних територій.

Звідси місцевість поступово знижується на захід, у широкі долини річки Либідь та струмків Хрещатика та Скомороха, потім знову піднімається до Батієвої гори. Обидва плато високими кручами із жовтого лесу та різних порід глин обриваються на схід – у долину Дніпра, до низинних районів міста. Найнижчі точки рельєфу розташовані на Подолі (всього 4-8 метрів над рівнем річки) [105]

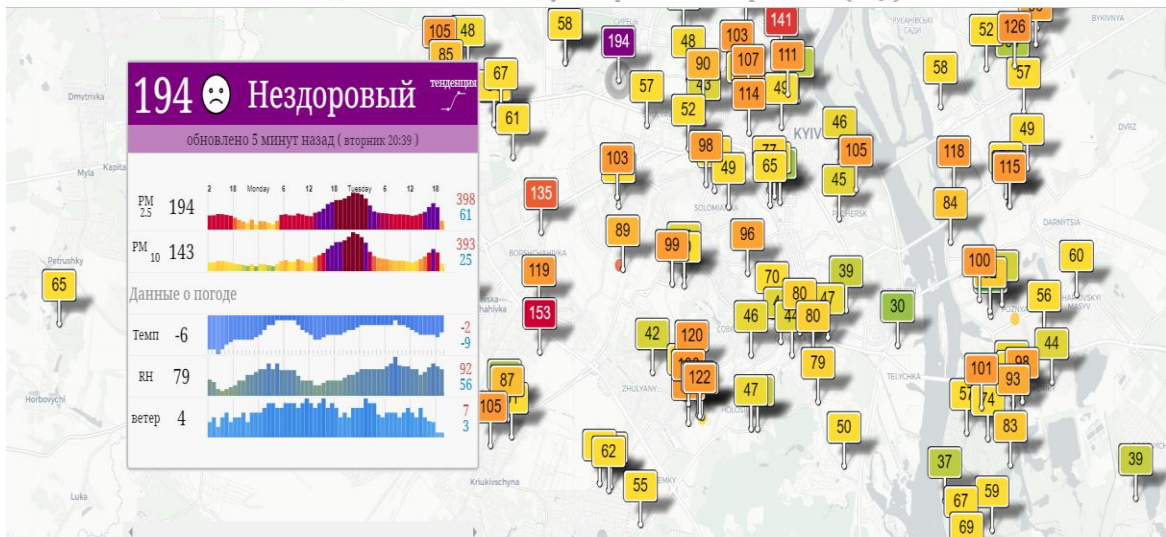
Розсіяння забруднювачів значно залежить від рельєфу міської території. На прикладі м. Києва згідно з картами рельєфу (рис.2.17) та забруднення приміагістральних територій видно, що токсичні викиди «стікають» у низовини, улоговини, яри та заплави річок та сприяють збільшенню локального забруднення цих територій.





а)

Авиаконструктора ул. Игоря Сикорского, Киев, Украина Загрязнение воздуха  
Индекс качества воздуха в реальном времени (AQI)



б)

Рис. 2.18. Супутникові дані забруднення повітря у м. Київ: а) забруднення оксидами азоту; б) забруднення згідно індексу якості повітря.

Якщо враховувати повторюваність напрямку вітру у місті [106], а он переважно західний та південно-західний, то пляма забруднення формується у напрямку вітру, що підтверджується супутниковими даними (рис.2.18).

Ще один фактор, що впливає на менше забруднення територій лівого берега – це річка Дніпро, над якою завжди підвищена концентрація водяної пари, що сприяє

очищенню повітря. Щоправда, при цьому істотно збільшується екологічне навантаження на саму річку.

Таким чином, можна констатувати, що форми рельєфу та його просторове орієнтування справляють значний вплив на міської клімат, створюючи контрастні мікрокліматичні зони за температурою, напрямком і швидкістю вітру, що створює спеціалізовані умови для розсіювання забруднюючих речовин.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі представлені теоретичні підходи та методологічні аспекти процесів забруднення повітряного простору урбанізованих територій і зроблено висновки.

1. Обґрунтовано, що на даний час, місто є нерівноважною екосистемою, з його територіях відбувається порушення природного екологічного балансу. Розвиток та функціонування міських структур визначається, як правило, не законами природи, а потребою людей. Тому важлива оцінка стану повітряного басейну урбанізованих територій не лише з погляду вирішення проблем моніторингу, а й з погляду стратегії сталого розвитку міста та є важливим компонентом містобудування та територіального планування.

2. Визнано, що проблема зниження шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище у містах є комплексною та передбачає вирішення низки науково-дослідних завдань: виявлення умов формування викидів забруднюючих речовин у міську атмосферу автотранспортними засобами; розробка математичної моделі цього механізму; оптимізація управління автотранспортними потоками у великих промислових центрах, за умов неможливості розширення (перепланування) транспортних комунікацій у системі забудованого міського ядра, постійний моніторинг повітряного простору та додаткові інженерні системи очищення повітря.

3. Сформульовані основні умови сталої роботи автотранспорту та збереження чистого повітря урбанізованих територіях: оптимізації дорожньої мережі та контроль у використанні транспортних засобів; міське планування з високою щільністю забудови та розумні стратегії комунікації; розвиток міст, орієнтований на громадський транспорт та заохочення пішохідного та велосипедного руху; удосконалення громадського транспорту та просування екологічних транспортних засобів.

4. Запропонована концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій «людина ↔ довкілля ↔ транспорт»,

згідно з якою, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження і захисту системної цілісності цих об'єктів.

5. В рамках концептуальної моделі «людина ↔ довкілля ↔ транспорт» розроблено інфологічну модель переходу до чистого повітря урбанізованих територій «населення ↔ повітряний простір ↔ примагістральні території» з основними конструктивними елементами та зв'язками, а саме модель Entity-Relationship (сутність-зв'язок).

6. Визнано, що більшість інгредієнтів, що містяться у вихлопах автомобілів, є важкими газами і тому відбувається їх накопичення у місцях вітрового затишшя. Найгірших показниках за рівнем викидів оксидів вуглецю у бензинових двигунів, за рівнем оксиду сірки та сажі а у дизельних. Викиди оксиду азоту присутні для всіх двигунів, тобто для цього викиду важливий не стільки тип двигуна, скільки паливо та очисна система. Найбільша кількість забруднюючих речовин викидається при розгоні автомобіля, тому що в цей момент двигун споживає найбільшу кількість палива, а значить у цей момент викиди вихлопних газів найінтенсивніші.

7. Встановлено, що забруднюючі гази в основному стеляться вздовж траси на десятки та сотні кілометрів, також поступово поширюючись перпендикулярно до дороги. Дальність розповсюдження автомобільних викидів залежить від погоди, напрямку та швидкості вітру, рельєфу місцевості, присутності водойм, температури та надають значний вплив на міський клімат, створюючи контрастні мікрокліматичні зони, які є специфічними умовами для розсіювання забруднюючих речовин. Інтенсивність самоочищення атмосфери на міській території визначається, з одного боку, швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що обурює вітровий потік.

8. З метою підвищення якості повітря примагістральних міських вулиць запропоновано при плануванні враховувати територію з необхідним обсягом повітряного басейну пропорційне до максимальної інтенсивності запланованого автомобільного трафіку, а саме відношення кількості викидів забруднюючих речовин до кількості повітря має перевищувати 1/1000. При неможливості виконання цієї умови вводити додаткові обмежувальні заходи.

9. Визначено, що обсяг повітряного простору примагістральних територій слід розраховувати заввишки два метри, оскільки значення реєстрованих концентрацій на нижніх рівнях міського каньйону (до 2 м) значно вище, ніж на верхніх рівнях.

10. Запропоновано параметр проникності території, який запроваджено для оцінки продувності міської забудови щодо вітрового потоку, використовувати як коефіцієнт забруднення атмосферного повітря від викидів автомобільного транспорту та використовувати його для оцінки потенціалу забруднення міських територій, управління якістю атмосферного повітря. Найбільша кількість ділянок підвищеної концентрації токсичних викидів утворюється при замкнутій та фронтальній забудовах примагістральних територій, проте екранування забруднених повітряних потоків може досягати 95%.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 2, 8, 9, 12, 14, 18, 19, 22, 24, 34,35, 7, 39, 40, 47, 48, 49, 50, 51 (за списком, який наведений в анотації).

### РОЗДІЛ 3.

## ТЕОРІЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ТА КОНТРОЛЮ ЧИСТОТИ ПОВІТРЯ

Мета третього розділу провести аналіз моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері, розробити теоретичні підходи у дослідженні забруднень та контролю повітря, визначити методологічні аспекти цих процесів.

### 3.1. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері

Однією з основних проблем глобальної урбанізації є забруднення повітря. У теперішній час існує понад 150 моделей розсіювання, розроблених у Європейському агентстві з охорони навколишнього середовища Європейського центру з атмосферного повітря та зміни клімату. Атмосферною моделлю загалом можна назвати будь-яку математичну процедуру, результатами якої є оцінка якості навколишньої атмосфери. Розвиток атмосферних моделей здійснюється головним чином за двома напрямками: розробка теорії атмосферної дифузії, де моделі ґрунтуються на описі фізичних та хімічних процесів таких як розрахунок викидів, атмосферної адвекції та розсіювання, хімічної трансформації та осадження; емпірико-статистичний аналіз поширення забруднюючих речовин в атмосфері з використанням переважно Гаусівських інтерполяційних моделей. Для опису забруднення атмосфери міст викидами від автотранспорту виділяють такі основні класи атмосферних моделей (табл.3.1):

- аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії;
- чисельне моделювання турбулентних течій;
- Лагранжеві;
- Гаусові;
- міських каньйонів;
- статистичні.

## Класифікація атмосферних моделей

Завдання	Методи вирішення	Автори
<p><i>Аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії</i></p> $\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} + v \frac{dC}{dy} + w \frac{dC}{dz} = \frac{d}{dx} \left( K_c \frac{dC}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( K_c \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( -w' C \right) + S_C + R_C$		
Розрахунок максимальних значень концентрацій, отримання функціональних залежностей концентрацій від основних чинних факторів	Рішення для лінійного джерела, U та K <sub>z</sub> змінюються з висотою по степенному закону	Г.І. Тейлор, 1915 В. Шмидт 1917 О.Ф.Т. Робертс, 1923
	Рішення одержано за допомогою перетворення Лапласа за умови w=0, K <sub>z</sub> залежить від інтегрального числа Річардсона (ОНД-86)	М.Е. Берлянд, 1975
	Вирішення одновимірного нестационарного рівняння для майданного джерела. K <sub>z</sub> зменшується до нуля на верхній межі прикордонного шару	Nieuwstadt, 1980
<p><i>Чисельне моделювання турбулентних течій</i></p>		
	Облік характеру залежності U від z	М.Е. Берлянд, 1964
	Пряме чисельне рішення повної нестационарної системи рівнянь На в'є-Стокса	Rodi et al., 1993 О.М. Білоцерківський, А.М. Опарін, 2000
	Розв'язання середніх рівнянь Нав'є-Стокса, дрібномасштабна турбулентність враховується за допомогою напівемпіричних співвідношень	Вагер, Надія, 1979 Люшин, Курбацький, 1994 Ликосів, 1991

Продовження Таблиці 3.1.		
Вивчення чутливості клімату, прогноз погоди, за забруднення природних середовищ та розробка систем моніторингу, забезпечення екологічної безпеки	Розв'язання середніх рівнянь Нав'є-Стокса, додатково рівняння для кінетичної енергії трубулентності	Роди, 1984 Пененко, Алоян, 1985
	Метод моделювання великих вихорів, дрібномасштабний спектр виключається з вихідних рівнянь Нав'є-Стокса і параметризується на основі градієнтно-дифузійного замикання, а більша частина рухів розраховується з рішення фільтрованої нестационарної системи рівнянь	Moeng, 1984; Mason, 1989 Nieustadt et al., 1991 Пухнасте та ін., 1986 Шличків 2002
	Негідростатична модель, технологія вкладених розрахунків, параметризація підстилаючої поверхні, розрахована на багатопроесорну техніку	Mesoscale Model, Weather Research Forecast МС ТГУ-ІОА
	<i>Лагранжеві моделі</i>	
$\frac{dx}{dt} = U_x + U_x' \quad \frac{dy}{dt} = U_y + U_{xy}' \quad \frac{dz}{dt} = U_z + U_z'$		
Визначення траєкторій руху домішки та випадання опадів	Випадання опадів описується марківським процесом, використовуються стохастичні моделі середньорічного вітру та коефіцієнта горизонтальної дифузії	Small et al., 1989
Аналіз далекого перенесення та дифузії SO <sub>2</sub> та сульфатів	Динамічна модель метеорологічних полів	Arritt, 1991
Відтворення розсіювання через забруднення над складним рельєфом	Використовується метод Монте-Карло	Landman, 1991



Продовження Таблиці 3.1.		
<i>Гаусові моделі</i> $C(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi U_x} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)}$		
Оцінка якості повітря в локальному масштабі для лінійних джерел (автомагістралей)	Чисельне рішення	HIWAY-2 (Petersen, EPA, 1980)
	Аналітичне рішення	General Motors model (Chock, EPA, 1978)
	Аналітичне рішення	General Finite Line Source Model (Luharetal., 1989)
	Чисельне рішення, висота шару перемішування використовується для оцінки розсіювання	CALifomia LINE som-ce model, версія 4 (Benson E PA, 1989)
<i>Моделі міських каньйонів</i>		
Прогноз концентрацій на авто магістралях на коротких часових	$C = \frac{Q}{u_b \left(\frac{W}{2}\right)} \cdot \frac{F}{1-F}$ , де F- рециркулююча частина, Q - обсяг викидів	STREET (Johnson et al., USA, 1973)
	$C = \frac{K}{u + u_s} \cdot \frac{H - z}{H} \cdot \sum_i \frac{Q_i}{W}$ Розрізняють концентрації з підвітряного та навітряного боку	Canyon Plum Box Model (Yamartino et al., 1986)
	Емпірична залежність між концентрацією та швидкістю вітру, отримана в аеродинамічній трубі	Calculation of Air pollution від Road traffic (Eerens et al., 1993)

інтервалах (від кількох годин до доби)		
	Продовження Таблиці 3.1.	
	$c = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{u_b} \cdot \sum_i \frac{Q_i}{h_0 + \left(\frac{\sigma_w}{u_b}\right)x_i} + \frac{Q}{\sigma_{wi}W}$ <p>де <math>\sigma_w</math> – дисперсія швидкості вітру;  <math>\sigma_{wi}</math> - дисперсія вітру, що породжується рухом автомобілів</p>	Operational Street Pollution Model (Berkowicz, 1996)
<b>Статистичні моделі</b>		
Прогноз денних та варткових максимумів	Лінійна стохастична модель (одномірна)	McCoUister, 1975
Прогноз сезонних максимумів варткових концентрацій CO	Детерміновано-стохастична модель	Jakeman, 1991
Прогноз денного максимуму концентрацій CO	Рівняння регресії	Агон et al., Los Angeles, 1991
Добовий прогноз концентрацій CO	Багатомірні регресійні моделі	Comrie, Diem, 1999
Моделювання середньодобової динаміки дозових навантажень	Теорія нечітких множин	Raimondi, USA, 1997

*Аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії.* Основним завданням цього методу є розрахунок максимальних значень концентрацій, отримання функціональних залежностей концентрацій від основних чинних факторів.

Багато моделей, що моделюють розповсюдження забруднення повітря, засновані на рішенні (чисельному чи аналітичному) рівняння адвекції-дифузії, що передбачає параметризацію турбулентності для реалістичних фізичних сценаріїв. Загальне стаціонарне тривимірне рішення рівняння адвекції-дифузії з урахуванням вертикально неоднорідного прикордонного шару атмосфери для довільних вертикальних профілів вітру авторами [107]. Отримано [108] вираз для рівняння адвекції-дифузії, що залежить від вихрової дифузії, асиметрії, Лагранжевої шкали часу і вертикальної турбулентної швидкості. Єдине аналітичне рішення рівняння стаціонарної атмосферної дифузії для кінцевих і напівнескінченних середовищ - це технічний метод поділу змінних.

Діяльність [109] рівняння адвекції-дифузії вирішується у двох вимірах до розрахунку нормованої інтегрованої концентрації бічного вітру методом Лапласа. Враховуючи, що швидкість вітру стала, є дві моделі коефіцієнта дифузії вертикальних вихорів: одна залежить від відстані за вітром, а інша модель залежить від відстані по вертикалі. Що стосується нормалізованої середньоквадратичної похибки (NMSE) і дробової частини  $V_{ais}$  (FB), друга модель краще працює з даними, що спостерігаються, ніж прогнозована перша модель в нестабільних умовах.

Рішення у роботі [110] отримано з урахуванням довільної середньої швидкості вітру, яка залежить від вертикальної координати ( $z$ ), і узагальненої функціональної форми, що розділяється, для коефіцієнтів дифузії вихорів через поздовжні ( $x$ ) і вертикальні координати ( $z$ ). Описані приклади показують, що відомі аналітичні рішення в замкнутій формі, доступні в літературі як для кінцевих, так і для напівнескінченних/нескінченних середовищ, є окремими випадками цього уніфікованого аналітичного рішення. Вони добре узгоджуються з рішеннями, отриманими з інших аналітичних процедур.

У роботі [111] надано оцінку ефективності єдиного формального аналітичного рішення для моделювання завдань атмосферної дифузії в стабільних умовах.

Ефективність формального аналітичного рішення оцінюється шляхом порівняння збіжних прогнозованих результатів зі спостережуваними значеннями стабільних прогонів експерименту *Prairie Grass*, а також з результатами моделювання, доступними в літературі. Розроблений алгоритм є ефективним і швидкість збіжності залежить від умови стійкості та розглянутих параметрів швидкості вітру та турбулентності.

**Чисельне моделювання турбулентних течій.** Це потужний інструмент для дослідження турбулентних потоків як для теоретичних досліджень, так і для практичних програм. Надійність моделювання в основному залежить від прийнятої моделі турбулентності і підвищення її точності є критично важливим питанням. [112]. Дана модель дозволяє вивчати чутливість клімату, прогноз погоди, забруднення природних середовищ та розробку систем моніторингу, забезпечення екологічної безпеки. Вона використовує багато методів вирішення, а саме:

- пряме чисельне рішення повної нестационарної системи рівнянь Нав'є-Стокса;
- розв'язання середніх рівнянь Нав'є-Стокса;
- враховується дрібномасштабна турбулентність за допомогою напівемпіричних співвідношень;
- розв'язання середніх рівнянь Нав'є-Стокса, додатково рівняння для кінетичної енергії турбулентності;
- моделювання крупних вихорів, де дрібномасштабний спектр виключається з вихідних рівнянь Нав'є-Стокса і параметризується на основі градієнтно-дифузійного замикання, а більша частина рухів розраховується з рішення фільтрованої нестационарної системи рівнянь;
- негідростатичне моделювання, де технологія вкладених розрахунків, параметризація підстилаючої поверхні, розрахована на багатопроцесорну техніку.

Автори [113] досліджували можливість альтернативного формулювання рівнянь Нав'є-Стокса, заснованої на стохастичному представленні поля швидкості. Новий підхід, названий псевдостохастичним моделюванням (PSS), є узагальненням широко розповсюдженої класичної моделі вихрової в'язкості, в якій внесок

невирішених масштабів руху виражається тензором дисперсії, що моделюється відповідно до різних парадигм. Математично і чисельно порівнюються моделі PSS із класичними в турбулентному потоці.

У роботі [114] представлені підходи до моделювання турбулентності: усереднене за Рейнольдсом, Нав'є-Стокса (RANS), дворідинні моделі, моделювання дуже крупних вихорів. (VLES), нестационарне усереднене за Рейнольдсом, Нав'є-Стокса (URANS), моделювання окремих вихорів (DES) та деякі цікаві, відносно недавні, гібридні методи LES/RANS.

Рішення у крупному масштабі для детального моделювання крапель води, розсіяних у турбулентному повітряному потоці ґрунтується на синтетичній моделі, побудованій з використанням попередньо обчислених автономних симуляцій RVE та цифрового дерева, що чергується, щоб охарактеризувати нелінійний динамічний відгук у дрібному масштабі. Мультимасштабна процедура поєднує новий елемент репрезентативного обсягу (RVE) з методом псевдопрямого чисельного моделювання (P-DNS). Розроблена синтетична модель використовується для моделювання потоків з повітряними краплями в глобальному масштабі за допомогою методу P-DNS. В результаті отримано покращені прогнози для умов потоку, в якому помітна модуляція турбулентності [115].

*Лагранжеві моделі.* Це потужний спосіб аналізу результатів моделей циркуляції, визначення траєкторій руху домішок та випадання осадів та інших даних про швидкості.

Модель Лагранжа обчислює дисперсію забруднення повітря шляхом розрахунку безперервної траєкторії шлейфу, як рядів дискретних парцел забруднювачів. Дана модель використовує рухому систему відгуку відносно свого початкового розташування. Загальна концентрація забруднювача у точці обчислюється з урахуванням вкладу всіх складових шлейфів. Шарова модель також може включати розподілу Гауса для опису розсіювання забруднюючих речовин в кожному шлейфі. Цей підхід має більш високу ступінь точності, порівняно з Гаусовими дисперсійними моделями, проте потребує більшого часу для реалізації моделі.

Оцінка ефективності Лагранжевих моделей турбулентної дисперсії частинок, заснованих на рівнянні Ланжевена розглянуто в роботі авторів [116], де сімейство моделей Ланжевена, розкладає флюктууючу швидкість рідини, що спостерігається частково, на два компоненти, один з яких корелює з попереднім тимчасовим кроком, а другий вибирається із вінеровського процесу. Такі моделі можна вважати стандартними. Модель, запропонована Мін'є та Пейрано (2001 р.), заснована на функції щільності ймовірності та виконує замикання на рівні прискорення рідини, видимою частинкою. Формулювання моделі рівняння Ланжевена для збільшення швидкості рідини дозволяє вловити деякі лежачі в основі фізики дисперсії частинок у загальних турбулентних потоках, зберігаючи при цьому простоту математичних маніпуляцій зі стохастичною моделлю, уникаючи деяких пасток.

Авторами [117] використовувалися модель на основі дисперсії лагранжевого потоку, тобто моделі A2Cflow/A2Ct&d і модель на основі стійкої Гаусової дисперсії шлейфу, тобто AERMOD. Результати моделювання AERMOD показали, що забруднюючі речовини від джерела переносяться і розсіюються навколо джерел аналогічно до середнього напрямку вітрового потоку. Порівняльний аналіз осадження забруднюючих речовин, оцінений за допомогою моделі стаціонарного Гаусового шлейфу і моделі Лагранжевого шлейфу, показав, що модель Гаусового шлейфу недооцінює величину розсіювання забруднення на береговому майданчику в денний час і завищує оцінку в період з пізньої ночі. Модель, заснована на Лагранжевих рівняннях, рекомендується для оцінки розсіювання та осадження забруднюючих речовин навколо області нестационарного повітряного потоку.

Для виміру антропогенних викидів вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) на місці в умовах обмеження границями міста, автори [118] також використовують Лагранжеву методологію, засновану на реконструкціях за допомогою дифузійних зворотних траєкторій та байєсівської інверсії. Комплексну мережу спостережень за газами TRACE здійснюють за допомогою рейсів AirLiner (CONTRAIL), високої вежі Цукуба Метеорологічного науково-дослідного інституту (MRI) Японського метеорологічного агентства та двох наземних об'єктів - сайти (Додаїра та Кісай) із Всесвітнього центру даних з парникових газів (WDCGG).

Регіональні (площа  $\sim 10^4$  км<sup>2</sup>) оцінки потоків з використанням глобальних моделей утруднені в невеликих часових та просторових масштабах через нездатність транспортних моделей уявити вимірювання СО<sub>2</sub> поблизу великих точкових джерел [119]. Тому бажана методологія з вищою роздільною здатністю [31], з осередками сітки в межах  $\sim 1$  км<sup>2</sup> [120]. Для цього додатку добре підходять методи, що базуються на Лагранжевих, і нещодавні дослідження все частіше звертаються до проблем інверсії в масштабі міста [121].

**Гаусові моделі.** Ці моделі є найпоширенішим у моделюванні аналізу повітряної дисперсії [122, 123]. Вони дозволяють розраховувати концентрації забруднюючих речовин в області моделювання по прямій лінії між джерелом та точкою розрахунку для кожної години. Однак вони не враховують час, необхідний для проходження шлейфу забруднювача від джерела до точки розрахунку. Так, при досить малих швидкостях вітру максимальна відстань, для якої можна створити розрахунки, не перевищуватиме 10 км. З цієї причини моделі Гауса обмежуються лише даною відстанню для прогнозування концентрацій забруднюючих речовин.

Сутність гіпотези про Гаусову модель шлейфу передбачає, що концентрація забруднювача в струмені пропорційна інтенсивності викиду і обернено пропорційна швидкості вітру в точці викиду. При швидкості вітру близької до нуля, передбачувана концентрація прагне нескінченності, і Гаусове представлення шлейфу є недійсним.

У групі моделей HIWAY-2 [124], CALINE-4 (California line source model) [125], 3M [126], GFLSM [127], OMG [128] для оцінки процесів розсіювання також застосовуються різні версії Гаусових моделей. У моделях HIWAY-2 та CALINE-4 концентрації при довільному напрямку вітру визначаються за допомогою численних процедур. Магістраль поділяють на послідовність елементів, концентрації яких обчислюються, та потім сумуються [305]. Моделі ROADWAY [129] та MGO [130] засновані на підході, який використовує К-теорію, що дозволяє описувати взаємодію між процесами дифузії та хімічної трансформації. Моделі цієї групи завдяки розвитку комп'ютерних технологій роблять їх використання зручнішим.

G. Csanady [131] отримав аналітичне рішення Гаусового рівняння для кінцевого лінійного джерела в окремому випадку, коли вітер спрямований перпендикулярно

дорозі. У моделі GFLSM (General Finite Line Source Model) таке рішення було ухвалено для будь-яких напрямків вітру щодо дороги. Аналітичне рішення моделі GFLSM спочатку було виведено з формули Гауса подібно до того, як, наприклад, у моделях HIWAY-2 і CALINE 4, у припущенні про необмеженість висоти кулі перемішування.

Рівняння розсіювання в моделі CAR-FMI ґрунтуються на Гаусовій моделі для лінійного обмеженого джерела. Параметри розсіювання, одержувані за допомогою цієї моделі, певною мірою відрізняються від параметрів моделі GFLSM, в якій застосовується параметризація на основі класів стійкості Песквілла. Параметри розсіювання у моделі CAR-FMI описуються функціями від довжини Моніна-Обухова, яка визначається відношенням швидкості вітру до висоти шару перемішування. Ці величини обчислюються за допомогою моделі метеорологічного препроцесора FMI [132]

**Моделі міських каньйонів.** Ці моделі найчастіше використовують для прогнозу концентрацій викидів на автомагістралях на коротких часових інтервалах (від кількох годин до доби).

Деякі найнебезпечніші випадки забруднення повітря викидами автотранспорту можуть спостерігатися на міських автомагістралях, оточених високими будинками. Такі конфігурації прийнято називати міськими каньйонами. Розсіювання повітря у міських каньйонах відрізняється від розсіювання на відкритих однорідних чи складних неоднорідних територіях. Інтенсивність вертикальної та горизонтальної турбулентності, наприклад, описується за подібними значеннями параметрів для міських каньйонів набагато меншими, ніж значення для відкритої однорідної території [133]. Масштаб турбулентності, що впливає на флуктуації концентрацій, обмежується в міських каньйонах.

Серед найбільш широко використовуваних моделей розсіювання у міських каньйонах - STREET [134], CPBM [135], CAR [136], OSPM [137]. Transport Research Board використали змішаний підхід CAL3Q, заснований на теорії масового обслуговування та теорії сигналів. G. Schattanek допрацював модель CAL3Q до моди



CAL3QHC, що задовільно описує сценарії з низькою і високою щільністю автомобілів на міських автомагістралях [138].

Інший масштаб складності спостерігається в моделях, заснованих на чисельному розв'язанні рівнянь вітрового потоку та скалярної дисперсії. Ключова проблема тут полягає в тому, щоб отримати відповідну параметризацію коефіцієнтів вихрової (турбулентної) в'язкості та турбулентної дифузії. Ця проблема спільна для всіх турбулентних потоків, але в умовах міських каньйонів використовуються специфічні крайові та початкові умови. Застосування CPBM моделі дає значно кращі результати порівняно з емпіричною STREET-моделлю, особливо в широкому діапазоні метеорологічних ситуацій, які в STREET-модель не включені.

Емпіричний підхід був використаний у нідерландській моделі забруднення від автотранспорту CAR (Calculation of Air pollution from Road traffic) [136]. Підхід, подібний до Canyon Plum-Box моделі, був застосований у датській моделі OSPM (operational street pollution model) – оперативна модель забруднення вулиць. OSPM використовує спрощену параметризацію потоку та умов розсіювання у міських каньйонах. Ця параметризація була отримана шляхом експерименту ментальних даних та результатів тестування моделі [139]. Результати цих тестів були використані для покращення результатів моделі, особливо для різних конфігурацій вулиць та мінливих метеорологічних умов.

Порівняння традиційної моделі каньйону та двох модифікованих моделей каньйону, в яких враховується наявність висотних будівель, представлено як для випадку вузькосмугового, так і широкосмугового сигналу. Вузька смуга створюється за допомогою трасування променів і включає пряму хвилю, дзеркальне відбиття від стін та землі будівель та дифраговані хвилі. Широкосмугова модель розроблена шляхом застосування передавальної функції каналу до даних, отриманих методом RT [140]. Пропоновані моделі використовуються для прогнозування сигналу, що приймається в реальних міських умовах з супутників.

Особливий інтерес викликають реакції окиснення, що призводять до трансформацій NO-NO<sub>2</sub>. У більшості випадків ці процеси можуть бути успішно описані простою системою NO-NO<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>, беручи до уваги час перебування газів в

атмосфері вулиці [141]. В окремих випадках важливе значення можуть мати й інші хімічні механізми. Bower [142] та Derwent [143] відзначали епізоди забруднення в Лондоні в грудні, коли концентрації  $\text{NO}_2$  досягають рівнів, які не можуть бути пояснені лише озоновим окисненням. Можливий механізм реакції – це окислення молекулярним киснем [144]. Так як це реакція третього порядку, вона вимагає дуже високих концентрацій оксиду азоту та тривалого часу перебування газів, щоб надавати значний вплив. *Це може мати місце при застійних погодних умовах, коли значні концентрації полутантів спостерігаються кілька днів. Але моделей, що задовільно описують це явище, поки немає.*

**Статистичні моделі.** Є корисним інструментом діагностики та передбачення якості повітря через інтерполяцію та екстраполяцію вимірних даних. Закономірності, що описуються за допомогою таких моделей, порівняно прості, що пояснює досить широке використання робіт цього напрямку у різних країнах.

Розробка методів прогнозу починається, насамперед, із виявлення періодів із значним забрудненням атмосфери. Потім встановлюються кореляційні залежності між тими, що спостерігалися в ці періоди забруднення повітря та деякими метеорологічними величинами або їх певним поєднанням, що розглядаються як предиктори. Таким шляхом виробляються різноманітні прогностичні правила. Використовуються також методи статистичної екстраполяції в часі режиму зміни забруднення повітря з урахуванням виявлених автокореляційних залежностей та інерційних факторів. Вибір предикторів зазвичай здійснюється із загальних фізичних представлень про можливі причини змін концентрацій домішки – зміни напрямку або швидкості вітру, стійкості атмосфери, вимивання або трансформації домішок.

Проведені дослідження показують, що статистичні моделі, засновані, наприклад, на аналізі числових рядів, мають значні обмеження для застосування в задачах моделювання забруднення повітря у випадках, коли основним джерелом є викиди автотранспорту. Достоїнством цих схем є розробленість формального апарату, відносна простота реалізації, можливість ефективності використання у рамках систем автоматизованого контролю забруднення атмосфери та достатньо

висока виправданість [145]. W. Glem розробив емпіричну модель оцінки середньомісячних концентрацій CO для довгострокового тренду [146].

Прогнозування якості повітря (AQ) сприймається як проблема регресії за допомогою методів обчислювального інтелекту (CI). Моделі лінійної регресії, а також моделі штучної нейронної мережі розробляються разом з моделями Random forest для п'яти розташувань на досліджувану область і для набору даних з обмеженою розмірністю ознак [147].

Ансамблевий підхід також використовується для створення та тестування моделей прогнозування якості повітря. Результати [148] вказують на хорошу продуктивність моделі з коефіцієнтом кореляції між прогнозами та вимірюваннями середньодобового значення концентрації за день до досягнення 0,765 для одного з положень. Загальні результати показують, що конкретний підхід до моделювання може підтримувати надання прогнозів якості повітря з урахуванням обмеженої розмірності простору ознак і з використанням простих моделей лінійної регресії.

A. Comrie та F. Diem розробили багатовимірні регресійні моделі для тимчасових рядів концентрацій CO [148]. Було виявлено, що ці моделі забезпечують хорошу точність добових прогнозів концентрацій CO з дисперсією від 0 до 9 ppm та помилками в межах 1 ppm. P. Sharma використовував теорію екстремальних значень для прогнозу кількості національних порушень стандартів якості атмосферного повітря (NAAQs) на перетині міських автомагістралей, де основним джерелом забруднення є викиди від автотранспорту [149]. Для таких же перехресть P. Sharma і M. KJiare використовували методи Бокса-Дженкінса для аналізу часових рядів з метою дослідження законів про контроль за викидами від автотранспорту та поліпшення короткострокових прогнозів рівнів забруднення навколишнього середовища автотранспортом у режимі реального часу [150].

Останнім часом статистичні методи, такі як штучні нейронні мережі, теорія нечітких множин, використовуються як альтернативний інструмент у моделюванні забруднення атмосферного повітря автомобільними вихлопами. Так, F. Raimondi розробив модель АРМ, засновану на теорії нечітких множин, що дозволяє моделювати невизначеності та описувати середньодобову динаміку дозових

навантажень територій. Можливість використання теорії нечітких множин у задачах забруднення повітря показали в [151].

Непараметричний підхід до вивчення статистичної моделі, яка виявляє цікаву періодичну динаміку та кореляцію набору даних. В основі масштабованої структури оновлення переконань та підходу до навчання непараметричної моделі є алгоритм ітеративного оновлення для прискорення Гаусівського процесу, який відомий своїми заборонними обчисленнями з великими вхідними даними [152].

Ґрунтуючись на проведеному аналізі [91], можна відзначити, методи та моделі аналізу стану навколишнього середовища за рахунок багатогранності та багатоаспектності підходів при побудові єдиної класифікації атмосферних моделей є складним завданням. З метою отримання достовірної інформації про стан атмосферного повітря приміських територій міста використовуються різні методи аналізу та моделювання стану довкілля.

Модель Лагранжа обчислює дисперсію забруднення повітря шляхом розрахунку безперервної траєкторії шлейфу. Вона рекомендується для оцінки розсіювання та осадження забруднюючих речовин навколо області нестационарного повітряного потоку. У роботі цей метод використовується для розрахунку профілів розсіювання озону на прилеглий території як від точкового джерела. Для визначення рівня чистоти ми будемо використовувати нечітку логіку, тоді поняття "Рівень чистоти" стане лінгвістичною змінною.

Гаусова модель дозволяє розраховувати концентрації забруднюючих речовин в області моделювання по прямій лінії між джерелом та точкою розрахунку для кожної години та отримати модель забруднення викидами приміських територій міста. сучасний метод оптичного контролю концентрації мікрочастинок пилу, домішок та мікроорганізмів у повітрі. За допомогою Лагер-Гауса пучка та подвійного фазового клину розроблено візуальний метод підрахунку мікрочастинок у повітрі, що особливо важливо при використанні чистих приміщень.

Статистичні моделі є корисним інструментом діагностики та передбачення якості повітря через інтерполяцію та екстраполяцію вимірних даних.

Закономірності, що описуються за допомогою таких моделей, порівняно прості, що пояснює досить широке використання робіт цього напрямку у різних країнах.

Елементи моделей міських каньйонів плануємо використовувати для прогнозу концентрацій викидів на автомагістралях на коротких часових інтервалах (від кількох годин до доби).

Механізм реакції  $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$ , беручи до уваги час перебування газів в атмосфері вулиці – це окислення може бути не тільки молекулярним киснем, а й озоном. Так як це реакція третього порядку, вона вимагає дуже високих концентрацій оксиду азоту та тривалого часу перебування газів, щоб надавати значний вплив. Це може мати місце при застійних погодних умовах, коли значні концентрації поллютантів спостерігаються кілька днів. Але моделей, що задовільно описують це явище, поки немає [153].

## **3.2 Теорія та методологія будівництва чистих приміщень та контролю чистоти повітря**

**3.2.1 Теоретичні аспекти будівництва чистих приміщень.** Поблизу транспортних маршрутів і міських територій в концентрації частинок в атмосферному повітрі зазвичай переважають ультрадрібні частки. Ці частинки можуть потрапляти в довколишні будівлі, впливаючи на людину. Пил - це більше, ніж просто бруд і сажа, що надходять ззовні, він наповнений всілякими подрібненими частинками і, залежно від того, де ви живете, токсичними мікроелементами.

Дослідження з оцінки пилу, що переноситься по повітряю шляхом відбору проб частинок, затриманих в автомобільних повітряних фільтрах (CAF) в Мехіко. Пил CAFs аналізували методами оптичної мікроскопії та SEM – EDX [154]. Оптична мікроскопія показала, що пил містить органічні речовини; залишки комах та рослин та неорганічні речовини; кварцовий пісок, пластмаси та полістирол. Цей матеріал був класифікований за розміром (від 10 до 76 мкм).

Агломерати були механічно зруйновані та визначені їх основні компоненти таких елементів, як C, O, Si, Al, Ca та Fe. Частинки пилу часто асоціювалися з

твердими агломерованими частинками в їх складі на поверхні була виявлена, серед іншого, Pt. Так само залишки комах містять велику кількість твердих частинок, що пристали до їх поверхні.

Розподіл за розмірами твердих частинок вихлопних газів дизельних двигунів, виміряний на великій кількості транспортних засобів і випробувальних двигунів, що використовують різні види дизельного палива, зводиться до єдиного характеристичному логнормальному розподілу, коли воно нормалізовано за загальною кількістю частинок і нанесено на графік в залежності від масштабованого діаметра. Логнормальний розподіл - це двопараметричне сімейство абсолютно безперервних розподілів і якщо випадкова величина має логнормальний розподіл, то її логарифм має нормальний розподіл також зване розподілом Гауса.

Ми обговорюємо можливість того, що окислення сажі також грає роль у визначенні форми характерних розподілів, і можливість того, що ці сигнатури можна використовувати для розрізнення викидів сажі від інших аерозолів. Однією з головних проблем є правильна організація потоків повітряної суміші в проектуванні вентиляції для чистих приміщень. Спосіб подачі повітря та пристрій розподілу повітря вибираються відповідно до цілей приміщення, що використовується. Система кондиціонування для чистих приміщень повинна подавати певну кількість чистого повітря, щоб підтримувати заданий рівень чистоти приміщення. Крихітний забруднювач, званий  $PM_{2,5}$ , або тверді частинки розміром менше 2,5 мікрон у поперечнику, вважаються найбільш шкідливим забруднювачем. Вони містяться у сажі, димі та пилу та коли потрапляють в легені, можуть спричинити довгострокові проблеми зі здоров'ям.

Автори роботи [155] спостерігали різні розподілу характеристик для бензинових автомобілів з прямим уприскуванням і для автомобілів з локальним уприскуванням. Ці характерні розподілу порівнюються з чисельне розрахованими самозберігатися розподілами за розмірами, які включають фрактальні розміри, менші або рівні 3, для опису дендритних природи сажі. Однак одні тільки моделі коагуляції не здатні відтворити спостерігаються характерні розподілу; в порівнянні з даними про

дизельному двигуні вони помітно асиметричні й занадто круті на стороні розподілу часток великого діаметру.

Разом із збільшенням обсягів будівництва у світі закладів охорони здоров'я, лабораторій та підприємств з виробництва мікроелектроніки, ліків, тощо, різко зріс попит на системи для чистого повітря з використанням плоских та просторових стрижневих систем, що широко використовуються у промисловому та цивільному будівництві. Для таких стрижневих систем необхідно проводити розрахунок за деформованою схемою з урахуванням їх геометрично нелінійної поведінки [156,157]. Інший спосіб будівництва - складання збірних елементів, які з'єднуються між собою на місці. Матеріали, що використовуються при будівництві чистих приміщень, слід вибирати, беручи до уваги, що вони не будуть створювати забруднення у повітрі, щоб зберегти чистоту продукту.

Будівництво чистих приміщень здійснюється відповідно до стандартів проектування чистого приміщення [158÷162]. Ці стандарти визначають класи чистоти повітря, вимоги до контролю та моніторингу для підтвердження постійної відповідності, пов'язані контрольовані середовища, методи випробувань, проектування, будівництво та експлуатацію чистих приміщень. Будівельні та покривні матеріали повинні відповідати вимогам, встановленим до чистих приміщень відповідного класу [163].

Чисте повітря приміщення є необхідною вимогою для подальшого розвитку людства у багатьох промислових сферах, наприклад таких, як мікроелектроніка, фармацевтика, біотехнології, медичні прилади та космічна промисловість та інші [164]. Технологія чистого приміщення при вирішенні задач повинна забезпечувати контроль та зменшення частинок та мікроорганізмів та газових включень у повітрі.

З метою класифікації враховуються лише набори частинок із кумулятивним розподілом концентрації частинок, розмір яких знаходиться в межах 0,1-5,0 мкм. Особливі вимоги до чистої кімнати виражаються в концентрації та в аерозольних лічильниках частинок. Концентрація аерозольних частинок у повітрі визначає клас чистих приміщень. Вимоги до чистих приміщень у виробництві фармацевтичних препаратів та мікробіологічних продуктів описані у стандарті GMP (Good

Manufacturing Practice), прийнятому у світі в 1999 р. Стандарт GMP містить 4 класи з гранично допустимою концентрацією частинок та кількістю життєздатних мікроорганізмів у 1м<sup>3</sup> (табл. 3. 2).

Таблиця 3.2.

**Значення максимальної концентрації частинок та кількості життєздатних мікроорганізмів для 4 класів чистих приміщень відповідно до GMP**

Клас чистої кімнати за GMP	Гранично допустима концентрація частинок, частинок / кубічний метр, з розмірами, рівними або більшими за наступні значення, мкм				Максимальна допустима кількість життєздатних мікроорганізмів на м <sup>3</sup>
	Оснащені чисті приміщення		Діючі чисті приміщення		
	0,5	5,0	0,5	5,0	
Клас А	3500	0	3500	0	Менше 1
Клас В	3500	0	350000	2000	10
Клас С	350000	2000	3500000	20000	100
Клас D	3500000	20000	-	-	200

Максимальне накопичення аерозольних частинок у різних зонах приміщення, кількість та розташування вимірювальних точок визначаються відповідно до ISO 14644-2 з урахуванням аналізу ризику. Відповідно до технічної інтерпретації Додатку 1 (PIC / S PI 032-2), для класу А необхідний постійний моніторинг частинок та, опосередковано, для класу В.

Для користування чистими приміщеннями необхідно мати прилади для контролю і фільтрації повітря, а також встановлення критеріїв рівня чистоти приміщення. Обговорюється метод встановлення такого критерію за аналізом статистичних даних та врахування власних суб'єктивних відчуттів, апріорних знань та особистого досвіду експерта.

Інформаційна модель вимог до конструкційних матеріалів, що використовуються в чистих приміщеннях, показана на піраміді (рис. 3.1). Правильний вибір будівельних матеріалів та захисних покриттів для чистої кімнати визначається будівельними стандартами та рекомендаціями. Конкретні фізичні, хімічні та



структурні властивості елементів оболонки чистого приміщення повинні відповідати чотирьом основним критеріям:

- функціональність;
- довговічність;
- можливість чищення;
- відновлюваність.

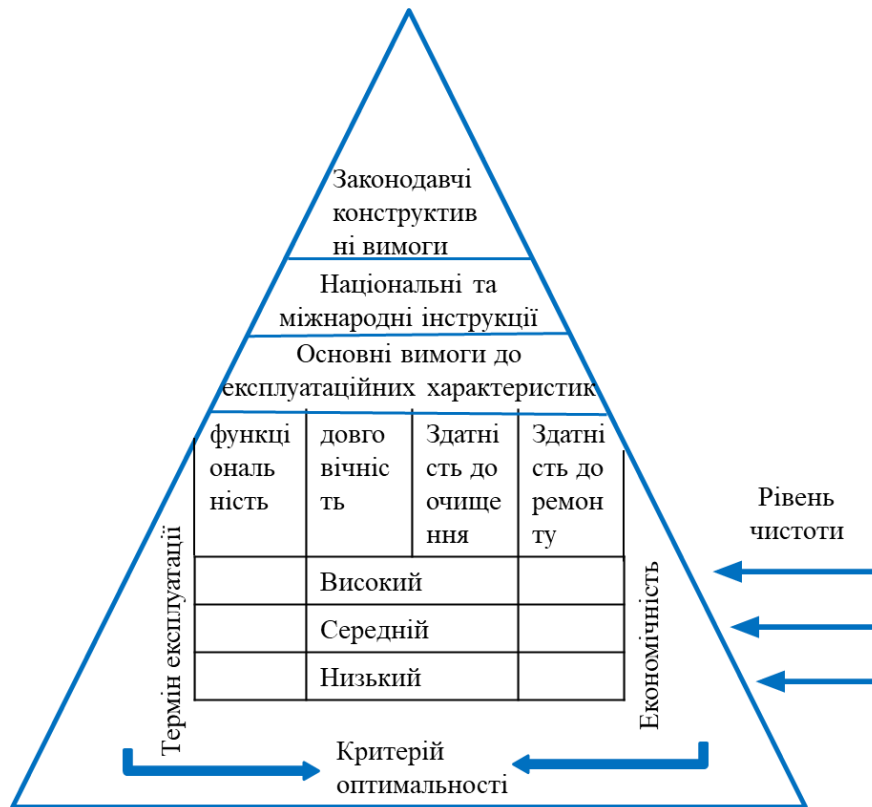
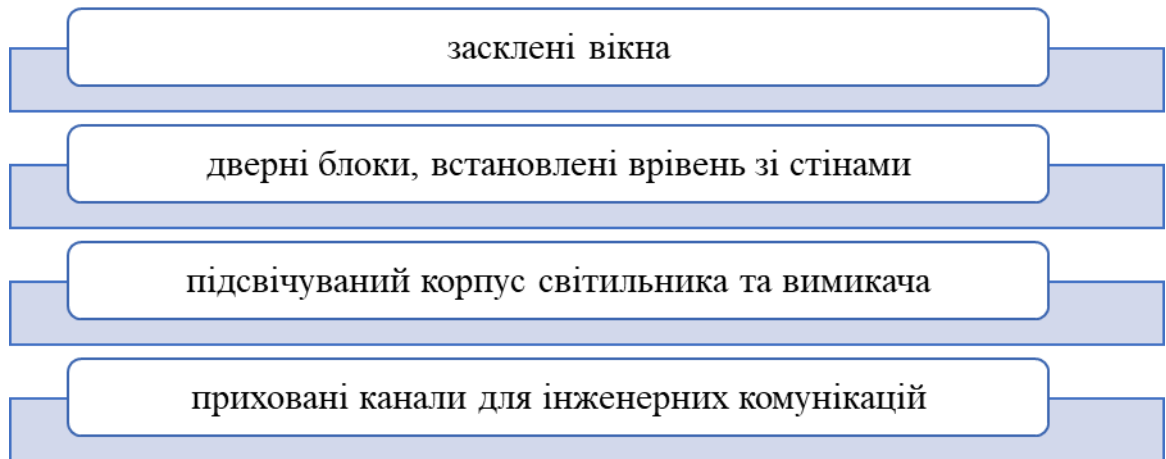
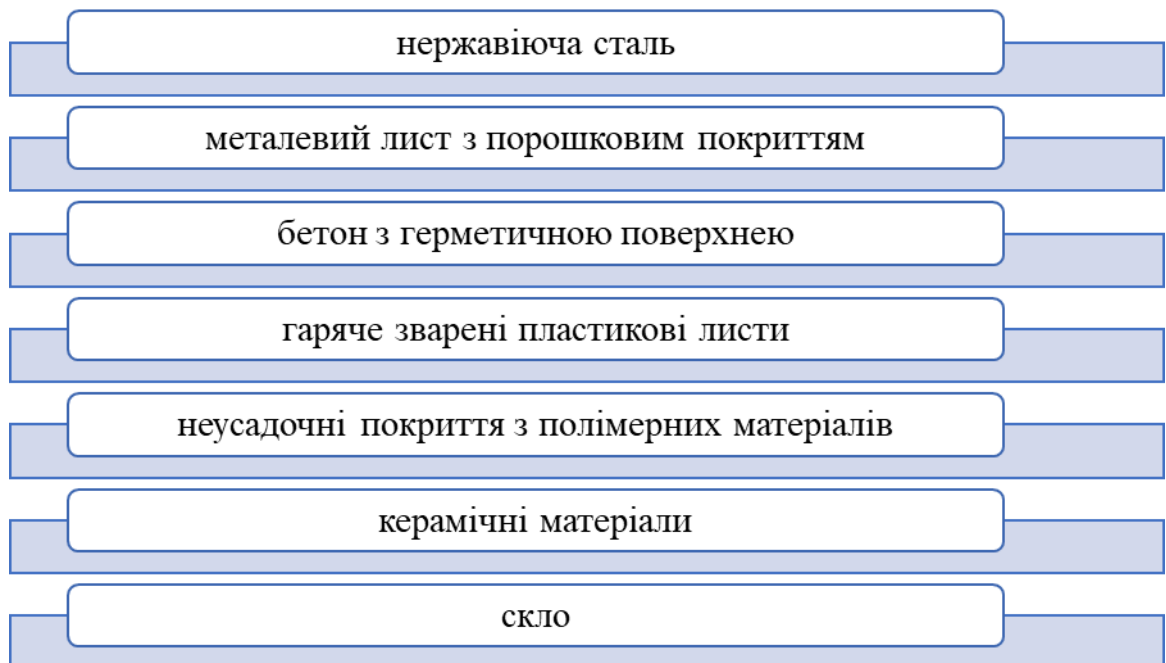


Рис. 3.1. Ієрархія вимог до конструкційних матеріалів, що використовуються в чистих приміщеннях

Потрібні додаткові захисні заходи для очищення повітря та зменшення концентрації забруднень спеціальним обладнанням [165]. Щоб уникнути накопичення забруднень та забезпечити легкість очищення поверхонь, наявність мінімальних горизонтальних поверхонь та кутів у чистому приміщенні. Таким чином, при проектуванні чистих приміщень використовується:



Матеріали, які не утворюють частинок і тому широко використовуються в будівництві чистих приміщень, включають:



Існує два основних типи руху повітря в приміщенні: ламінарний і турбулентний потоки. Стає можливим забезпечити високі значення повітрообміну на низькій швидкості - не більше 0,3 м/с по всій зоні, коли повітря подається ламінарними потоками.

Рекомендований повітрообмін для приміщень із середнім рівнем чистоти становить від 30 до 60 обм/год, тоді як для помірного рівня повітрообмін може бути зменшений до 20 обм/год. Дизайнер вибирає швидкість обміну повітря, виходячи зі свого досвіду та розуміння викидів пилу в процесі виробництва. Останнім часом

спостерігається тенденція до прийняття нижчих значень обміну повітря; провідні проектно-будівельні фірми та розсудливі клієнти мають успішний досвід роботи з цими параметрами.

Одним з ефективних методів в даний час є системи фільтрації частинок з роздільною здатністю за розміром їх діаметрів. Фільтр є найважливішим компонентом кліматичної системи для «чистих» приміщень, оскільки остаточно встановлює необхідний ступінь чистоти приміщення. Популярною системою очищення є встановлення трьох груп фільтруючих елементів після нагнітаючого вентилятору:

- фільтри грубого очищення від механічних домішок;
- елементи тонкої фільтрації та антибактеріальні фільтри;
- HEPA мікрофільтри з абсолютним очищенням приточного повітря.

Авторами [166] продемонстрована система генерації аерозолю, яка імітує характерний аерозоль, пов'язаний з дорожнім рухом. Виявлено, що волокнистий фільтр (F7) був ефективний при малих розмірах частинок, що представляють режим зародкоутворення аерозолю, пов'язаного з дорожнім рухом, але його ефективність знижувалася до 60% зі збільшенням розміру часток. Навпаки, ефективність фільтрації електростатичного осадителя (ESP) збільшувалася в залежності від розміру часток, будучи більш ефективною для режиму сажі аерозолю, пов'язаного з дорожнім рухом, ніж для режиму зародкоутворення. Електретний фільтр із зарядним пристроєм був відносно ефективним (ефективність фільтрації > 85%) при всіх спостережуваних розмірах частинок. Було виявлено, що фільтри HEPA, F7 і Електрети практично видаляють частинки / нанокластери розміром менше 3 нм. В цілому ефективність фільтрації сильно залежала від розміру часток, і між різними фільтрами були виявлені значні відмінності.

Розроблені високоефективні технології фільтрації повітря [167÷169], які стають приймачами традиційних фільтрів класичного дизайну. Більшість аналізаторів повітря - це оптичні лічильники частинок. Реєстрація частинок у них відбувається внаслідок перекриття світлового потоку від діодного лазера при проходженні зразка через вимірювальну комірку. Одночасно підраховується кількість частинок у кількох

каналах; кожному з них відповідає певний розмір частинок. Мікрочастинки, отримані від машини з фільтром HEPA в цифровому мікроскопі зі збільшенням у 1600 разів у вигляді мотка нитки, показані на рис.3.2а. Оптичний мікроскоп високої роздільної здатності здатний дослідити структуру пилу та мікроорганізмів розміром 1-20 мкм (рис. 3.2б). Метод опису структури лазерного поля та модель надання послуг із використання оптичної лабораторії для візуально-оптичного контролю є важливими етапами розвитку системи оптичного контролю повітря [170]. Переміщення мікрочастинок та підрахунок їх кількості в зоні спостереження для обробки відеофайлів програмним додатком описано в [171]. Метод оптичного стиснення зображень збільшує швидкість обробки даних зображень та системи управління базами даних.

Ґрунтуючись на літературних даних, ми пропонуємо візуальний метод підрахунку мікрочастинок за допомогою оптичної установки [170]. Реєстрація частинок у них відбувається внаслідок перекриття світлового потоку від лазера при проходженні зразка крізь вимірювальну комірку, щоб охопити понад дрібнозернисті частки, які переважають в концентраціях частинок в зовнішньому повітрі і небезпечні для здоров'я населення. Відповідно до рис. 3.2 практичні проблеми створення чистого приміщення супроводжуються вирішенням проблеми оптимізації за трьома критеріями: термін служби - ефективність - рівень чистоти. Методи підтримки прийняття рішень розроблені для використання в прикладних системах та встановлення їх відповідності вимогам [172]. Розробка інструментів для оцінки рішення щодо рівня чистоти пропонується виконувати нечіткою логікою. Це дозволяє правильно трансформувати числові значення у лінгвістичні змінні: низьке, середнє, високе.

Система підтримки прийняття рішень дозволяє визначити критерії оптимальних параметрів споруди з урахуванням рівня її чистоти, терміну служби та рентабельності і розробка такої системи є нагальним завданням для контролю повітря в чистому приміщенні.

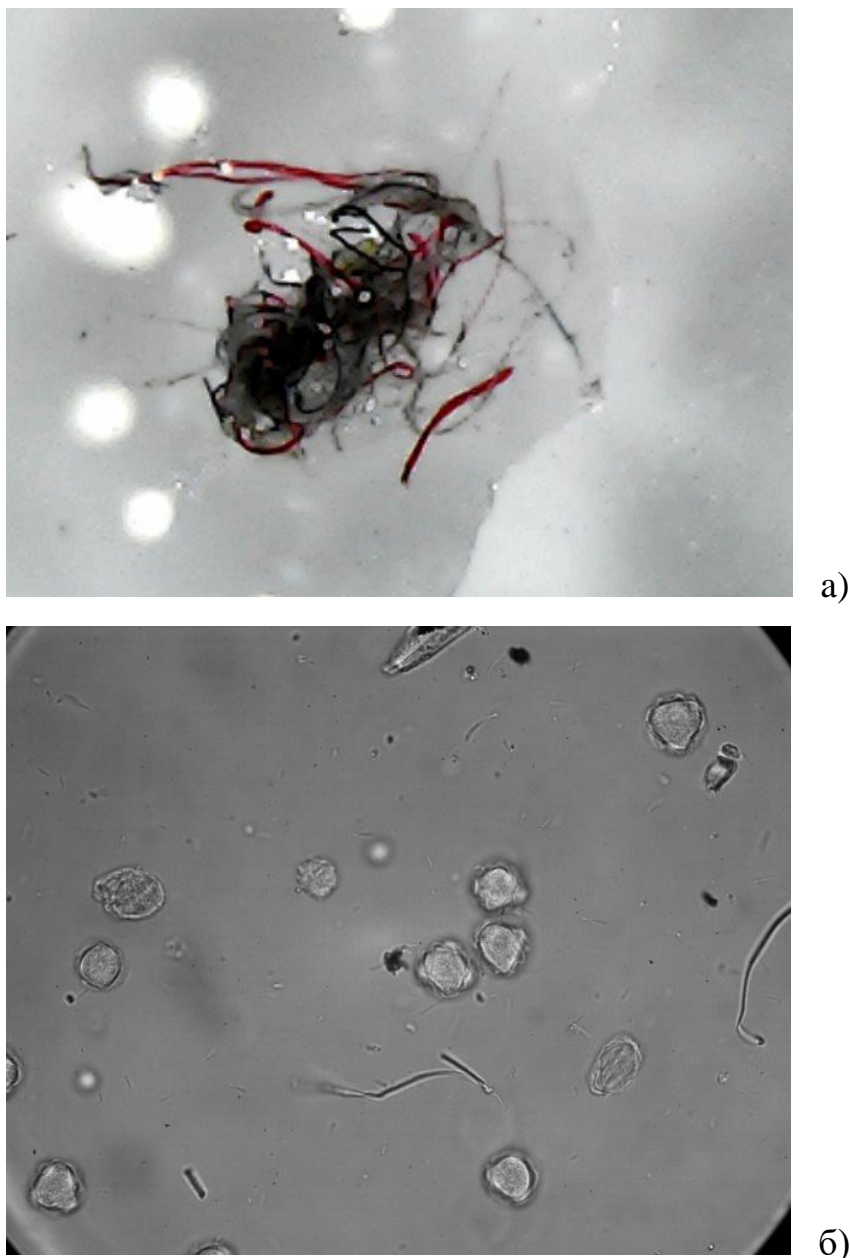


Рис. 3.2. Вигляд мікрочастинок, отриманих від машини з високоефективним повітряним фільтром HEPA в цифровому мікроскопі зі збільшенням в 1600 (а), в оптичному мікроскопі з розмірами предметів близько 1-20 мкм (б).

Моніторинг чистоти приміщень зазвичай відбувається за допомогою лічильників мікрочастинок. Одним з новітніх методів контролю чистоти приміщень є лічильник мікрочастинок заснований на створенні відповідної трьохвимірної конфігурації лазерного поля, що дозволяє керувати мікрооб'єктами за такими правилами. Мікрочастинок та нанокластери, що поглинають світло можна направити

вздовж ліній мінімальної інтенсивності (темних областей) а ті, що відбивають світло вздовж ліній максимальної інтенсивності (світлих областей).

Для визначення рівня чистоти ми будемо використовувати нечітку логіку, тоді поняття "Рівень чистоти" стане лінгвістичною змінною [173]. Базовий набір термінів складається з трьох нечітких змінних: "Високий", "Середній", "Низький", а область міркувань має вигляд  $X = [N_{\min}; N_{\max}]$ , де  $N_{\min}$  - порогове значення для цього класу, а  $N_{\max}$  - максимально допустима кількість мікрочастинок.

**3.2.2 Метод підрахунку мікрочастинок за допомогою Лагер-Гаусового пучка.** Сингулярна оптика - швидко розвивається розділ сучасної фізичної оптики, що має справу з широким класом ефектів, пов'язаних з особливостями хвильових полів [178, 175]. Оптичний вихор (OV), також відомий як оптична фазова сингулярність, являє собою точковий фазовий дефект, при якому фаза не визначена, а амплітуда дорівнює нулю. При обході близько такої точки фаза збільшується на  $2\pi m$ , де ціле число  $m$  називається топологічним зарядом OV. У міру поширення сингулярного променя точка з нульовою амплітудою малює криву («нитка OV»); в разі кількох OV все такі криві утворюють особливий каркас (CC) в тривимірному просторі. В околиці OV хвильовий фронт має спіралевидну форму, і на додаток до звичайного подовжньому переносу енергії існує циркуляційна складова потоку енергії. Також відомо, що особливі пучки мають орбітальним кутовим моментом. Особливі властивості сингулярних променів дозволяють знайти безліч цінних додатків в таких областях, як маніпуляції з мікрочастинками, астрофізика, інформаційні технології і обробка, формування променя і поляризації, мікроскопія та оптичні випробування [176].

Сингулярна структура пучка OV з одиничним топологічним зарядом дуже стійка до збурень інтенсивності і фази. Навпаки, OV з топологічним зарядом вищого порядку  $m > 1$  за своєю природою нестабільні і розщеплюються на набір однозарядних вторинних вихорів після найменшої зміни симетрії пучка [177]. Набір цих вторинних OV утворює CC пучки. Нещодавно було проведено дослідження особливостей еволюції ПС в діфрагированих OV -пучках вищих порядків [178, 179]. Було виявлено,

що траєкторії вторинних OV в цілому мають спіралівидну форму, але містять особливості у вигляді самоперетинів, розривів («стрибків») і областей «зворотного» обертання з просторовим масштабом  $\sim 12-36$  мкм в просторі. У слабо возмущеном дифрагованим Лагер-Гаусова пучку були надійно виявлені невеликі зсуви OV, які становлять близько 10% від радіуса поточного пучка [178]. Розташування окремих OV в поперечному перерізі діфрагованого пучка виявляється дуже чутливим до початкових характеристик OV і умов дифракції.

Такі пучки з розвиненою і керованою СС можуть використовуватися як базовий прилад для різних додатків, наприклад:

- структурна діагностика складних оптичних полів з використанням сингулярної оптики [180] і рішення фазової завдання в оптиці (реконструкція хвильового фронту) для добре розвинених спекл-полів по вимірним розподілів інтенсивності з використанням OV [181];
- додаткові можливості маніпулювання мікрочастинками в повітрі [141÷144] по траєкторіях OV в поширюється сингулярному пучку;
- розробка високорозрешаючих і точних метрологічних підходів, заснованих на виявленні і вимірюванні фазових сингулярностей, особливо нових і перспективних методів метрології OV [182] і сингулярності [183].

Вбудовування фазових сингулярностей або оптичних вихорів (OV) в пучок дає додаткові можливості для створення ефективних оптичних маркерів, які характеризуються ізольованими мінімумами інтенсивності, істотними амплітудними і фазовими градієнтами, а також специфічними малюнками профілів інтенсивності, близьких до OV, які є відносно стабільними і зберігаються при поширенні променю.

Завдяки цим винятковим властивостям, фазові сингулярності є одними з основних інструментів для різних додатків, включаючи маніпуляції з мікрочастинками в повітрі [184,185] або розробку підходів з високою роздільною здатністю і точною метрологією [180, 181, 186÷188]. Останні використовують результати експериментальних і теоретичних досліджень переміщення мікрочастінок та підрахунок їх кількості в зоні спостереження.

Генерація оптичного поля за допомогою оптичних вихорів може здійснюватися різними способами. До добре відомих фазових масок для генерації OV відносяться спіральна фазова пластина [182], перетворювач подвійний фазовий клин (ПФК) [183] і дифракційна решітка з біфуркацією канавок (структура «вилка»). Фазові маски дозволяють генерувати оптичні вихри з будь-яким бажаним топологічним зарядом  $m$ ; якщо  $|m| > 1$ , згенерований багатозарядний OV нестабільний, і  $|m|$  навколо осі пучка утворюються однозарядні OV [189].

В роботі двофазний перетворювач (ПФК) був запропонований в якості відповідного засоби для генерації оптичних вихорів з вихідного невіхревого пучка [190÷194], який демонструє деякі практичні переваги в порівнянні зі спіральними фазовими пластинами і голограмою. Крім того, його можна використовувати як відповідний оптичний елемент для заданої трансформації і діагностики просторової структури світлових променів.

У даній роботі ми аналізуємо можливість застосування двофазний перетворювач для отримання балок із заданою і керованою структурою СС [195,196]. Виняткові перспективи в останніх додатках, пов'язаних з оптичним захопленням і напрямком мікрочастинок на відкритому повітрі [117÷124,148], відкриваються завдяки унікальній, добре розвиненою тривимірній системі ліній нульовий амплітуди. Ми розглянули перетворення кругових Лагер-Гаусова пучків з нульовим радіальним індексом і топологічним зарядом  $m = 2, 3, 4$  після проходження через перетворювач ПФК [149]. Зокрема, спостерігалася реакція зміни знаку осьового OV. Цікаві відмінності виявляються в поперечних проєкціях тривимірної СС у вигляді лінійних, гіперболічних і Х-образних структур.

Розглянуто лінійно поляризований параксіальний світловий пучок, що поширюється уздовж осі  $z$ . Напруженість електричного поля в цьому пучку дорівнює

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \vec{e}A(x, y, z) \exp(i(\omega t - kz)) \quad (3.1)$$

де  $\vec{e}$  - одиничний вектор поляризації,  $\omega$  - частота світла і  $k$  - хвильове число.

Основні характеристики хвилі можна описати повільно змінюється комплексної амплітудою  $A(x, y, z)$  (в масштабі довжини хвилі)  $\lambda = 2\pi/k$ , яку можна



записати у вигляді  $A(x, y, z) = U_0(x, y, z) \exp[i\Phi(x, y, z)]$ , де  $U_0$ - амплітуда і  $\Phi$ - фаза хвилі.

Всі розрахунки виконані для випромінювання He-Ne-лазера з довжиною хвилі  $\lambda = 0,6328 \text{ m}$  ( $k = 9,93106 \text{ m}^{-1}$ ) і перетяжкою пучка  $r_0 = 0,415 \text{ mm}$  (відповідний діапазон Релея  $z_R = 0,855 \text{ m}$ ). Ми розглядаємо циркулярно-симетричне рішення  $A$  скалярного хвильового рівняння в параксіальній наближенні як моду LG [109] з нульовим радіальним індексом. В циліндричних координатах

$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $\varphi = \arctan(y/x)$  він набуває вигляду:

$$A \equiv LG_0^m(\rho, \varphi, z) = \frac{1}{\sqrt{1+z^2}} \left( \frac{\rho}{\sqrt{1+z^2}} \right)^{|m|} \exp\left(-\frac{\rho^2}{1+z^2}\right) \times \exp\left[i\left(\frac{\rho^2 z}{1+z^2} + m\varphi - (|m|+1) \arctan z\right)\right], \quad (3.2)$$

де  $m$  - азимутальний індекс збігається з топологічним зарядом особливого пучка.

Для зручності все поперечні координати вимірюються в одиницях  $r_0$ ,

де  $r_0$  - радіус перетяжки пучка в точці, а поздовжня координата вимірюється в одиницях діапазону Релея  $z_R = kr_0^2 / 2$ .

В роботі використовується спрощене аналітичне рішення для амплітуди діфрагмованого пучка, сформованого після проходження Гаусовим пучком двофазного перетворювача, можна записати як:

$$E(x, y, z) = \frac{\exp(ikz)}{a(z) \cdot z} \cdot \exp\left(\frac{ik(x^2 + y^2)}{2z} - \frac{k^2(x^2 + y^2)}{4z^2 \cdot a(z)} - \frac{K^2}{4a(z)}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{kKx}{2a(z) \cdot z}\right) \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{iky}{2z\sqrt{a(z)}}\right)\right) - \exp\left(\frac{kKx}{2a(z) \cdot z}\right) \cdot \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{iky}{2z\sqrt{a(z)}}\right)\right) \right] \quad (3.3)$$

де  $a(z) = \left(w(z_0)^{-2} - \frac{1}{2}ik \cdot (R(z_0)^{-1} + z^{-1})\right)$ ,  $z$  - відстань між маскою і площиною спостереження,  $\operatorname{erf}(\dots)$  - функція помилок [193].

Внутрішня структура ядер OV характеризується еліптичністю  $\gamma$  і кутом нахилу  $\varphi$  (рис. 3.3) і ці дані несуть багато цінної інформації про перетворення OV-серцевини під час поширення променю.

Еліптичність дорівнює відношенню малої осі еліпса до великої. Використовуючи рівняння. Використовуючи рівняння (3.4), ми отримали аналітичну формулу еліптичності центрального ядра OV:

$$\gamma(z) = \sqrt{(B-C)/(B+C)} \quad (3.4)$$

$$\text{де } B = K^2 b_1 + \frac{4}{\pi c_1}, \quad C = \sqrt{K^2 b_1^2 \cdot \left(K^2 - \frac{8}{\pi}\right) + \frac{16}{\pi^2 c_1^2}}, \quad a_1 = \frac{k}{2} \cdot (R(z_0)^{-1} + z^{-1}), \quad b_1 = \frac{1}{w(z_0)^2} \text{ и}$$

$c_1 = \frac{1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}$ . Аналогічним чином аналітичний вираз для кута нахилу центрального

OV може бути отримано у вигляді:

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arccot} \left[ \frac{1}{2\sqrt{2\pi b_1 K c_1}} \cdot \frac{4 - \pi K b_1 c_1}{a_1 \cdot \sqrt{c_1 + c_1^2 b_1} - b_1 \cdot \sqrt{c_1 - c_1^2 b_1}} \right] + \frac{\pi}{2} \quad (3.5)$$

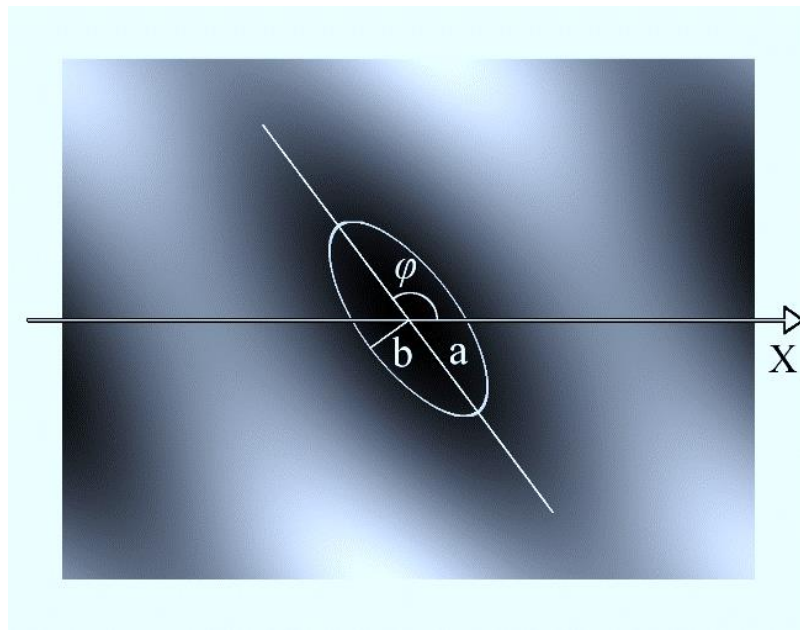


Рис. 3.3. Параметри структури ядра OV в поперечному перерізі пучка (площину XY) на тлі картини інтенсивності. Контур рівної інтенсивності є еліпс з центром в нульовій позиції амплітуди. Позначено піввісь  $a$  великого еліпса, мала піввісь  $b$  і кут  $\varphi$  між позитивним напрямом осі X і велика піввісь.

Отримані результати представлені в послідовному порядку відповідно до класифікації зовнішніх і внутрішніх особливостей сингулярної балочної конструкції. Зовнішні особливості сингулярного каркаса виражаються траєкторіями OV для

всього діапазону відстаней поширення  $z$ , представлений загальний тривимірний вигляд теоретичних траєкторій оптичних вихорів з експериментальними точками (рис. 3.4).

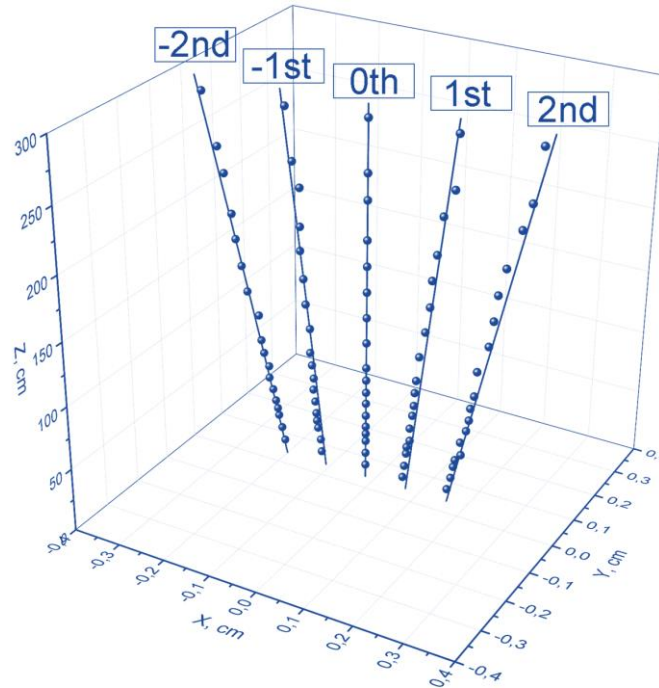
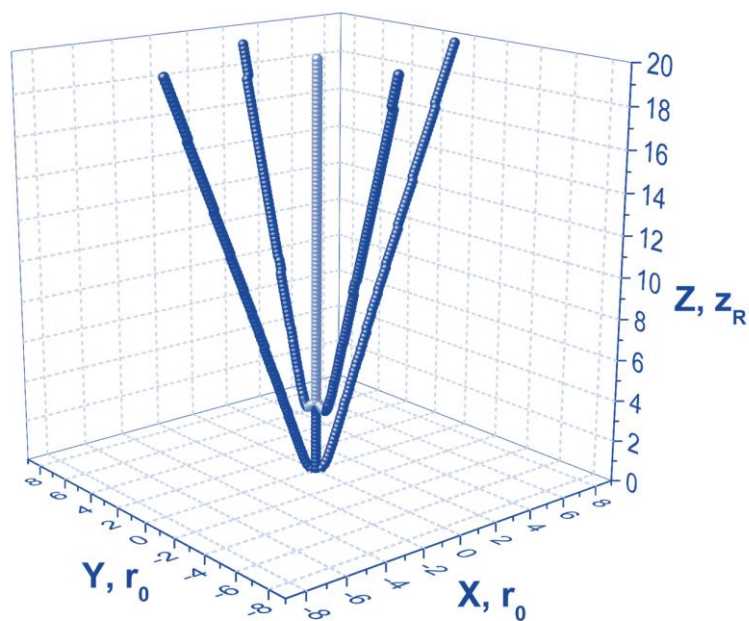


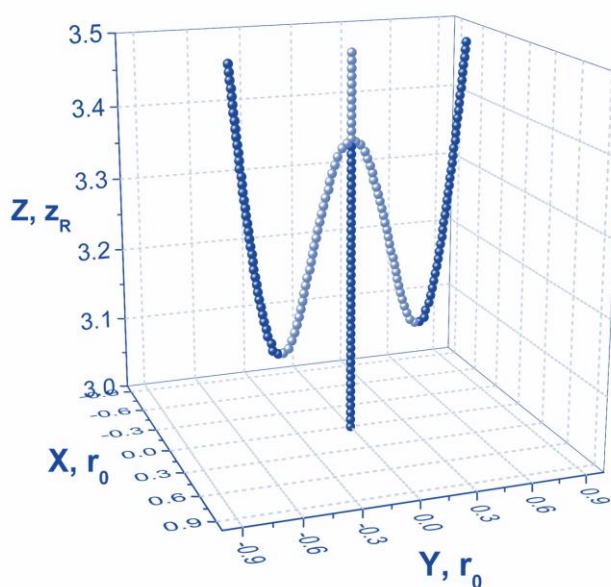
Рис.3.4 Зовнішні особливості сингулярного каркаса в поширюється поле, утвореному вхідним Гаусовим пучком, перетвореним перетворювачем ПФК при градієнті фази  $K = 10$  топологічний заряд  $OV$  дорівнює  $+1$ .

Слід звернути увагу, що весь каркас демонструє центральну симетрію щодо осі  $Z$ , що є спільною віссю падаючого променя і коректора ПФК. Еліптичність і кут нахилу (орієнтація великої осі еліпса щодо осі  $x$ , паралельної краю ПФК) залежать від відстані поширення і не скрізь демонструють певне лінійне поведінку. Еліпси однакової інтенсивності обертаються за годинниковою стрілкою, тобто проти циркуляції енергії.

Таким чином, досліджували характеристики ланцюжка «в цілому» (взаємне розташування  $OV$  і їх траєкторії в поширюється пучку), які розглядаються як «зовнішні особливості» особливого каркаса (СС), а також особливості морфології окремих  $OV$ , оскільки вони розвиваються в процесі поширення вихідного променя.



а)



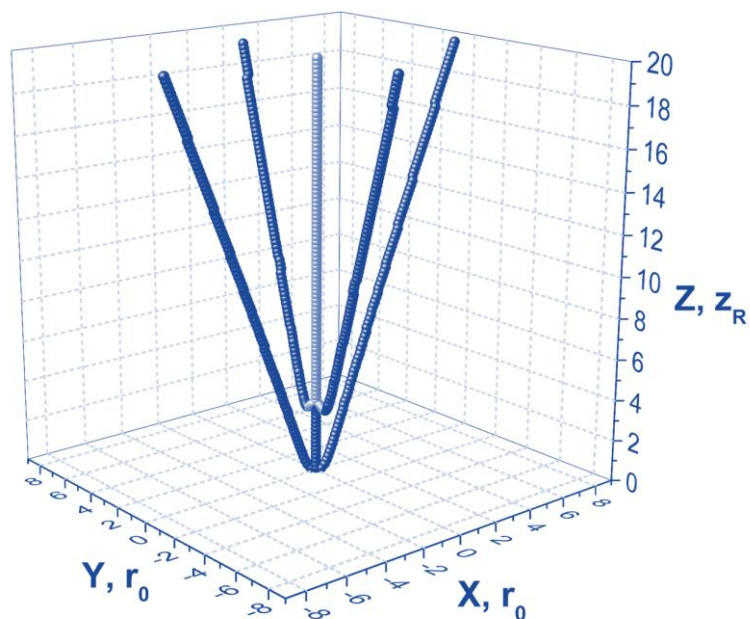
б)

Рис. 3.5 Сингулярний каркас поля, отриманий за допомогою пучка, перетвореного знижувальним перетворювачем ПФК з фазовим градієнтом:

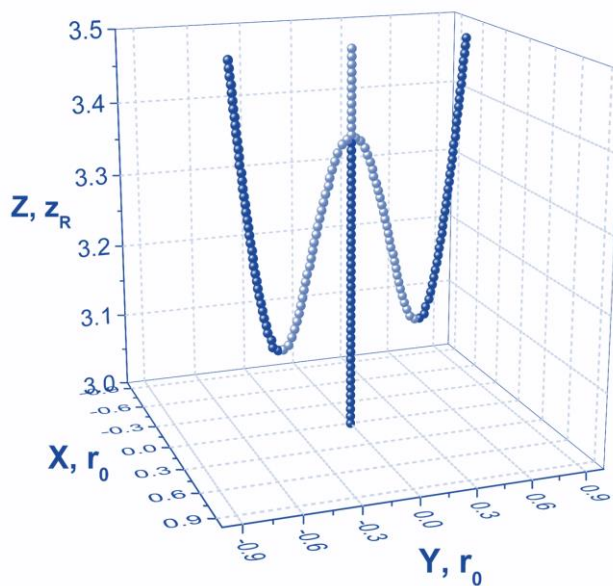
а)  $K = 0,6$  і (в)  $K = 2,9$ ; чорні (сірі) лінії - траєкторії OV з топологічним зарядом  $m = +1$  ( $m = -1$ ); б) Мікроструктура СС в області зміни знаку при  $K = 0,6$ .

Останні складають «внутрішні особливості», включаючи морфологічні параметри окремих OV: еліптичність і орієнтацію близьких до ядра еліпсів рівної інтенсивності. Траєкторії OV беруть участь в розширенні дифрагованого пучка через розбіжність і додатково виконують свого роду азимутального відхилення зі

збереженням центральної симетрії щодо осі поширення. Ці азимутальні відхилення відповідають загальній циркуляції поперечної енергії у вихідному пучку.



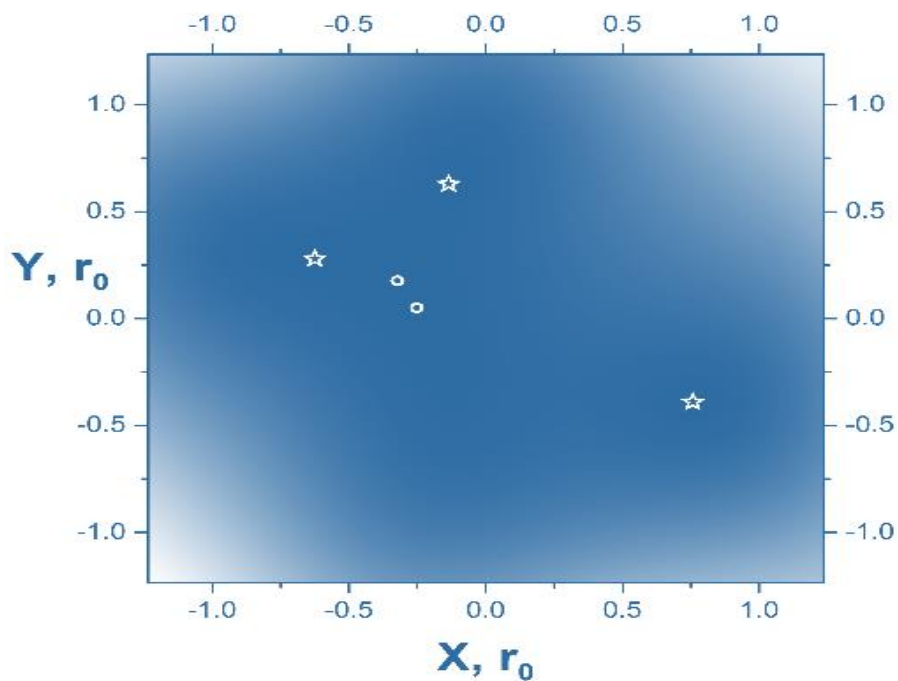
а)



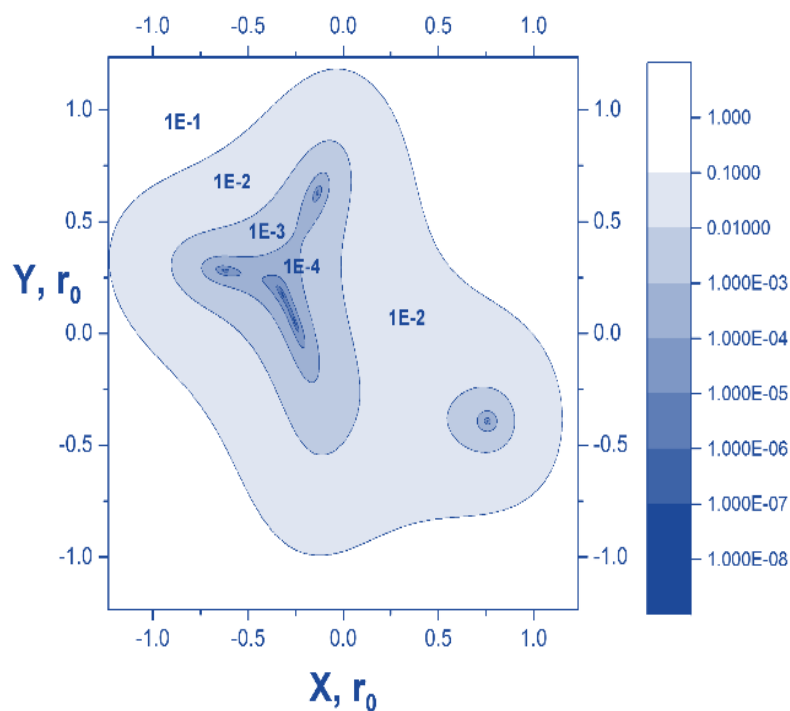
б)

Рис. 3.5 Сингулярний каркас поля, отриманий за допомогою пучка, перетвореного знижувальним перетворювачем ПФК з фазовим градієнтом:

а)  $K = 0,6$  і (в)  $K = 2,9$ ; чорні (сірі) лінії - траєкторії  $OV$  з топологічним зарядом  $m = +1$  ( $m = -1$ ); б) Мікроструктура  $CC$  в області зміни знаку при  $K = 0,6$ .



а)



б)

Рис. 3.6. Розподілу інтенсивності (а) і (б), отримані з використанням падаючого променя і понижуючого перетворювача ПФК (3) з фазовим градієнтом  $K = 0,6$  на відстані  $z = 1$  Три «очевидних» (основних) OV відзначені зірочками, додаткові («неочевидні») OV відзначені кружальцями в (а).

Вичерпну інформацію про траєкторії OV для всього діапазону  $z$  можна отримати з рис. 3.5, де описані діаграми СС, які реалізовані для випадку, коли

кругової промінь падає на понижуючий перетворювач ПФК з вирівняними осями. У цьому випадку очікується три ОV в пучку, але насправді спостерігається різна кількість ОV в залежності від відстані  $z$  і градієнта фази  $K$  [196].

Картина інтенсивності, яка спостерігається в поперечній площині для випадку  $K = 0,6$ , представлена на рис. 3.6а. Три основних очікуваних ОВ, зазначених зірками, мають однаковий топологічний заряд  $m = +1$ . Додатковий «своєрідний» диполь ОV показаний кружками. З огляду на можливих застосувань перетвореного пучка СС важливо знати розподілу інтенсивності в областях, близьких до ОV. Як ми бачимо, ОV в областях зі слабкою інтенсивністю важко розрізнити, тому контури рівної інтенсивності (рис. 3.6б) дають більш цінну інформацію про відносну інтенсивності в поле навколо ОV. У правому нижньому квадранті є ОV, який добре відділений від всіх інших ОV ділянками з досить високою інтенсивністю. Два інших основних вихору розділені «гребнями» меншої інтенсивності між ними, які, проте, в 100 разів вище, ніж інтенсивність між «додатковими» ОВ, зазначеними кружками на рис. 3.6а.

Різниця в значеннях інтенсивності між ОV вказує на різні можливості напряду частинок за відповідними ниткам ОV.

Таким чином, досліджені особливості безлічі фазових сингулярностей - сингулярного каркаса (СС), що утворюється в Лагер-Гаусова пучку після проходження через понижуючий перетворювач ПФК з градієнтом фази  $K = [0,1; 3.0]$ . Основні очікувані додатки пов'язані з точним маніпулюванням мікрочастинками, захопленими в областях з низькою інтенсивністю, тобто «прикріпленими» до траєкторіях ОV. Особливі візерунки скелета, що представлені, демонструють виняткові можливості статичного управління, тобто здатність фіксувати захоплену мікрочастинок в стійкому положенні в заданій точці «тіла» тривимірного променя, а також для спрямованого руху часток уздовж, тобто здатність фіксувати захоплену мікрочастинок в стійкому положенні в заданій точці «тіла» тривимірного променя, а також для спрямованого руху часток по траєкторіях ОV. Такі можливості будуть корисні в хімічних, біомедичних і електронних мікро- і нанотехнології



### Висновки до розділу 3

У третьому розділі проведено аналіз моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері, розроблено теоретичні підходи у дослідженні забруднень та контролю повітря, визначені методологічні аспекти цих процесів.

1. Ґрунтуючись на проведеному аналізі, можна відзначити, що методи та моделі аналізу стану навколишнього середовища багатогранні та багатоаспектні тому побудова єдиної класифікації атмосферних моделей є складним завданням.

2. З метою отримання достовірної інформації про стан атмосферного повітря примігстральних територій міста використовуються різні методи аналізу та моделювання стану довкілля:

– модель Лагранжа обчислює дисперсію забруднення повітря шляхом розрахунку безперервної траєкторії шлейфу. Вона рекомендується для оцінки розсіювання та осадження забруднюючих речовин навколо області нестационарного повітряного потоку. У роботі цей метод використовується для розрахунку профілів розсіювання озону на примігстральних територіях як від точкового джерела. Для визначення рівня чистоти повітря ми будемо використовувати нечітку логіку, тоді поняття "Рівень чистоти" стане лінгвістичною змінною.

– Гаусова модель дозволяє розраховувати концентрації забруднюючих речовин в області моделювання по прямій лінії між джерелом та точкою розрахунку для кожної години та отримати модель забруднення викидами примігстральних територій міста, сучасний метод оптичного контролю концентрації мікрочастинок пилу, домішок та мікроорганізмів у повітрі. За допомогою Лагер-Гауса пучка та подвійного фазового клину розроблено візуальний метод підрахунку мікрочастинок у повітрі, що особливо важливо при використанні чистих замкнених просторів.

– Статистичні моделі є корисним інструментом діагностики та передбачення якості повітря через інтерполяцію та екстраполяцію вимірних даних. Закономірності, що описуються за допомогою таких моделей, порівняно прості, що пояснює досить широке використання робіт цього напрямку у різних країнах.



– Елементи моделей міських каньйонів плануємо використовувати для прогнозу концентрацій викидів на автомагістралях на коротких часових інтервалах (від кількох годин до доби).

– Механізм реакції  $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$ , може бути не тільки з молекулярним киснем но й озоном. Це може мати місце при застійних погодних умовах, коли значні концентрації полютантів спостерігаються кілька днів. Моделей, що задовільно описують це явище, поки немає.

3. Представлено аналіз вимог до чистих приміщень та їх класифікація. Показані методи побудови чистих приміщень та вимоги до матеріалів, які використовуються при обробці чистих приміщень у якості захисних покриттів.

4. Представлено вигляд мікрочастинок, що утворюються в чистих приміщеннях. Обговорено сучасний метод оптичного контролю концентрації мікрочастинок пилу, домішок та мікроорганізмів у повітрі.

5. Запропоновано новий методів контролю чистоти приміщень за допомогою лічильника мікрочастинок, який заснований на створенні відповідної трьохвимірної конфігурації лазерного поля, що дозволяє керувати мікрооб'єктами.

6. Отримані теоретичні та експериментальні результати використання світлових полів завдяки проходженню Лагер-Гаусового пучка крізь подвійний фазовий клин за для моніторингу та очищення приміщень від мікрочастинок та мікроорганізмів.

7. Обговорені умови за якими формуються необхідні просторові структури інтенсивності світлового пучка, що можна використовувати для керування нанокластерами та мікрочастинками.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 1, 3, 4, 5, 6, 24, 26, 34 (за списком, який наведений в анотації).

## РОЗДІЛ 4.

### АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Як показано вище, серед багатьох забруднювачів, що впливають на людину, основними є викиди автотранспорту, що містять:

- пил, дим, сажу та інші тверді частинки, які зазвичай позначаються як загальна кількість аерозолію (ОКА),
- вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, та є основним компонентом (з трьохатомних газів), що веде до «парникового ефекту», монооксид вуглецю, який виділяється внаслідок неповного згоряння палива;
- оксиди азоту, що реагують з утворенням нітрату і та азотної кислоти у вигляді частинок.

Слід зазначити і фотохімічне забруднення повітря, що з утворенням у результаті фотохімічних реакцій аерозолів з частками субмікрометрових розмірів. червоно-буре забарвлення  $\text{NO}_2$  може спричинити зміну кольору димових викидів та димок у міських районах.

Мета четвертого розділу - за даними супутниковими та стаціонарних постів, за експериментальними та розрахунковими даними провести аналіз забруднення повітряного басейну приміагістральних територій основними токсичними речовинами (оксиди вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту) на прикладі міст Київ, Сєвєродонецьк. На основі проведеного аналізу забруднення повітряного простору приміагістральних територій міста оксидами азоту отримати модель забруднення та провести зонування територій.

#### **4.1 Аналіз забруднення повітряного простору території за даними супутниковими та стаціонарних постів**

У роботі використовувалася модель системи спостережень за Землею Годдарда версії 5 (GEOS-5), що складається з групи компонентів моделі, які можна гнучко

поєднувати для вирішення питань, пов'язаних із різними аспектами наук про Землю та використання космічних даних (Windy map). GEOS - це атмосферна модель, що використовується для вивчення фізики атмосфери як у короткостроковій, погодній, так і в середньо- та довгостроковій перспективі. Порівняння результатів за один день із супутниковим знімком показує, наскільки добре модель працює у короткостроковій перспективі.

**4.1.1 Забруднення територій міст природними та антропогенними викидами оксиду вуглецю.** У міському повітрі оксиду вуглецю міститься у більшій концентрації, ніж будь-який інший забруднювач. Однак, оскільки цей газ не має ні кольору, ні запаху, наші органи чуття не в змозі виявити його. Його не можна побачити; його не можна відчутти запахом; проте він присутній і завдає значної шкоди здоров'ю населення. Оксид вуглецю при вдиханні поєднується з гемоглобіном крові, витісняючи з неї кисень, у результаті настає кисневе голодування, яке, насамперед впливає центральну нервову систему. Висока концентрація оксиду вуглецю навіть при короткочасному впливі може спричинити смерть; невеликі дози викликають запаморочення, головний біль, відчуття втоми та уповільнену реакцію. Оксид вуглецю - один із факторів, що викликає хворобу серця - стенокардію, тобто зменшення перенесення кисню до тканин, що особливо згубно для міокарда (серцевого м'яза). При вдиханні невеликої концентрації (до 1 мг/л) – тяжкість та відчуття здавлювання голови, сильний біль у лобі та скронях, запаморочення, тремтіння, спрага, почастішання пульсу, нудота, блювання, підвищення температури тіла до 38-40°C. Слабкість у ногах свідчить про поширення на спинний мозок [197].

На рівень і динаміку зростання оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міста істотно впливає зміна інтенсивності транспортних потоків, обсягів та складу промислових викидів, а також будівельний фонд, на який припадає 40% споживаної енергії та 36% викидів [198]. Для спалювання одного кілограма вуглеводневого палива до зони горіння подається від 12-14 кг (для газоподібного палива) до 25 кг і більше (для твердого палива) атмосферного повітря.

У той же час відомо, що поряд з антропогенними (штучними) джерелами забруднення повітряного басейну існують і природні (природні), наприклад, виверження вулканів, землетруси, пилові шторми і метеорити, що падають на Землю. В даний час використання геоінформаційних технологій для аналізу тектонічних порушень, глибинних розломів, утримання окремих токсичних елементів, дегазації мантії дає можливість визначати забруднення повітряного басейну з урахуванням більшої кількості факторів, що загалом впливає на якість умов проживання населення.

Парникові гази виробляються природним чином і відіграють важливу роль у виживанні людей та інших живих істот, утримуючи частину сонячного тепла та роблячи нашу планету придатною для життя. Півтора століття індустріалізації, а також суцільна вирубка лісів та застосування певних методів ведення сільського господарства призвели до збільшення викидів парникових газів у повітря. Разом із зростанням чисельності населення та розвитком економіки країн збільшуються обсяги їх викидів. Встановлено закономірності, що виявляються при викидах [199]:

- середня глобальна температура безпосередньо залежить від концентрації парникових газів у атмосфері Землі;
- з початку індустріальної епохи концентрація парникових газів постійно збільшується, і разом із нею зростає середньосвітова температура;
- одним з основних парникових газів в атмосфері Землі є вуглекислий газ – продукт спалювання викопного палива.

Природні викиди можна розділити на гаряче і холодне дихання планети. «Гаряче дихання» — це виверження газів кількома тисячами наземних і підводних вулканів, що регулярно відновлюють свою діяльність. Крім такого "гарячого видихання Землі", існують ще й "фонова", невулканічна, менш помітна, але, можливо, ще більш масштабна форма дегазації планетних надр - "холодне "видихання" Землі [200,201]. більш розподілені і тому менш вивчені Якщо орієнтуватися на склад газів грязьових вулканів і газових струменів, що виходять з дна морів і океанів, де цей процес найбільш помітний і вивчений, можна зробити висновок, що основу холодної дегазації становить метан. Вироблення деяких родовищ у ряді випадків вказують на

значні викиди водню та азоту. Існують ознаки виходу значних кількостей  $\text{CO}_2$ , а також  $\text{CO}$  та інших газів, що має більш високий потенціал глобального потепління, ніж оксиди вуглецю.

Зміни вмісту в атмосфері вуглекислого газу як одного з превалюючих газів у «газовому диханні» планети відбувалися в історії Землі з певною циклічністю, загалом відповідної циклічності ендогенної активності земних надр [202]. У глибинних частинах планети (зовнішнє ядро, нижня мантія) параметри тиску та температури досягають високих значень. Флюїдні утворення, що формуються на межі ядра і мантії, мають колосальну енергію [203]. За таких параметрів флюїд має значну підйомну силу. У процесі його підйому відбувається взаємодія силікатної матриці речовини мантії та відновлених газів –  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ , відновленої сірки, хлору, азоту та ін. Цікавить визначити забруднення територій міст природними та антропогенними викидами оксиду вуглецю.

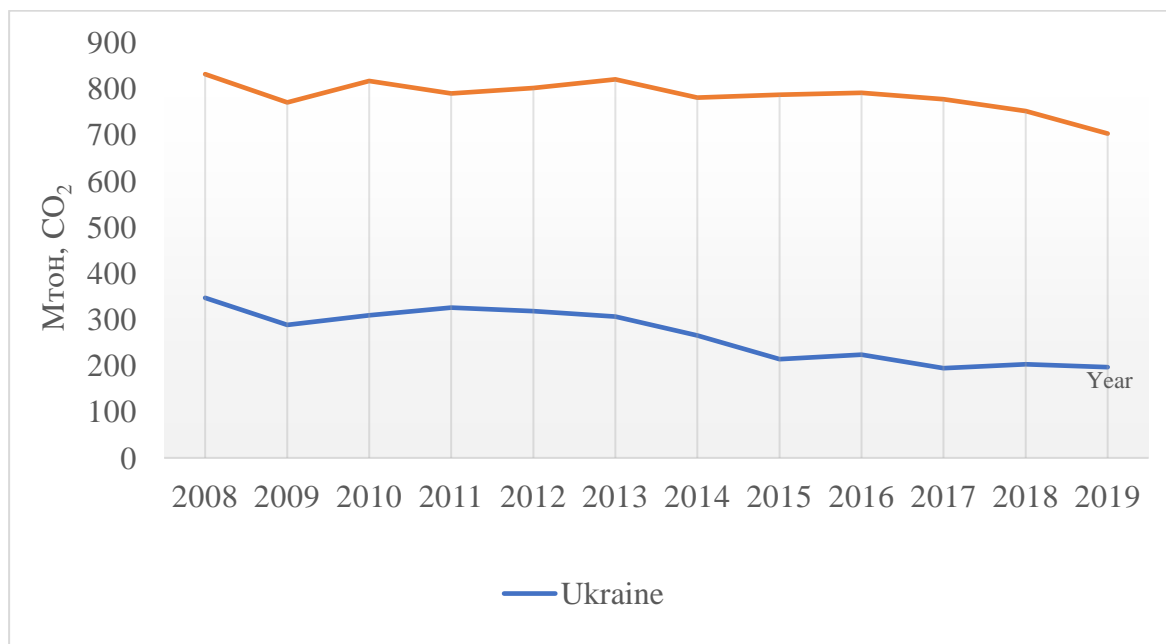


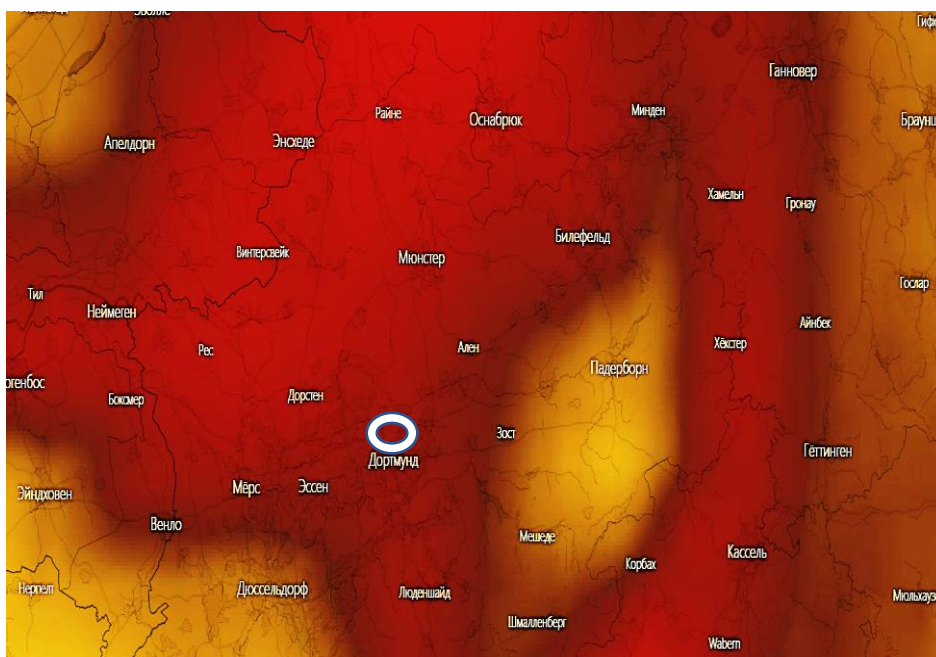
Рис.4.1. Зміна загальної кількості викидів вуглекислого газу в Україні та Німеччині.

В даний час спостерігається тенденція до зниження загальної кількості викидів як в Україні, так і в Німеччині, а також викидів вуглекислого газу та оксиду вуглецю, що виділяються при споживанні твердого, рідкого та газоподібного палива, а також

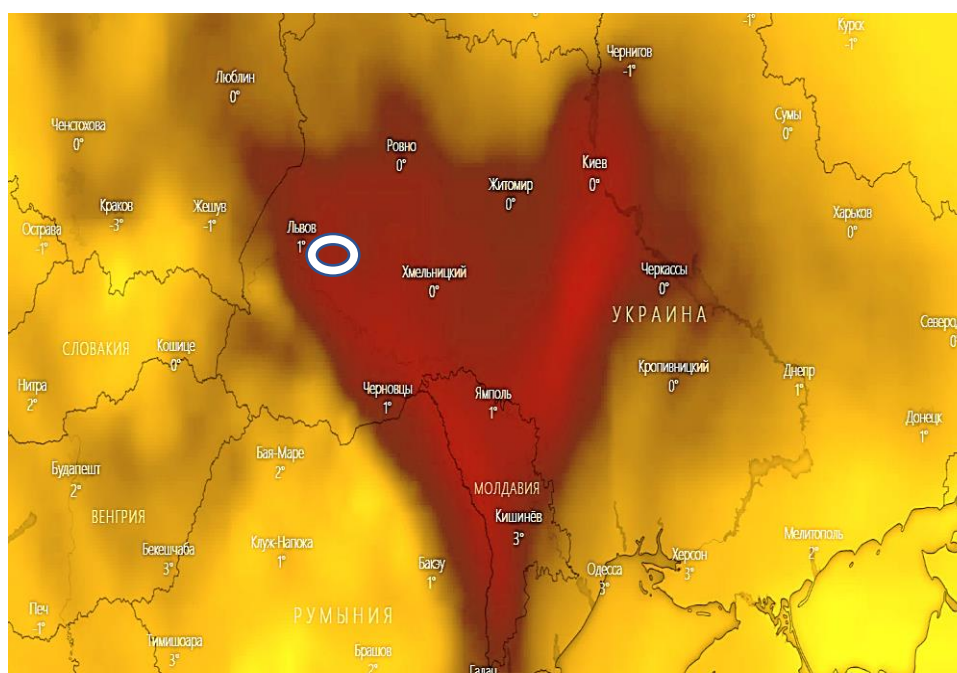
спалювання газу. Різниця викидів в Україні та Німеччині на період 2008 року становила близько 2,5 рази, а у 2019 – 3,5 рази (рис.4.1).

Проведено спостереження щодо викидів вуглекислого газу в чотирьох містах, що знаходяться на широтах  $48^{\circ}$ - $51^{\circ}$ , що мають на своїй території поклади вугілля – Дортмунд (Німеччина), Львів, Сєверодонецьк (Україна) або торфовищ – Київ (Україна). Протягом трьох діб у досліджуваних чотирьох точках велося спостереження повітряного басейну щодо забруднення територій оксидом вуглецю (рис.4.2, 4.3). Зони активного забруднення у кожному разі мали чіткі межі, які поступово зміщувалися із заходу на схід і розмивались. Максимальні концентрації досягалися в ночі з двох до п'яти годин. Процес дегазації розвивався нерівномірно і просторово, і у часі, і з ритмами ендогенної активності Землі. Вуглеводневі прояви територій є глибинною похідною дегазацією та їх ресурсний потенціал постійно відновлюється та досягає колосальних обсягів.

*Геологічні відомості про території.* Вугільні басейни і родовища карбонового часу в західній частині країни Німеччини займають значні площі, що входять до складу Англії, що протягується сюди, через материк європейського поясу карбонового вугленакопичення; вони становлять східну гілку цього пояса, подальшим проявом якого є розташоване у південно-східній частині родовище Доберлуг. Загальні геологічні запаси кам'яного вугілля визначено у кількості 224, 3 млрд. р. У 1957 р. за погодженням між Францією та Німеччиною до складу останньої увійшов Саарський басейн із запасами в 16,5 млрд. г, і в даний час геологічні запаси кам'яного вугілля приблизно становлять 241 млрд. т, тобто майже точно відповідають запасам Донецького басейну [204]. Найбільше значення мають насамперед кам'яне та буре вугілля. Основні родовища кам'яного вугілля знаходяться у західній частині країни (Рурський, Саарський та Ахенський басейни). Ці вугілля високої якості, понад 2/3 — коксівні. Буровугільні басейни є як на сході країни (Лаузитський та Середньонімецький), так і на заході (Нижньорейнський).

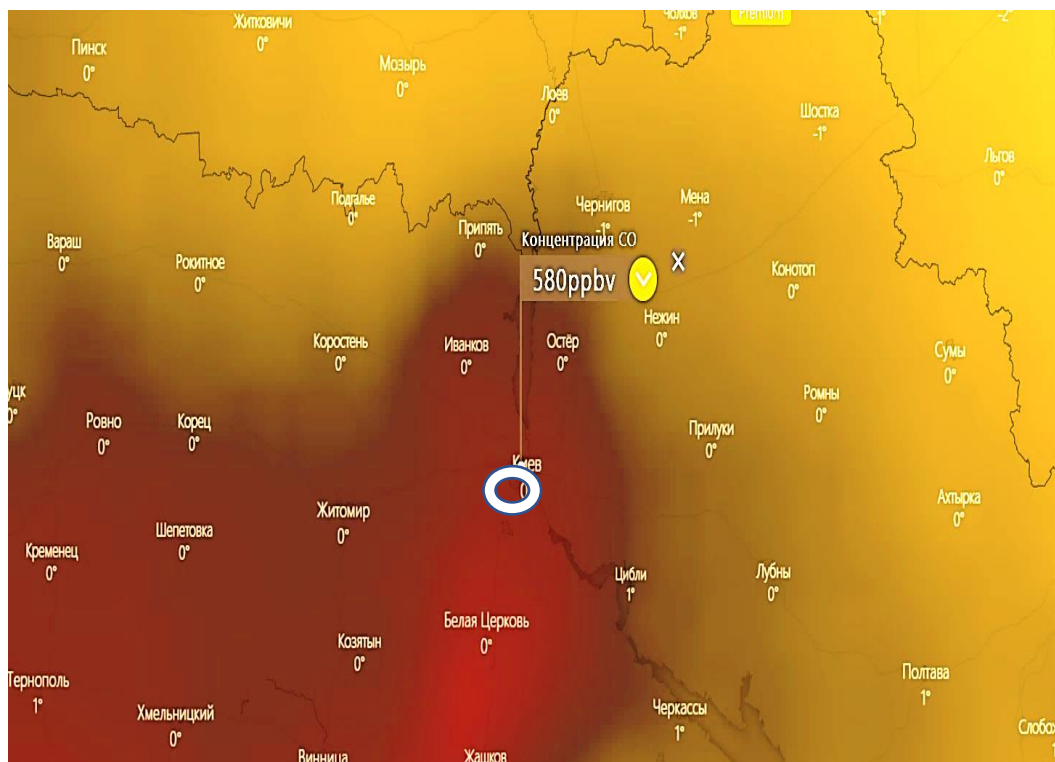


а)

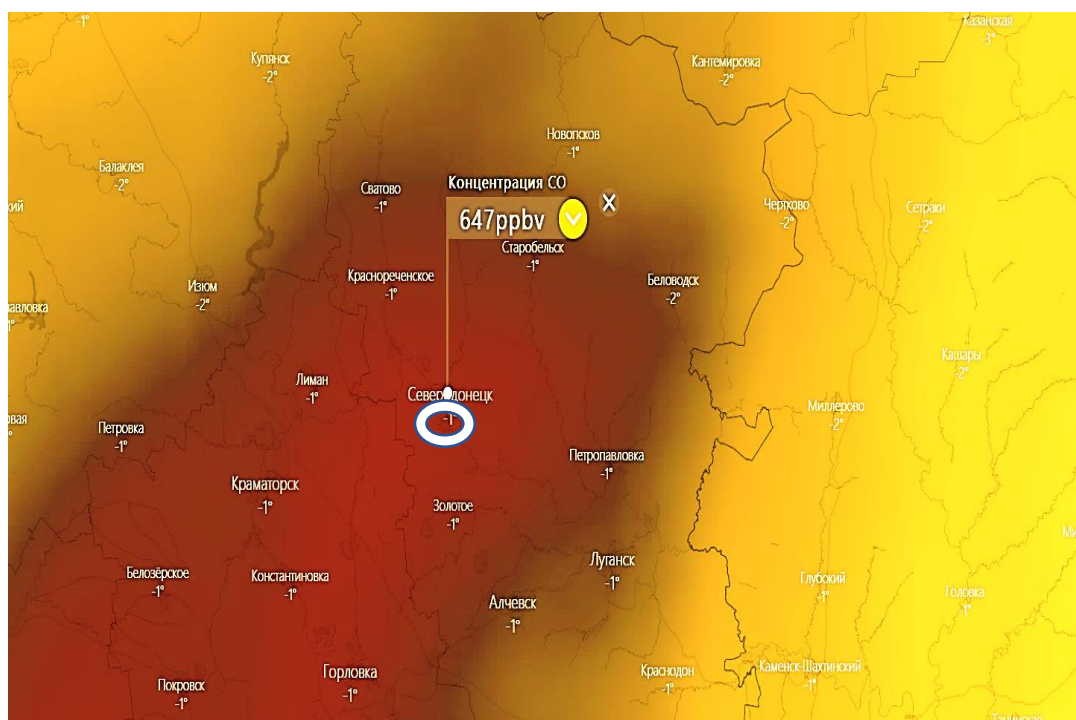


б)

Рис. 4.2. Території забруднення повітряного середовища оксидом вуглецю, час 24-00: а) Дортмунд -12.12.20; б) Львів – 13.12.20.



а)



б)

Рис. 4.3. Території забруднення повітряного середовища оксидом вуглецю, час 24-00: а) Київ – 14.12.20; б) Сєверодонецьк – 15.12.20.



Вугленосні площі України займають близько 210 тис. км<sup>2</sup>, що становить майже третину площі країни. У карбоновий період відбулося закладання вугільних пластів, а у пермському остаточно сформувалися вугільні товщі Донецького та Львівсько-Волинського басейнів. Львівсько-Волинський вугільний басейн, в Україні, у Львівській та Волинській областях, протягується на 125 км з півночі на південь. Ресурси кам'яного вугілля включаючи балансові та позабалансові запаси, а також прогнозні ресурси) близько 3 млрд.т., що становить 2% ресурсів кам'яного вугілля України. В структурному відношенні басейн присвячений південно-східній частині Лодзинсько-Львівського прогину Східно-Європейської платформи. Більшість вугілля видобувається з глибини 326–550 м, загальний річний видобуток 1429,4 тис. т вугілля (2019). Вугілля використовується в основному як високоякісне енергетичне паливо, частково як коксохімічна сировина [205].

Вугленосні площі Донбасу становлять дещо менше 60 тис. км<sup>2</sup>. Тут зосереджено близько 92% геологічних запасів кам'яного вугілля. Перші відомості про поклади кам'яного вугілля в районі річки Сіверський Донець відомі з першої половини XVIII століття. Видобувати вугілля тут почали у 1795 р. на землях села Верхнього (нині територія м. Лисичанськ) було засновано першу на Донбасі кам'яновугільну копальню. До 1802 р. Лисичанські вугільні копальні були єдиними промисловими розробками у всьому Донецькому басейні. З розвитком капіталізму в 70-ті роки XIX століття розпочалася інтенсивна промислова розробка кам'яного вугілля на Донбасі, що наростала швидкими темпами. У 1880 р. було видобуто 1,4 млн. тон, у 1900 р. - до 11 млн. тон, а в 1913 р. - близько 16,9 млн. тон, перед початком Другої світової війни на Донбасі видобувало 83,7 млн. тон вугілля. У родовищах Донбасу переважає енергетичне вугілля (56%), що переважно використовується для виробництва електроенергії та теплопостачання населених пунктів [206].

Добування вугілля в Україні скоротилося порівняно з аналогічним періодом минулого року на 6,8%. У Донецькій області підприємства вугільної промисловості всіх форм власності за місяць видобувають 1,15 млн. тон вугілля, на підприємствах Луганської області – 25,04 тис. тон вугілля. Державні підприємства «Львіввугілля» у середньому за місяць добувають 116,38 тис. тон вугілля, а «Волиньвугілля» -1,28

тис.тон. Вуглевидобувні підприємства України всіх форм власності за 2019р. видобули 28,80 млн. тон вугілля [205, 206].

У Німеччині 21 грудня 2018 року у колишньому шахтарському містечку Ботропі урочисто закрилася остання в країні вугільна шахта Prosper-Haniel. Кам'яні вугілля з-під землі більше не видобувають, зберігся лише добуток бурого вугілля відкритим способом у кар'єрах та розрізах. Боротьба проти потепління клімату, що посилюється, веде до скорочення вугілля і в довгостроковій перспективі до припинення його добутку, особливо дорогого підземного, в Німеччині вже ухвалено закон про відмову від використання бурого та кам'яного вугілля до 2038 року. Таким чином, слід відзначити на всіх територіях, що розглядаються, є шахтні виробки, де накопичується метан, вуглекислий газ, оксид вуглецю та інші гази.

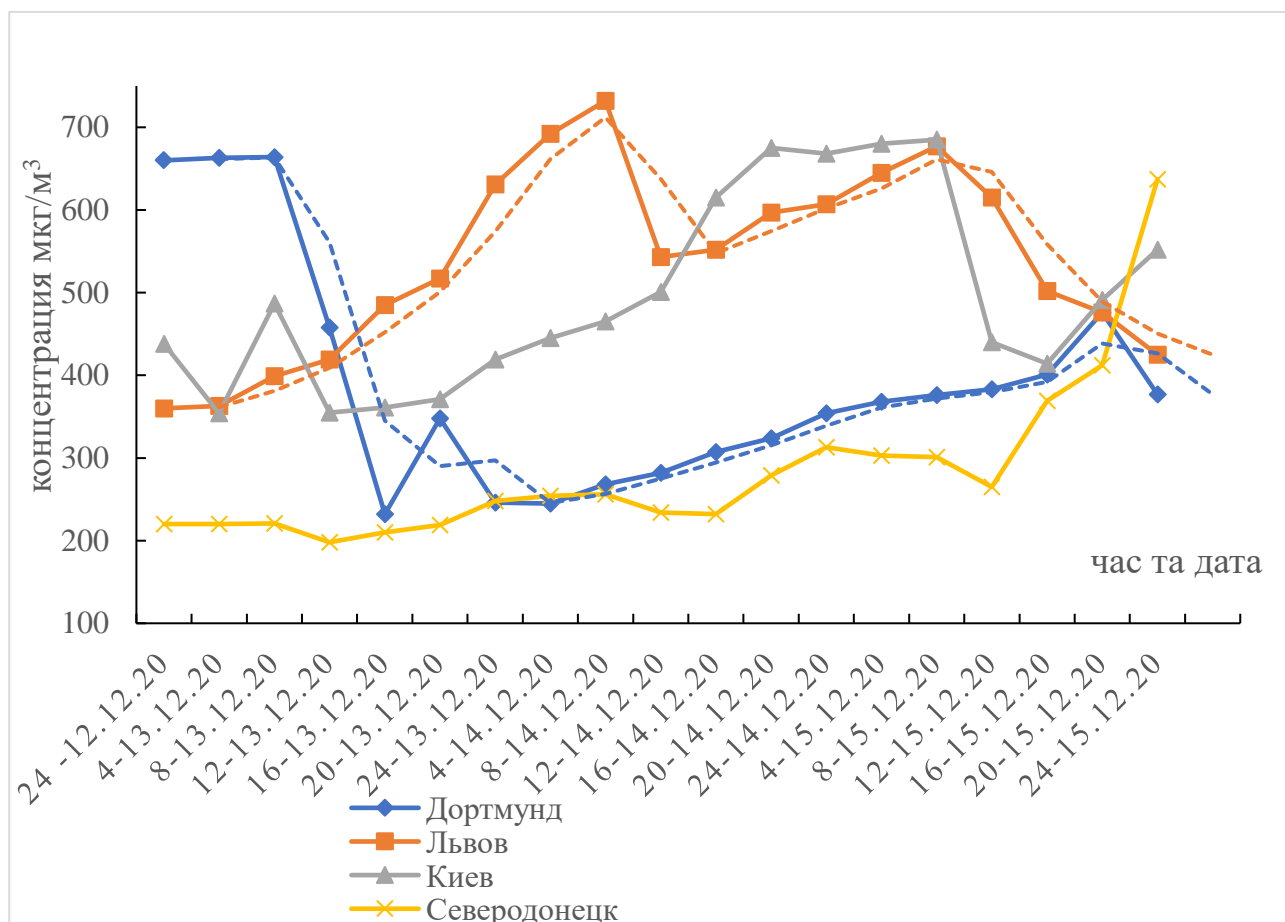


Рис. 4.4. Зміна концентрації оксиду вуглецю у повітрі міст Дортмунду-Львову-Києву-Северодонецьку протягом трьох діб.

Згідно з отриманими результатами, зміна та поширення забруднення повітряного басейну оксидом вуглецю йшло хвилеподібно від Дортмунда до Северодонецька (рис.4.4). Пік хвилі концентрації зміщувався в середньому зі швидкістю 34 км/год. При цьому фоновий рівень концентрації оксиду вуглецю практично завжди залишається на рівні 0,2-0,3 мг/м<sup>3</sup>, на стаціонарних постах коливалися в межах 0,4-1,0 середньодобової гранично допустимої концентрації (ГДК). В цілому, середні показники вмісту викидів оксиду вуглецю перевищують у 2-3 рази порівняно з територіями більш за північні широти, крім того, проглядається певний "ланцюг територій", де показники забруднення мають високі значення [207].

Тут же варто відзначити інформацію про землетруси [208], які пройшли в цей же період: 12.12. 2020 – у Чорному морі землетрус магнітудою 4,3; 13.12. 2020 - Чечні за добу п'ять землетрусів-5,6; 14.12 2020 – шість землетрусів поряд з Курильськими островами.

У той же час на прикладі м. Києва був проведений аналіз фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту магістральною дорогою та викиди, які вони виробляють. Підрахунки проводили у різний час доби - ранковий, обідній, вечірній та нічний із усередненням протягом десятихвилинного інтервалу та подальшим розрахунком кількості автотранспорту на годину та добу. За цими результатами розраховані потужності емісії та концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі відпрацьованих автомобільних газів [165]. Концентрацію забруднення атмосферного повітря оксидами вуглецю визначали, використовуючи модель Гаусового розподілу домішок в атмосфері на невеликих висотах (рис.4.5).

Виявлено, що концентрації оксиду вуглецю в 5-10 разів перевищує нормативи біля краю автодороги і досягає ГДК тільки на відстані понад 200 м. За супутниковими показниками ми більшою мірою отримуємо середньо-територіальну концентрацію забруднюючої речовини і ці результати цілком можна порівняти з даними для великих або промислових міст.

Однак у м. Северодонецьк інтенсивність руху значно менша, немає магістральних доріг та великих промислових потужностей, а, наприклад,

середньорічні концентрації шкідливих речовин у Києві становлять  $0,33 \text{ мг/м}^3$ , у Львові –  $1,0 \text{ мг/м}^3$ , у Сєвєродонецьку –  $1,33 \text{ мг/м}^3$ .

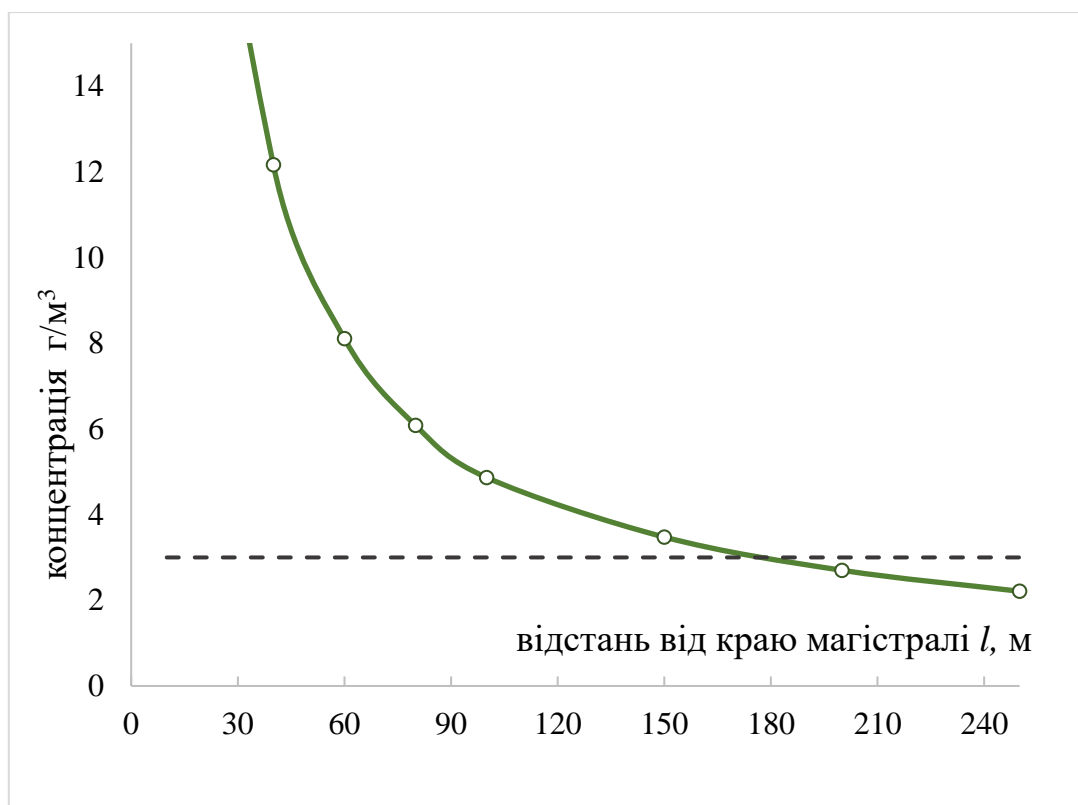


Рис.4.5. Зміна концентрації оксиду вуглецю від відстані від краю автодороги (пунктиром відзначено рівень ГДК).

І тут треба нагадати про ідею В.І. Вернадського про «газове дихання» планети, міграцію та накопичення вуглеводневого комплексу сполук. У той же час, дослідниками [209] отримані незаперечні докази того, що основна частина оксиду вуглецю надходить в атмосферу від спалювання викопного палива і це важливо, тому що останні десятиліття парниковий ефект був детально вивчений. Ймовірно, ми можемо говорити як про глобальний вплив антропогенних викидів так і про території, де більшою мірою виявляються викиди природного характеру та необхідності враховувати ці дані, що так істотно впливає на здоров'я людей при плануванні забудови міст, розвитку територій.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу виявлено, що існує "ланцюг територій" з посиленою дегазацією, яка пов'язана з енергією, що виникає в надрах Землі - "холодне "видихання" і проявляється особливо в місцях, де були чи є вугільні

вироблення, або є поклади торфу. Процес дегазації розвивається нерівномірно - просторово і в часі, з ритмами ендегенної активності Землі. Згідно з отриманими результатами, зміна та поширення забруднення повітряного басейну оксидом вуглецю йде хвилеподібно, пік хвилі концентрації зміщується в середньому зі швидкістю 34км/год.

Середні показники вмісту природних та антропогенних викидів уздовж "ланцюга територій", і особливо у великих європейських містах перевищують у 2-3 рази і дають підстави для вироблення дорожньої карти зниження кількості викидів, т. к. все це призводить до наслідків у вигляді парникового ефекту та зміни клімату. Крім того, необхідно враховувати ці дані, що так істотно впливає на здоров'я людей при плануванні перспективи забудови міст, розвитку територій. Використання інноваційних енергоефективних рішень дозволить містам обрати енергозберігаючий шлях розвитку економіки скоротити антропогенні викиди вуглецю на 79%-99% та потенційно підвищити якість життя городян. Можна однозначно говорити про найважливіше місце моніторингу в урбоекотологічній оцінці стану навколишнього середовища [210, 211].

**4.1.3 Аналіз забруднення повітряного простору території м. Київ за даними супутниковими та стаціонарних постів.** На рівень і динаміку зростання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста істотно впливає зміна інтенсивності транспортних потоків, обсягів та складу промислових викидів, поява нових виробництв, зміни взаємного розташування джерел забруднення, виникнення або зникнення майданних джерел забруднення (невпорядкованих територій, об'єктів нового будівництва та знесення будівель), а також сезонна динаміка вітрового режиму.

Важливими відмітними характеристиками автотранспорту, як джерела забруднення атмосферного повітря, є постійне збільшення його одиниць та відповідно викидів. Обсяг викидів від нього в великому місті досягає 80% від загальної кількості валових викидів в атмосферу і вище; проникнення автомобілів на

територію житлової забудови і зон рекреації; викиду забруднюючих речовин в зоні дихання людини і утруднене розсіювання в умовах міської забудови [212].

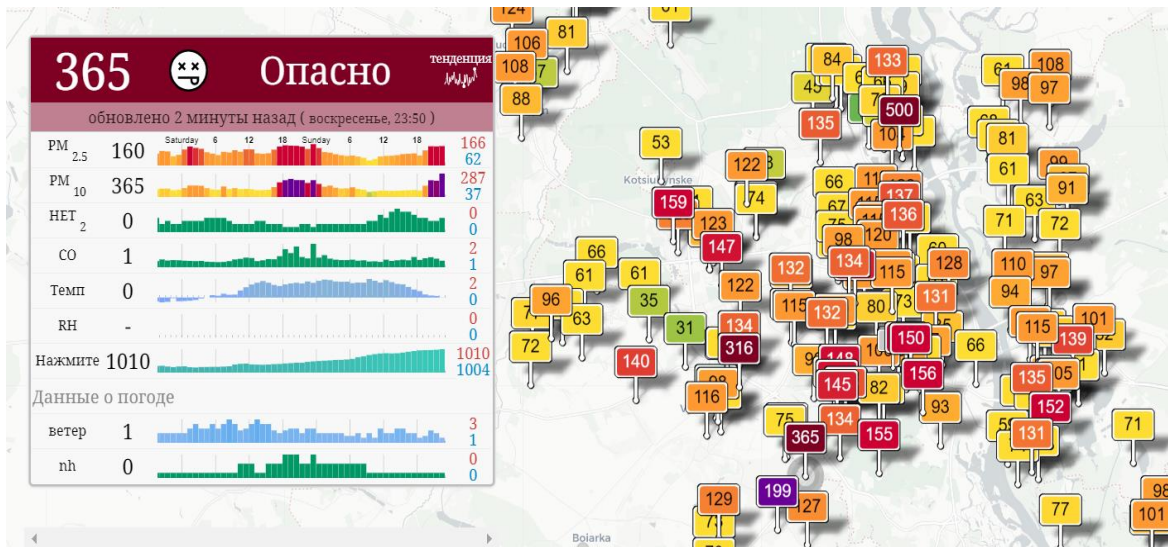


Рис.4.6. Індекси якості повітря територій м.Києва

Дуже часто індекси якості повітря територій м. Києва мають високі негативні показники (рис.4.6) [213]. Найбільші середньомісячні концентрації відмічені: на площі Перемоги, Бессарабській площі, вулиці Семена Скляренка – 3,5 гранично-допустима концентрація середньодобова (ГДК<sub>с.д.</sub>); на інших постах середній вміст діоксиду азоту був у межах 3,0 - 3,3 ГДК<sub>с.д.</sub>, на ПСЗ № 5 – 1,0 ГДК<sub>с.д.</sub>. Максимальний вміст цієї домішки був у межах 1,0-1,2 гранично-допустима концентрація максимально разова (ГДК<sub>м.р.</sub>), лише в районі вулиці Інженера Бородіна та проспекту Науки – нижче рівня ГДК<sub>м.р.</sub>. Всього з діоксиду азоту у літньому місяці зафіксовано біля 35 випадків перевищення ГДК<sub>м.р.</sub>, що становило 3,3% від загальної кількості спостережень за цією домішкою (у минулому місяці – 1,8%). Найбільша кількість випадків перевищення ГДК<sub>м.р.</sub> з діоксиду азоту зафіксована на площі Перемоги, вулицях Каунаська та Скляренка – 7,7% [35].

Розвиток міського середовища (поява нових мікрорайонів, автомагістралей, парків) призводить до того, що розташовані раніше на добре провітрюваних ділянках місцевості стаціонарні пости виявляються на «закритих» ділянках (поблизу високих будівель, на вузькій вулиці, у дворі або поблизу джерела низьких викидів) і характеризують суто локальні умови. З ростом інтенсивності автотранспортних

потоків в містах найбільш забруднені території перемістилися з промислових зон в місця компактного проживання населення [214, 215].

Дані за значеннями концентрації оксидів азоту в повітряному басейні територій м. Києва реєструвалися в період сплеску рівня забруднення, кожену годину протягом трьох днів. Протяжність Києва з півночі на південь - 50 км, із заходу на схід - 56 км, тому кожна точка вимірювання фіксувалась на відстані 10-12 км одна від другої (рис.4.7).

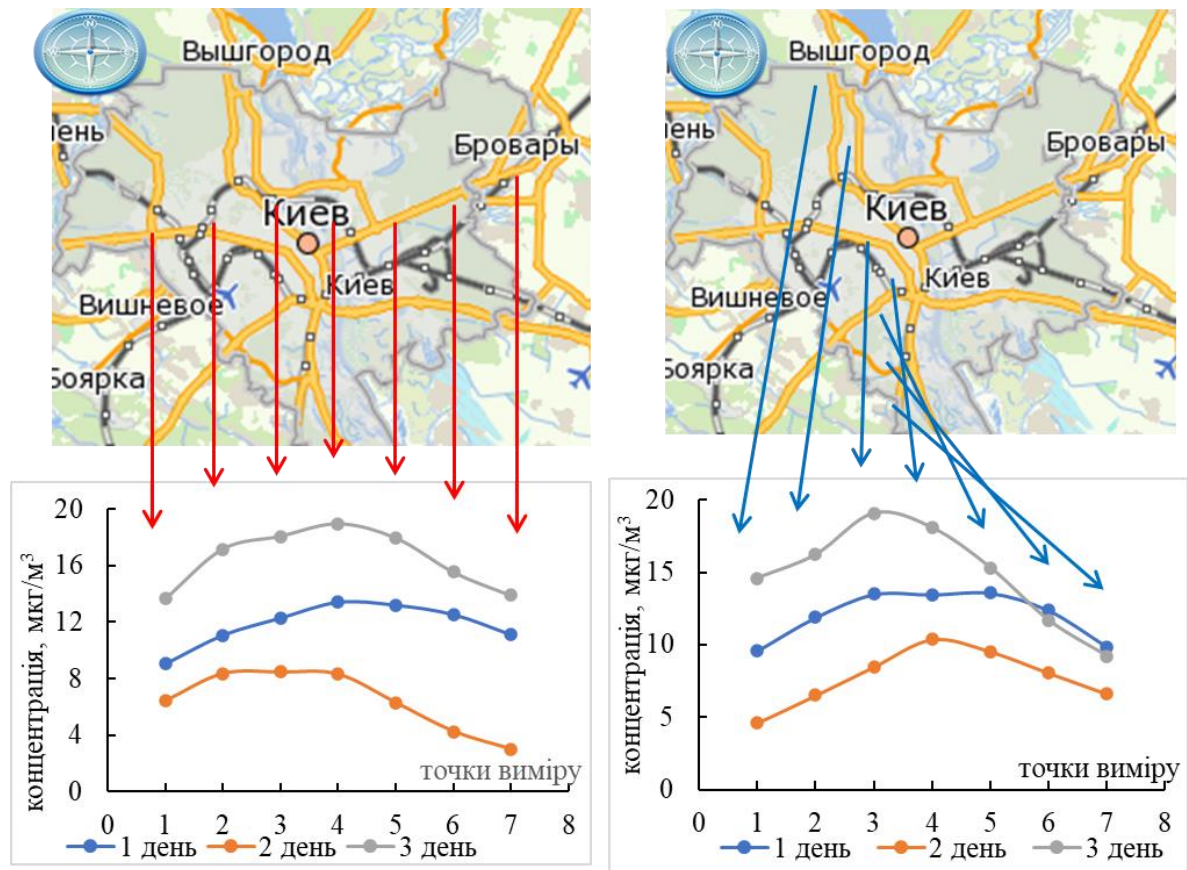


Рис. 4.7. Концентрації оксидів азоту в повітряному басейні території м. Київ:  
а) зі сходу на захід; б) з півночі на південь

Згідно з отриманими даними, можна констатувати, що в перебігу трьох днів йшло зростання концентрації оксидів азоту і вона збільшувалась практично в три рази за цей період часу. Така просторово-часова нестабільність атмосфери була досліджена авторами [216, 217]. Це відбувалося, перш за все, за рахунок виникнення низької хмарності. Південно-східний напрямок в загальному мав значення концентрацій нижче, ніж північно-західне; чітко виділяється підвищений рівень



забруднення у центрі міста Києва, тобто атмосферне забруднення в навколишньому міському середовищі розподілене нерівномірно не тільки протягом доби, а й протягом усього часу. Вітер є основним метеорологічним фактором, що впливає на поширення забруднюючих речовин.

Тут треба зазначити, що в ці дні швидкість вітру становила до 0,5 м/с, при великих швидкостях центр забруднення розмивається і зміщується (рис.4.8). Напрямок та швидкість руху вітру не залишаються постійними, і залежність концентрації забруднюючих речовин від напрямку руху вітру має велике значення при вирішенні питань розміщення магістральних трас в плані міста.

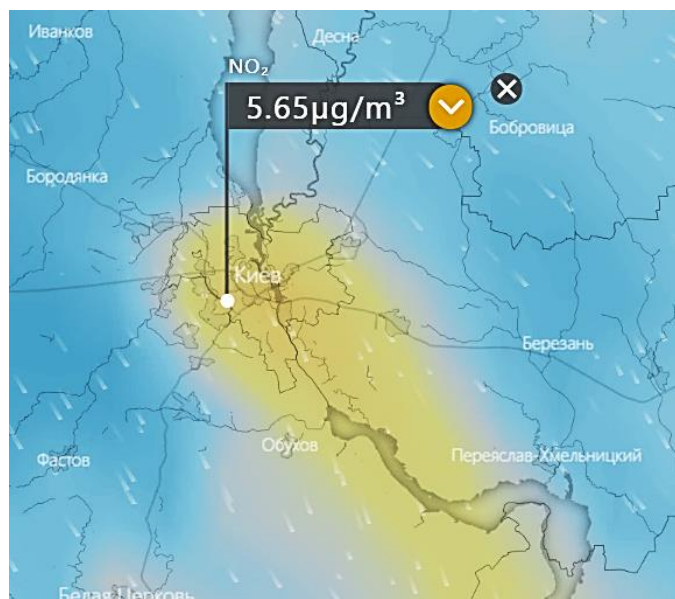


Рис.4.8. Схема розсіювання плями забруднення оксидами азоту за рахунок вітру

Сучасні прилади дистанційного зондування дозволяють здійснювати як глобальний, так і регіональний довготривалий моніторинг вмісту оксидів азоту та озону в атмосфері. Численні дослідження також показують, що добова динаміка концентрацій забруднювачів в атмосфері міста тісно пов'язана з інтенсивністю руху автотранспорту. Добовий хід концентрацій оксиду азоту майже повністю повторює добові зміни інтенсивності руху (коефіцієнт кореляції перевищує 0,8). Максимуми в інтенсивності руху вранці 8:00-9:00 та ввечері 18:00-19:00 обумовлюють відповідне зростання вмісту в повітрі забруднювачів [218].



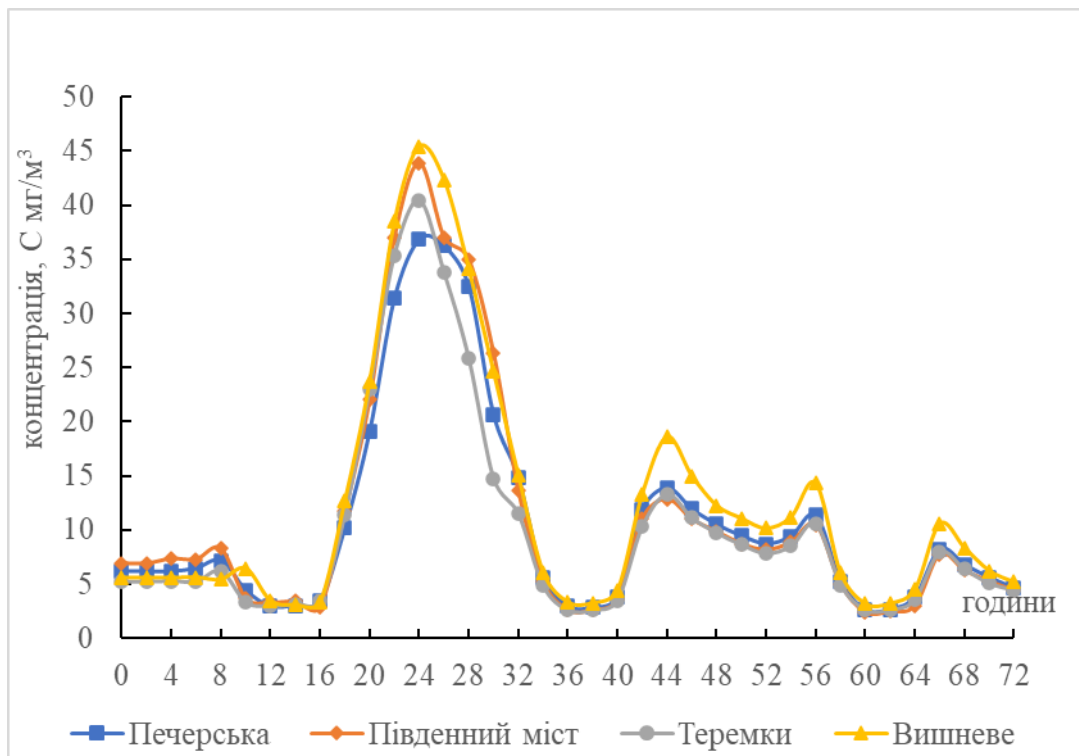


Рис. 4.9. Зміна концентрації оксиду азоту в Києві протягом трьох діб

Ступень загазованості повітря міст знаходиться в складній залежності від численних факторів, що стосуються як джерел, так і планувальної ситуації, організації руху, метеорологічних умов і ін. У ранкові години слабкий турбулентний обмін сприяє зростанню забруднення. Вечірній же пік інтенсивності руху менше відбивається на концентраціях, так як в цей період метеорологічні умови сприяють розсіюванню вихлопних газів.

Для аналізу розподілу оксидів азоту в перебігу декількох діб, вибирався період часу з підвищеним забрудненням повітряного басейну. У різних частинах м. Києва були обрані чотири локації: Печерськ, Південний міст, Теремки, Вишневе з урахуванням трафіку руху і рівня забруднення (рис.4.9). Реєстрація супутникових даних проводилася з проміжком півтори-дві години протягом трьох діб. У інтервали часу максимальної загазованості на рівень концентрацій забруднюючих речовин накладається неоднаковий вплив метеорологічних умов, тому максимуми вмісту оксидів азоту припадали на 8:00 і 20:00 години. Як видно з рис.4.9, загальна

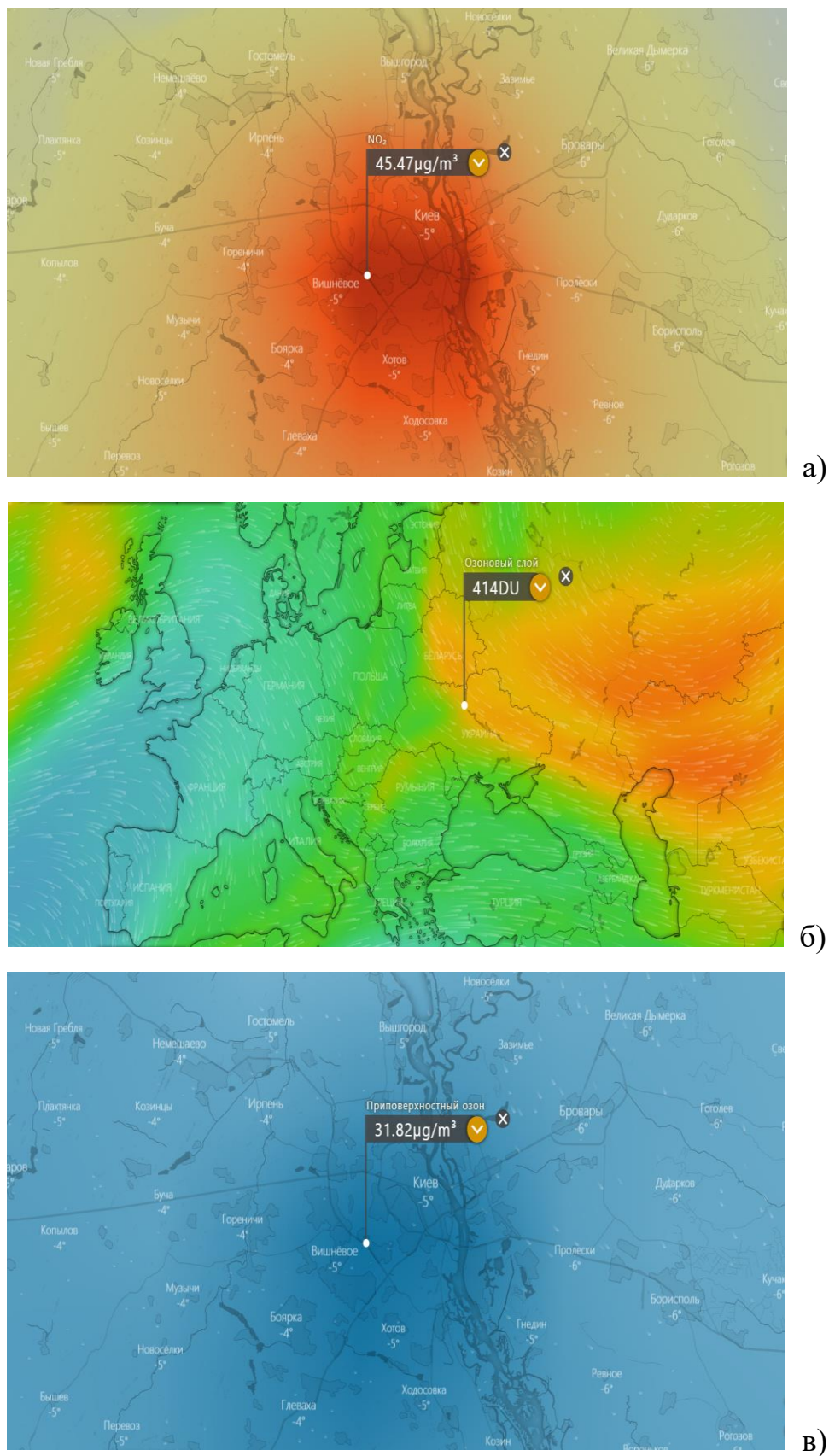


Рис.4.10. Супутникові дані по території Київської області 10.03.21:

а) концентрації оксиду азоту; б) товщини озонного шару;

в) концентрації приповерхневого озону.

тенденція зберігається для всіх локацій. Тут же варто відзначити сильну ступінь загазованості по метеоданим в нічний час, коли значення концентрації оксидів азоту перевищує в сто і більше разів (рис 4.10 а).

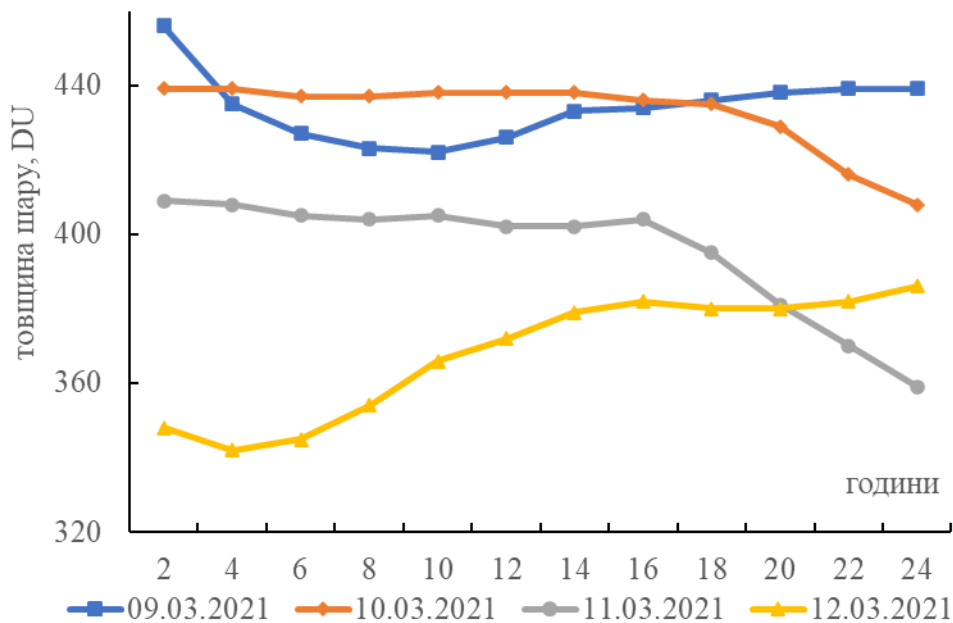
Згідно з отриманими даними (рис.4.10) можливо відзначити, що протягом 12 годин відбувається зниження концентрації оксидів азоту до середньодобових значень по Києву. Виникає питання, а за рахунок чого відбувається така трансформація? І тут важливо відзначити, що швидке окислення NO в NO<sub>2</sub> відбувається з використанням в якості окислювача озону. Якщо зібрати весь розподілений по висоті озон в сферичний шар поблизу поверхні Землі, при нормальних умовах, то товщина цього шару складе всього близько 3 мм. В якості одиниці вимірювання загального вмісту озону прийнята так звана одиниця Добсона (DU), яка відповідає товщині озонового шару, зібраного окремо і приведеного до нормального атмосферного тиску 760 мм рт. ст. і нормальній температурі 0°C. Одна одиниця Добсона відповідає 0,01 мм товщини цього шару. Нормальним вважається значення 340-360 одиниць Добсона.

Згідно супутниковими даними (рис 4.10 б) видно, що в ці дні територія міста Києва потрапляє в зону підвищеної концентрації атмосферного озону. На прикладі локації Вишневе показано зміну концентрації протягом чотирьох діб (рис.4.11а). За цей час товщина шару атмосферного озону змінюється на 25%, це звичайне явище навесні в середніх широтах Північної півкулі і є природним способом очищення забрудненого повітря. Утворений у верхній стратосфері озон потрапляє в нижню стратосферу за рахунок турбулентної дифузії.

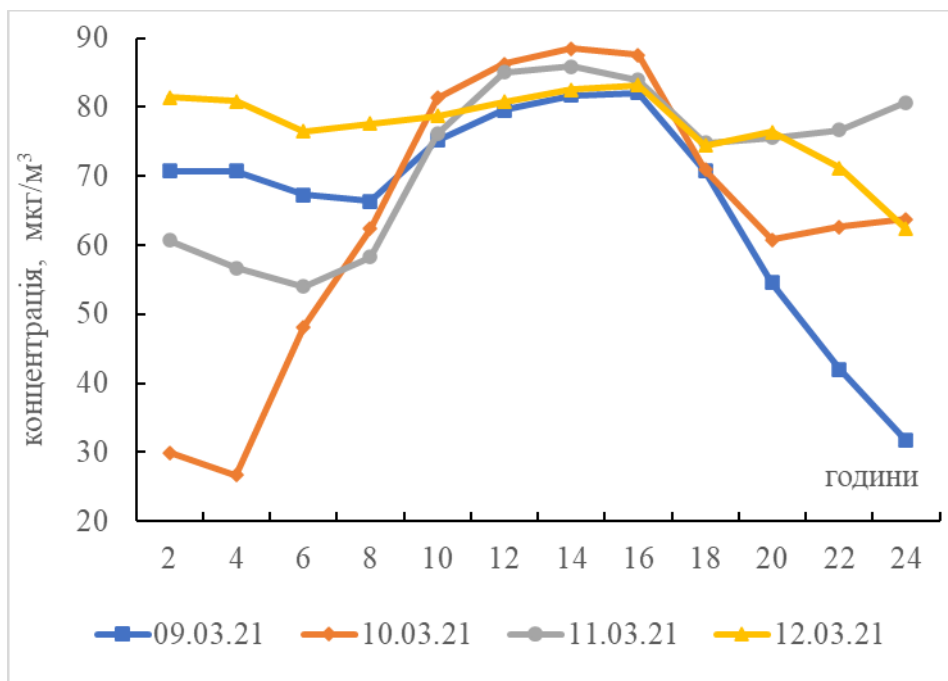
Приземний озон є вторинним забруднювачем атмосфери і поява його у великих концентраціях свідчить про значне забруднення повітря вихлопами автотранспорту і іншими продуктами високотемпературного згорання. Основним джерелом озону в приземному шарі атмосферного повітря є фотохімічні реакції за участю оксидів азоту, летких органічних сполук і ряду інших речовин, що називаються попередниками озону. У період дослідження територій міста зміст поверхневого озону був підвищеним (рис.4.10 в).

Дані про концентрацію приземного озону в Вишневому (рис.4.11б) свідчать про підвищення його вмісту протягом денного часу доби. Максимум досягався в 12: 00-

13: 00 годин до  $80 \text{ мкг/м}^3$  при допустимій середньодобовій концентрації  $30 \text{ мкг/м}^3$ , однак на даний час за даними ВОЗ [36] норматив для озону встановлено на рівні  $100 \text{ мкг/м}^3$  в якості усередненого за 8 годин.



а)



б)

Рис 4.11. Зміна значень в Вишневому: а) товщини озонового шару; б) концентрації приповерхневого озону.

Утворення озону відбувається за участю сонячного випромінювання і інтенсивність цього процесу залежить від температури повітря - чим вище температура, тим інтенсивніше йде утворення озону з забрудненого повітря. Головний максимум приземного озону припадає на квітень-травень, він обумовлений інтенсивним вертикальним перемішуванням і припливом багатого озonom повітря з верхньої тропосфери. Тому середні концентрації забруднюючих газів в місцях інтенсивного антропогенного навантаження не перевищують величин максимальних разових ГДК [219].

Використання сучасних методів для отримання статистично надійних даних визначення забруднених територій міста в повному діапазоні погодних умов надає можливість бачити залежність змісту оксидів азоту від присутності озону. У світлий час доби добовий і сезонний хід озону обернений ходу первинних забруднювачів (зокрема,  $\text{NO}_2$ ), а саме збільшення концентрацій озону супроводжується зменшенням концентрацій первинних забруднювачів і навпаки.

Вимірювання концентрації оксидів азоту в перебігу тих же трьох днів у центрі Києву на території парку імені Тараса Григоровича Шевченка, яке оточено магістральними дорогами, показало найвищу динаміку змін змісту забруднюючої речовини (рис.4.12). Тут особливо варто звернути увагу на максимуми концентрацій протягом доби, вони практично збігаються з даними за виникненню «пробок» в ранкові та вечірні години з 8:00 до 9:00 і з 18:00 до 20:00. Зростання концентрації змінюється в два і більше разів. Найнижчі концентрації спостерігаються в нічні та передранкові години.

Гранично-допустимий середньодобовий вміст оксидів азоту в атмосферному повітрі населених місць не повинен перевищувати  $0,04 \text{ мг/м}^3$  при одночасному дотриманні вимоги про разовий максимальний вміст оксидів азоту не більше  $0,2 \text{ мг/м}^3$  [220]. Отримані дані знаходяться в межах норми, але вони відображають загальну забрудненість підстильної поверхні. Якщо зробити виміри безпосередньо біля магістральних доріг, то показники перевищують нормативні у кілька разів.

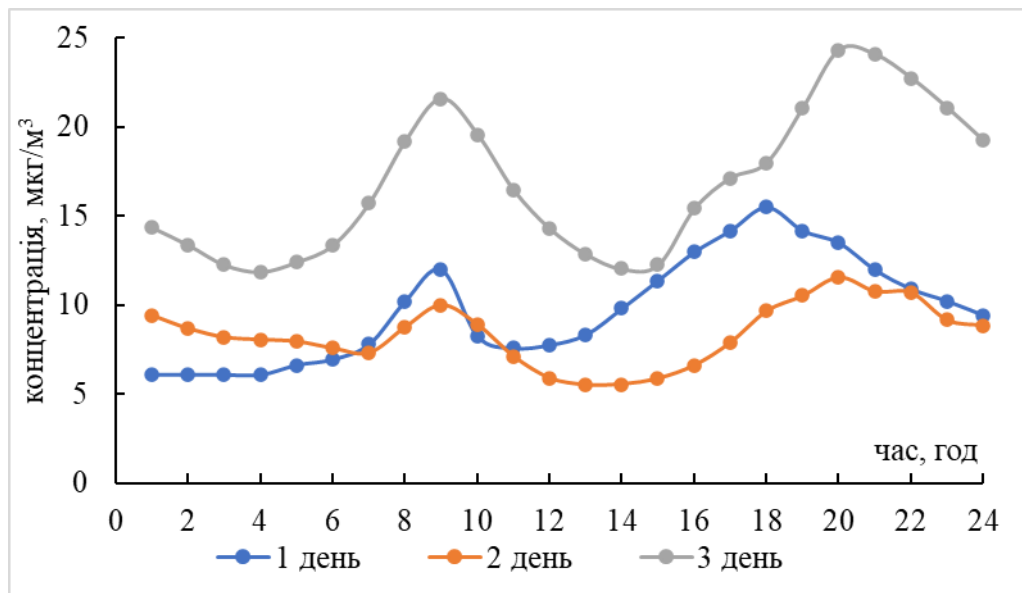


Рис. 4.12. Зміна концентрації оксидів азоту в повітряному басейні території парку ім. Т.Г. Шевченка м. Київ:

Наприклад, потужність емісії  $q_j$ , мг/(м с) оксидів азоту, а саме, кількість викидів в атмосферу відпрацьованими газами двигунів на території парку ім. Т.Г. Шевченко склала (розрахунки наведені нижче):

$$q_{NO_x} = 12,42 \text{ мг/(м}\cdot\text{с)}$$

Отримані результати розрахунку забруднення оксидами азоту поблизу магістральних доріг практично в десять разів відрізняються від даних дистанційного зондування (супутникових) і заміряних на стаціонарних постах, що і говорить про надмірне антропогенне навантаження транспорту на навколишнє середовище, особливо в центрі Києва, та необхідності додаткового контролю в точках близьких до магістральних доріг.

На підставі проведеного аналізу [221] даних території м. Києва на забруднення оксидами азоту транспортними потоками на магістральних дорогах визначено, що дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень, дистанційного зондування та розрахункові значно відрізняються, тому необхідно додатковий контроль в точках близьких до магістральних доріг. Напрямок та швидкість руху вітру має велике значення при вирішенні питань розміщення магістральних трас в плані міста. Якщо



ширина забруднення придорожньої смуги забруднюючою речовиною перетинає границю житлової забудови, варто передбачити додаткові захисні заходи.

#### 4.2 Аналіз забруднення автотранспортом повітряного простору примагістральних територій за експериментальними та розрахунковими даними на прикладі парку Т.Г. Шевченко м. Київ

Територія парку поділена на частини двома перпендикулярними алеями і додатковими за діагоналями, які впираються в кільцеву дорогу за всім периметром. Алеї з'єднуються в центрі, утворюючи прекрасне місце для облаштування якогось величного твору.



Рис. 4.13. Ділянки доріг, що проходять біля парку Т.Г. Шевченка

Жвавий рух автомобільного транспорту надає колосальну кількість викидів у навколишнє середовище. На (рис. 4.13) відзначені ділянки доріг, які проходять біля парку Т.Г. Шевченка. Ділянка №1 – бульвар Т.Г. Шевченка (магістральна вулиця загальноміського значення); ділянка №2 – вулиця Терещенківська (вулиця місцевого значення (житлова)); ділянка №3 – вулиця Льва Толстого (магістральна вулиця районного значення); ділянка №4 – вулиця Володимирська (магістральна вулиця

районного значення). Основні потоки руху транспорту проходять по ділянках №1; №3 та №4.

#### ТЕП парку Т.Г. Шевченка

Найменування	Од. вимірювання, га
Загальна площа парку	5,5
Зелені насадження	3,34
Облаштування доріжок	1,33
Газон	2,98
Дерева	0,1
Жива огорожа	0,06
Кущі	0,06
Квітники	0,09
Споруди	0,12

**4.2.1 Визначення середньодобової інтенсивності руху автотранспорту за типами автомобілів.** Основними токсичними компонентами відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) автотранспорту є оксиди вуглецю, азоту і вуглеводні. Оцінку забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами визначали на основі визначення емісії (викидів) відпрацьованих газів і концентрації забруднення повітря цими газами на різному видаленні від дороги, а потім проводили порівняння отриманих даних із гранично допустимою концентрацією (ГДК) цих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів. Для вирішення задач, пов'язаних з моделюванням і прогнозуванням забруднення атмосфери транспортними потоками, найбільш перспективним є використання розрахункових методів. У європейських країнах для розрахунків концентрацій використовуються методики, рекомендовані МАГАТЕ, в яких за основу взято емпіричну модель Пасквілла-Гіффорда [222], яка використовується для відстаней до 10 км. У основі моделі – представлення концентрації домішок, що викидаються безперервним джерелом в атмосферу з Гаусовим розподілом по вертикалі та в поперечному до вітру напрямі. В нашій країні поширені моделі на основі теорії турбулентної дифузії домішок в атмосферному повітрі [103, 121], які покладені в основу галузевого стандарту, що є чинним і використовується для розрахунків [121]. Методику розрахунку маси викидів



автомобільного транспорту в межах перетинів магістралей в різних рівнях автор пропонує Солуха І. Б. [223].

При визначенні рівня забруднення придорожнього середовища транспортним потоком необхідно враховувати ряд особливостей:

- вузьку лінійну локалізацію викидів вздовж доріг;
- неоднорідність щільності і складу транспортного потоку в часі, що залежить від пори року, дня тижня, часу доби;
- значну просторову мінливість характеристик потоку, що визначається ступенем віддаленості від великих населених пунктів, характером покриття доріг;
- приземне розташування джерел, що сповільнює розсіювання викидів.

Розрахунки проводили для ділянки №1 бульвару Т.Г. Шевченка магістральної вулиці загальноміського значення, вибір визначали по «розі вітрів» території.

Експериментальні дані отримували за допомогою теоретичних і практичних підрахунків пересувного автомобільного транспорту на ділянці в районі площі Перемоги (рис. 4.14).

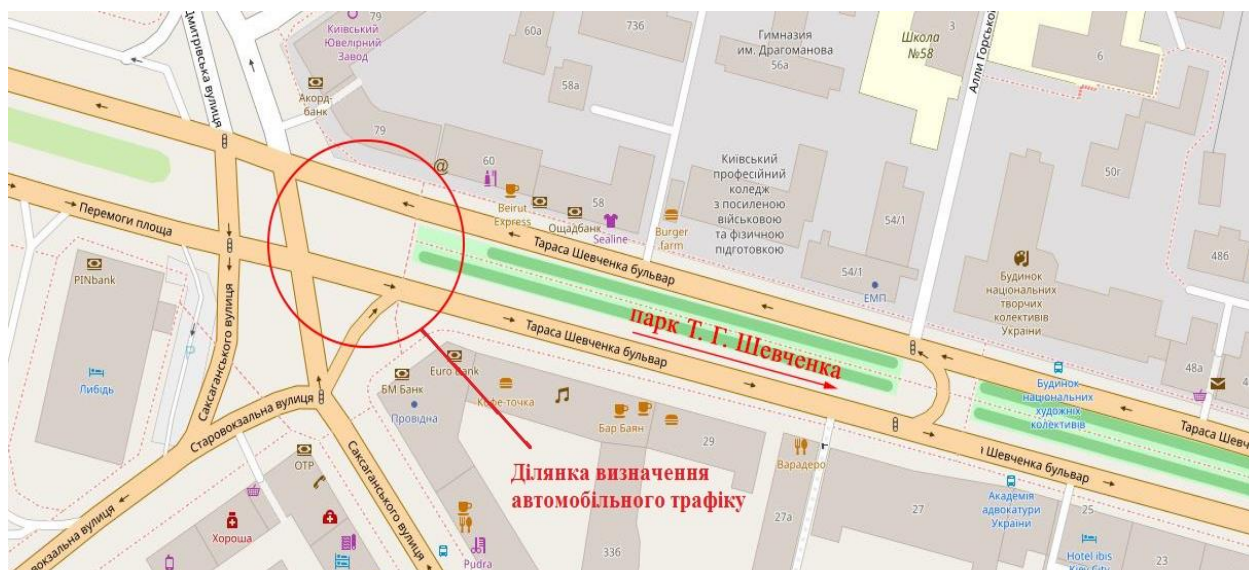


Рис. 4.14. Ділянка підрахунку автомобільного транспорту на бульварі Т. Г. Шевченка

Загальна кількість транспорту який пересувається на обраній ділянці магістралі визначали простим підрахунком їх з камери відеоспостереження (рис. 4.15). Підрахунки проводили в різний час доби – ранковий час, обідній і вечірній по 10

хвилин. Після чого визначали кількість автомобільного транспорту за 1 годину. В результаті усереднена цифра склала в сорок тисяч одиниць за добу. Рух транспорту враховували тільки в напрямку парку Т.Г. Шевченко та з його напрямку.



Рис. 4.15. Фотофіксація руху автотранспорту досліджуваної ділянки

Викиди відпрацьованих газів автотранспортних засобів з'являються в результаті згоряння палива, наприклад, бензину, дизельного палива, скрапленого газу (LPG) і природного газу в двигунах внутрішнього згоряння. Транспортні засоби в технічному регламенті поділяють на категорії - пасажирські транспортні засоби (М) та вантажні автомобілі (N) [224]:

- М1 - транспортні засоби, що використовуються для перевезення пасажирів і мають, крім місця водія, не більше восьми місць для сидіння. Автобуси, тролейбуси, спеціалізовані пасажирські транспортні засоби.
- М2 - транспортні засоби, що використовуються для перевезення пасажирів, що мають, крім місця водія, більше восьми місць для сидіння, технічно допустима максимальна маса яких не перевищує 5 тон.

- МЗ - транспортні засоби, що використовуються для перевезення пасажирів, що мають, крім місця водія, більше восьми місць для сидіння, технічно допустима максимальна маса яких перевищує 5 тон.
- N1 - транспортні засоби, призначені для перевезення вантажів, мають технічно допустиму максимальну масу не більше 3,5 тон.
- N2 - транспортні засоби, призначені для перевезення вантажів, мають технічно допустиму максимальну масу понад 3,5 тон, але не більше 12 тон.
- N3 - транспортні засоби, призначені для перевезення вантажів, мають технічно допустиму максимальну масу понад 12 тон.

Загальний потік автотранспорту на магістралі розподілили за типами (табл. 4.1).

*Таблиця 4.1.*

#### **Розподіл автомобільного транспорту за типом**

Тип автомобіля	Умовні позначення
1. Легкові автомобілі	$N_1$
2. Малі вантажні автомобілі карбюраторні (до 5 тон)	$N_2$
3. Вантажні автомобілі карбюраторні (5 тон й більше)	$N_3$
4. Вантажні автомобілі дизельні	$N_4$
5. Автобуси карбюраторні	$N_5$
6. Автобуси дизельні	$N_6$

Результати визначаємо як середньодобову інтенсивність руху автотранспорту за типами автомобілів (авт./добу) та процентним співвідношенням (табл.4.2).

*Таблиця 4.2.*

#### **Середньодобова інтенсивність руху автотранспорту за типами**

	$N_a$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$
%	100	62,5	15,6	10	10,1	0,8	1
авт./добу	40000	25000	6250	4000	4050	300	400

Кількість громадського транспорту визначали згідно маршрутному розкладу.

#### **Маршрутне таксі №189 (ТОВ «Союз-Авто»)**

Час роботи: 06:20-22:00 (16 годин)

Інтервал 6-15 хвилин (15 хвилин)

Біля п. Шевченка за 1 годину проїжджає 4 рази;  
за 1 день 64 рази.

**Маршрутне таксі №450 (ТОВ «Транс-Груп»)**

Час роботи: 06:20-21:00 (15 годин)

Інтервал 25-50 хвилин (40 хвилин)

Біля п. Шевченка за 1 годину в середньому проїжджає 1-2 рази;  
за 1 день 23 рази.

**Маршрутне таксі №231 (ПП «Базальт»)**

Час роботи: 07:00-20:40 (13 годин 40 хвилин)

Інтервал 15-20 хвилин (15 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 4 рази;  
за 1 день 54 рази.

**Маршрутне таксі №570 (Приватний перевізник)**

Час роботи: 06:15-23:30 (17 годин 15 хвилин)

Інтервал 5 хвилин

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 12 разів;  
за 1 день 207 разів.

**Маршрутне таксі №575 (ПП «Парк»)**

Час роботи: 06:05-22:30 (16 годин 25 хвилин)

Інтервал 15-40 хвилин (30 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 2 рази;  
за 1 день в середньому 33 рази.

**Маршрутне таксі №433 (ТОВ «Радонь»)**

Час роботи: 07:00-21:40 (14 годин 40 хвилин)

Інтервал 6-15 хвилин (10 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 6 разів;  
за 1 день 88 разів.

**Маршрутне таксі №429 (ТОВ «Кийтранс-2005»)**

Час роботи: 06:50-22:30 (15 годин 40 хвилин)

Інтервал 20-40 хвилин (30 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 2 рази;  
за 1 день 31 раз.

**Автобус №24 (КП «Київпаstrанс»)**

Час роботи: 07:30-19:48 (12 годин 18 хвилин)

Інтервал 32-37 хвилин (35 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 2 рази;  
за 1 день 21 раз.

**Автобус №114 (КП «Київпаstrанс»)**

Час роботи: 05:30-23:29 (18 годин)

Інтервал 32-37 хвилин (10 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 6 разів;  
за 1 день 108 раз.

**Автобус №118 (КП «Київпаstrанс»)**

Час роботи: 05:50-23:34 (17 годин 44 хвилини)

Інтервал 10-26 хвилин (20 хвилин)

Біля п. Т.Г. Шевченка за 1 годину проїжджає 3 рази;  
за 1 день 53 рази.

**Загальна кількість**

**Маршрутне таксі:**

за 1 годину біля п. Т.Г. Шевченка проїжджає – 60 разів;  
за 1 день біля п. Т.Г. Шевченка проїжджає – 500 разів.

**Автобуси:**

за 1 годину біля п. Т.Г. Шевченка проїжджають – 11 разів;  
за 1 день біля п. Т.Г. Шевченка проїжджають – 182 рази.

Згідно з розкладом руху отримуємо загальну кількість громадського транспорту, що проходить поряд з п. Т.Г. Шевченка (табл.4.3).

## Кількість проїздів громадського транспорту на ділянці №1

Маршрутне таксі № рейсу:	Кількість проїздів	
	за 1 годину	за 1 день
№189 (ТОВ «Союз-Авто»)	4	64
№450 (ТОВ «Транс-Груп»)	1...2	23
№231 (ПП «Базальт»)	4	54
№570 (Приватний перевізник)	12	207
№575 (ПП «Парк»)	2	33
№433 (ТОВ «Радонь»)	6	88
№429 (ТОВ «Кийтранс-2005»)	2	31
<b>Усього:</b>	<b>30</b>	<b>500</b>
<b>Автобуси № рейсу:</b>		
№24 (КП «Київпастрас»)	2	21
№114 (КП «Київпастрас»)	6	108
№118 (КП «Київпастрас»)	3	53
<b>Усього:</b>	<b>11</b>	<b>182</b>

**4.2.2 Розрахункові дані потужності емісії забруднюючих речовин - оксидів вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту.** Емісія – це викид в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів прямих і побічних продуктів згоряння палива, які можуть бути причиною небажаного впливу на навколишнє середовище.

Потужність емісії  $q_i$ , мг/(м с), забруднюючої речовини на конкретній ділянці дороги за формулою:

$$q_i = 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left( \sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right] \quad (4.1)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що враховує дорожні й транспортні умови в залежності від середньої швидкості транспортного потоку  $V$  (рис. 4.16.);

Розрахунок викидів проводили за основними трьома забруднюючих речовин, таких як оксид вуглецю, вуглеводні, оксид азоту. Частинки сажі є ланцюгами частинок вуглецю з дуже великою специфічною поверхнею, до якої приєднані незгорілі або згорілі частково вуглеводні. У більшості випадків це альдегіди (з великою кількістю молекул) і з стійким запахом.



Згідно статистичним даним [36] зі споживання палива у м. Києві, у розрахунку для легкового автомобільного транспорту приймаємо кількість автомобілів, що пересуваються на дизельному паливі та бензині, в рівній кількості.

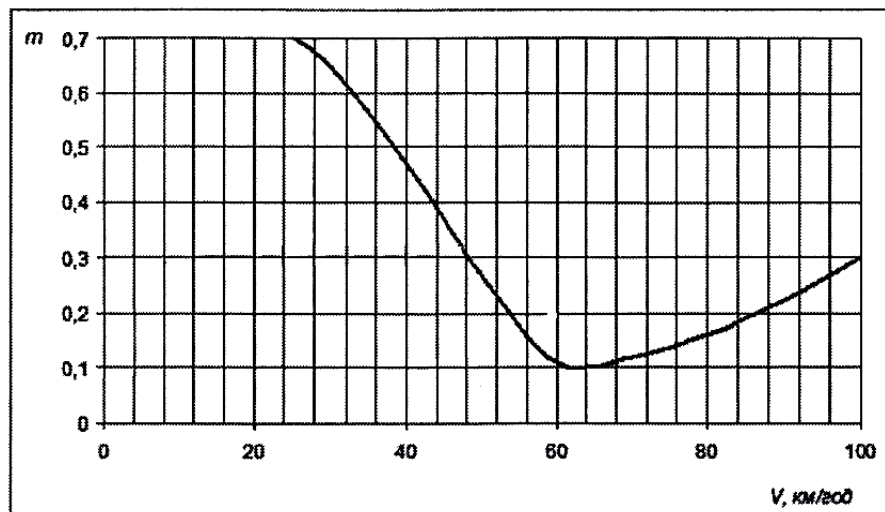


Рис. 4.16. Залежність поправочного коефіцієнта  $m$  від середньої швидкості транспортного потоку  $V$

$G_i^k$  – середні експлуатаційні витрати палива для даного типу карбюраторних автомобілів (табл. 4.4.), л/км;

$G_i^d$  – те ж для дизельних автомобілів (табл. 4.4.), л/км;

$N_i^k$  – інтенсивність руху кожного виділеного типу карбюраторних автомобілів, авт./год.;

$N_i^d$  – те ж дизельних автомобілів, авт./год.;

$K_k$  й  $K_d$  – коефіцієнти, прийняті для даного компонента забруднення з карбюраторними і дизельними типами ДВЗ (табл. 4.5.).

Таблиця 4.4.

Середні експлуатаційні норми витрати палива  $G_i$

Тип автомобіля	Значення $G_i$ , л/км
1. Легкові автомобілі	0,11
2. Малі вантажні автомобілі карбюраторні (до 5 тон)	0,16
3. Вантажні автомобілі карбюраторні (5 тон й більше)	0,33
4. Вантажні автомобілі дизельні	0,34
5. Автобуси карбюраторні	0,37
6. Автобуси дизельні	0,28

Значення коефіцієнтів й  $K_k K_d$ 

Найменування забруднюючої речовини	Тип ДВЗ	
	карбюраторний	дизельний
Оксид вуглецю	0,600	0,140
Вуглеводні	0,120	0,037
Оксид азоту	0,060	0,015

Визначаємо потужність емісії оксиду вуглецю,  $q_{CO}$  мг / (м с),

$$\begin{aligned}
 q_{CO} &= 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left( \sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right] = \\
 &= 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 12500 \cdot 0,6) + (0,11 \cdot 12500 \cdot 0,14) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,6) +] = \\
 &= [(0,33 \cdot 4000 \cdot 0,6) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,14) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,6) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,14)] = 121,66 \text{ мг/(м} \cdot \text{с)}
 \end{aligned}$$

Визначаємо потужність емісії вуглеводів,  $q_{C_nH_m}$  мг/(м с),

$$\begin{aligned}
 q_{C_nH_m} &= 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left( \sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right] = \\
 &= 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 12500 \cdot 0,12) + (0,11 \cdot 12500 \cdot 0,037) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,12) +] = \\
 &= [(0,33 \cdot 4000 \cdot 0,12) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,037) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,12) +] + \\
 &\quad + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,037) = 25,50 \text{ мг/(м} \cdot \text{с)}
 \end{aligned}$$

Визначаємо потужність емісії оксидів азоту,  $q_{NO_x}$  мг/(м с),

$$\begin{aligned}
 q_{NO_x} &= 0,206 \cdot m \cdot \left[ \left( \sum G_i^k \cdot N_i^k \cdot K_k \right) + \left( \sum G_i^d \cdot N_i^d \cdot K_d \right) \right] = \\
 &= 0,206 \cdot 0,22 \cdot [(0,11 \cdot 12500 \cdot 0,06) + (0,11 \cdot 12500 \cdot 0,015) + (0,16 \cdot 6250 \cdot 0,06) +] + \\
 &+ [(0,33 \cdot 4000 \cdot 0,06) + (0,34 \cdot 4050 \cdot 0,015) + (0,37 \cdot 300 \cdot 0,06) + (0,28 \cdot 400 \cdot 0,015) +] + \\
 &\quad (0,28 \cdot 400 \cdot 0,015) = 12,42 \text{ мг/(м} \cdot \text{с)}
 \end{aligned}$$

Таким чином отримані розрахункові дані потужності емісії найбільш небезпечних забруднюючих речовин, таких як - оксидів вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту які показують присутність значних кількостей цих речовин у повітряному просторі. Однак, для визначення їх подальшого розсіювання, розмірів санітарно-захисних територій впливу зовнішніх факторів необхідно розраховувати концентрації токсичних компонентів автотранспортних викидів.



**4.2.3 Розрахунки концентрацій забруднення атмосферного повітря примігстральних територій токсичними компонентами автотранспортних викидів.** Для визначення концентрації  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>, забруднення атмосферного повітря токсичними компонентами відпрацьованих газів на різному віддаленні від дороги, використовували модель Гаусового розподілу домішок в атмосфері на невеликих висотах [225] за формулою:

$$C_i = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin\varphi} + F_i \quad (4.2)$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення Гаусового розсіювання у вертикальному напрямку (табл. 4.6.), м;

$V_B$  – швидкість вітру, що переважає в розрахунковий період, м/с;

$\varphi$  – кут, що залежить від напрямку вітру до траси дороги (при куті менше 30°  $\sin\varphi$  прийняти 0,5);

$F_i$  – фонові концентрації *i-ої* забруднюючої речовини (в роботі приймаємо рівною нулю), мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 4.6.

#### Значення стандартного Гаусового відхилення від стану погоди

Стан погоди	Величина $\sigma$ при віддаленні, від кромки проїзної частини, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
сонячна	2	4	6	8	10	13	19	24	30
дощова	1	2	4	6	8	10	14	18	22

Результати розрахунків у разі сонячної погоди та у дощову представляємо графічно в координатах  $C_i$  і  $l$  та зіставляємо з ГДК цих забруднюючих речовин у повітрі населених міст (табл. 4.7).

Якщо ширина забруднення придорожньої смуги забруднюючою речовиною перетинає границю житлової забудови, варто розрахувати величину перевищення нормативу ГДК в повітрі населеного пункту у розрахунковій точці на границі житлової забудови та передбачити захисні заходи.

Величину перевищення нормативу ГДК *i-ої* забруднюючої речовини в повітрі населеного пункту визначаємо за формулою:

$$\Delta'_i = \frac{c'_i - \text{ГДК}_i}{c'_i} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Таблиця 4.7.

### Значення ГДК відпрацьованих газів у повітрі населених міст

Найменування забруднюючої речовини	Клас небезпеки	Середньодобова ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид вуглецю	4	3
Вуглеводні	3	1,5
Оксид азоту	2	0,04

Визначаємо концентрації  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>, забруднення атмосферного повітря у сонячну й дощову погоду токсичними компонентами відпрацьованих газів на різному віддаленні від краю автомобільної дороги, що вказані в табл. 4.6, використовуючи модель Гаусового розподілу домішок в атмосфері на невеликих висотах, за формулою (4.2). Для прикладу наведемо розрахунок забруднення на відстані 100 метрів від магістралі:

- сонячна погода:

$$C_{CO}^{100} = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin\varphi} + F_i = \frac{2 \cdot 121,66}{\sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 0,5}} + 0 = 3,74 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{C_nH_m}^{100} = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin\varphi} + F_i = \frac{2 \cdot 45,44}{\sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 0,5}} + 0 = 1,39 \text{ мг/м}^3$$

$$C_{NO_x}^{100} = \frac{2q_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V_B \cdot \sin\varphi} + F_i = \frac{2 \cdot 12,42}{\sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 0,5}} + 0 = 0,381 \text{ мг/м}^3$$

У розрахунок концентрації  $C_i$ , мг/м<sup>3</sup>, ми не враховуємо фонову концентрацію  $F_i = 0$ , для того, щоб визначити викиди саме від автотранспорту.

Аналогічним чином розраховується концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі у дощову погоду на різному віддаленні від дороги, а також концентрації оксидів азоту і вуглеводнів при різному стані погоди (табл. 4.8).

**Значення концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у сонячну (с.п.) й дощову (д.п.) погоду в поперечному напрямку на відстанях від краю магістральної дороги**

l, м	10	20	40	60	80	100	150	200	250
$C_{CO}$ мг/м <sup>3</sup> (с.п.)	24,33	12,166	8,11	6,083	4,866	3,74	2,56	2,028	1,62
$C_{CO}$ мг/м <sup>3</sup> (д.п.)	48,66	24,33	12,166	8,11	6,083	4,866	3,476	2,7	2,21
$C_{C_nH_m}$ мг/м <sup>3</sup> (с.п.)	2,55	1,275	0,85	0,63	0,51	0,39	0,27	0,21	0,17
$C_{C_nH_m}$ мг/м <sup>3</sup> (д.п.)	5,1	2,55	1,275	0,85	0,63	0,51	0,36	0,28	0,23
$C_{NO_x}$ мг/м <sup>3</sup> (с.п.)	1,22	0,61	0,409	0,307	0,25	0,189	0,129	0,102	0,082
$C_{NO_x}$ мг/м <sup>3</sup> (д.п.)	2,459	1,22	0,61	0,409	0,307	0,25	0,175	0,137	0,112

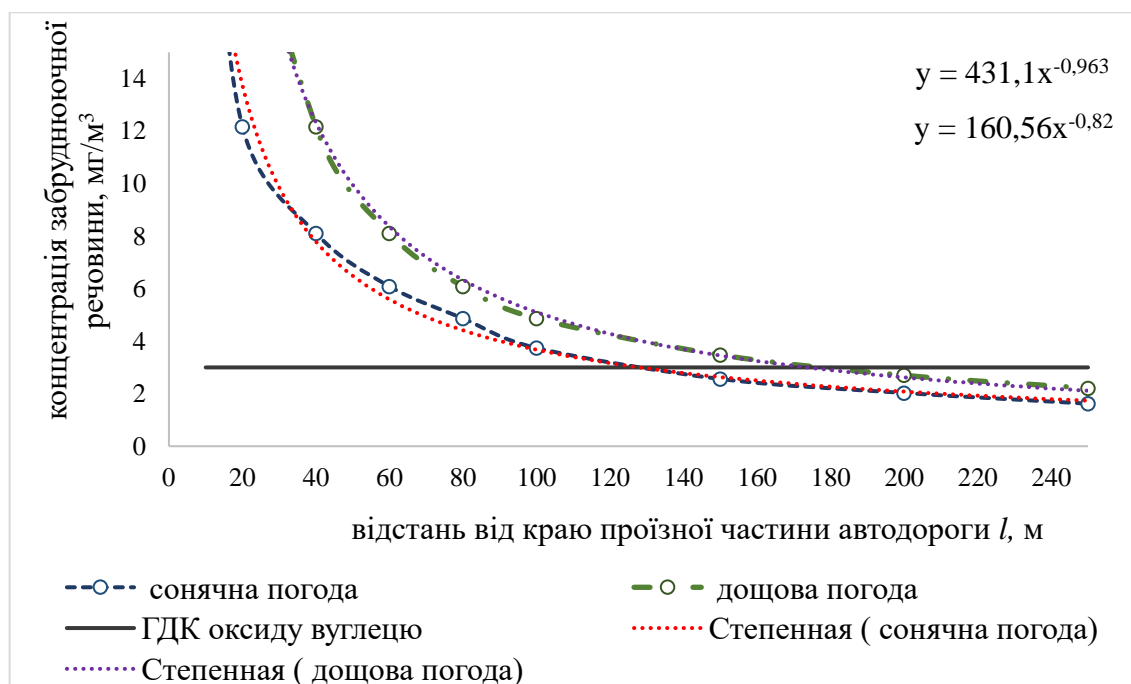


Рис. 4.17. Графік забруднення придорожньої смуги с оксидом вуглецю від краю проїзної частини в сонячну й дощову погоду

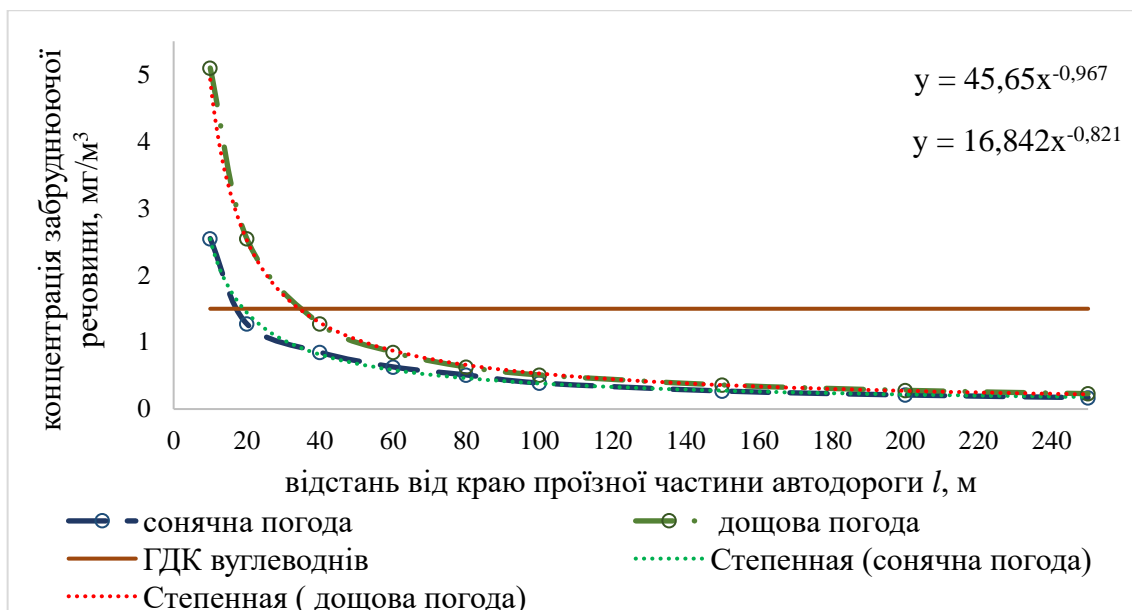


Рис. 4.18. Графік забруднення придорожньої смуги вуглеводнями від краю проїзної частини в сонячну й дощову погоду

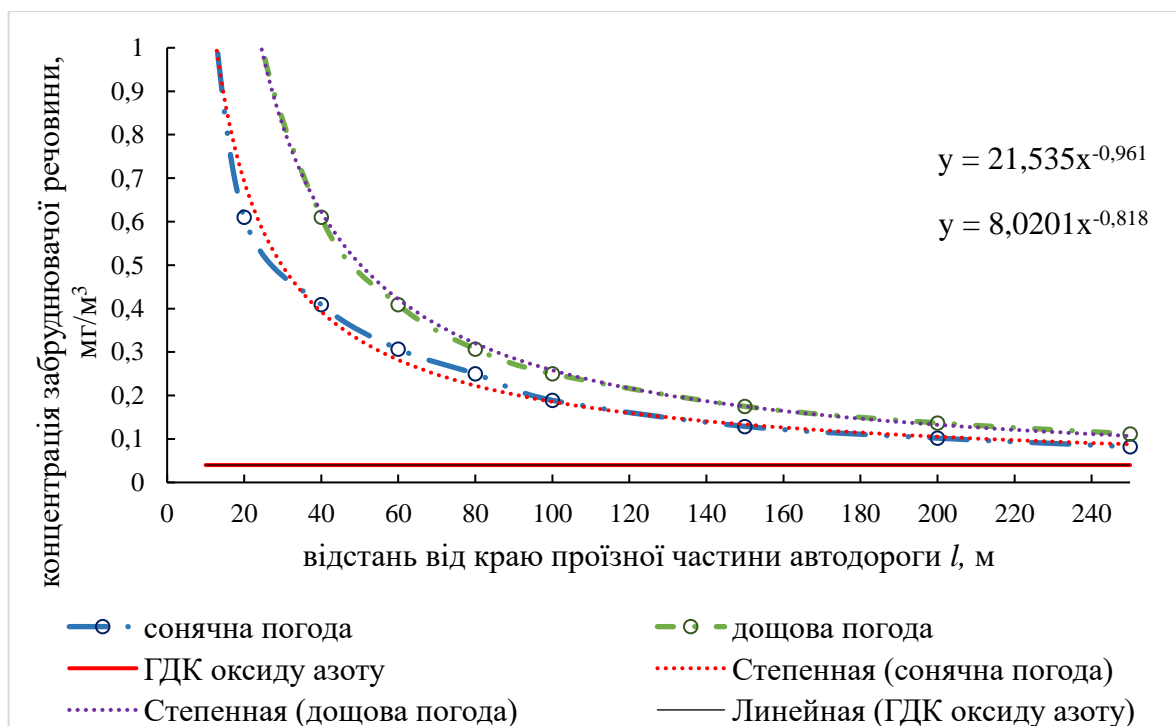


Рис. 4.19. Графік забруднення придорожньої смуги оксидом азоту від краю проїзної частини в сонячну й дощову погоду

Забруднення придорожньої смуги оксидом вуглецю від краю проїзної частини досягає нормативного значення  $3,0 \text{ мг/м}^3$  на відстані 130 м в сонячну погоду і зростає до 175 м в дощову (рис. 4.17). Залежність зниження концентрації речовини від

відстані хоч і носить ступеневий характер, але дозволяє в наближенні розглядати її як лінійну, що в цілому полегшує розрахунок такої залежності.

Розподіл забруднення вуглеводнями досягає норми  $1,5 \text{ мг/м}^3$  на відстанях 20 м і 36 м відповідно (рис. 4.19). І слід звернути особливу увагу на забруднення діоксидами азоту (рис. 4.19). Для визначення відстані поширення оксиду азоту від магістралі при якій досягається норма використовуємо методом інтерполяції. Розрахункове значення відповідає 700 м при якій  $\text{ГДК} < 0,04 \text{ мг/м}^3$ .

Згідно [165] відстань від магістралі зовнішнього краю проїзної частини автодороги до житлових будівель має бути  $l = 50 \text{ м} \div 80 \text{ м}$ , тому визначаємо величину перевищення нормативу ГДК забруднюючих речовин у повітрі населеного пункту у розрахунковій точці на границі житлової забудови.

Фактична концентрація оксиду вуглецю у сонячну погоду, розрахована інтерполяцією ( $C_{CO} = 7,097 \text{ мг/м}^3$ ) на відстані  $l = 50 \text{ м}$  від краю проїзної частини автодороги до житлової забудови перевищує  $\text{ГДК}_{CO} = 3 \text{ мг/м}^3$ .

Перевищення оксиду вуглецю у сонячну погоду:

$$\Delta_{CO}^{50} = \frac{(C_{CO}^{40} + C_{CO}^{60})/2}{\text{ГДК}_{CO}} \cdot 100\% = \frac{10,138}{3} \cdot 100\% = 338\%$$

Перевищення оксиду вуглецю у дощову погоду:

$$\Delta_{CO}^{50} = \frac{C_{CO}^{50}}{\text{ГДК}_{CO}} \cdot 100\% = \frac{7,097}{3} \cdot 100\% = 236\%$$

Фактична концентрація вуглеводнів у сонячну й дощову погоду ( $C_{C_nH_m}^{50}$  дорівнює 0,74 і 1,063  $\text{мг/м}^3$  відповідно) не перевищує  $\text{ГДК}_{C_nH_m} = 1,5 \text{ мг/м}^3$ .

Перевищення оксиду азоту в сонячну погоду:

$$\Delta_{NO_x}^{50} = \frac{(C_{NO_x}^{40} + C_{NO_x}^{60})/2}{\text{ГДК}_{NO_x}} \cdot 100\% = \frac{0,358}{0,04} \cdot 100\% = 895\%$$

Перевищення оксиду азоту в дощову погоду:

$$\Delta_{NO_x}^{50} = \frac{(C_{NO_x}^{40} + C_{NO_x}^{60})/2}{\text{ГДК}_{NO_x}} \cdot 100\% = \frac{0,509}{0,04} \cdot 100\% = 1272\%$$

Фактична концентрація оксиду вуглецю у сонячну погоду, ( $C_{CO} = 4,866 \text{ мг/м}^3$ ) на відстані  $l = 80 \text{ м}$  від краю проїзної частини автодороги до житлової забудови перевищує  $\text{ГДК}_{CO} = 3 \text{ мг м}^3$ .

Перевищення оксиду вуглецю у *сонячну* погоду:

$$\Delta_{CO}^{80} = \frac{C_{CO}^{80}}{\text{ГДК}_{CO}} \cdot 100\% = \frac{4,866}{3} \cdot 100\% = 162,2\%$$

Перевищення оксиду вуглецю у *дощову* погоду:

$$\Delta_{CO}^{80} = \frac{C_{CO}^{80}}{\text{ГДК}_{CO}} \cdot 100\% = \frac{6,083}{3} \cdot 100\% = 202\%$$

Фактична концентрація вуглеводнів у сонячну й дощову погоду ( $C_{C_nH_m}^{80}$  дорівнює 0,51 и 0,63  $\text{мг/м}^3$  відповідно) не перевищує  $\text{ГДК}_{C_nH_m} = 1,5 \text{ мг/м}^3$ .

Перевищення оксиду азоту в *сонячну* погоду:

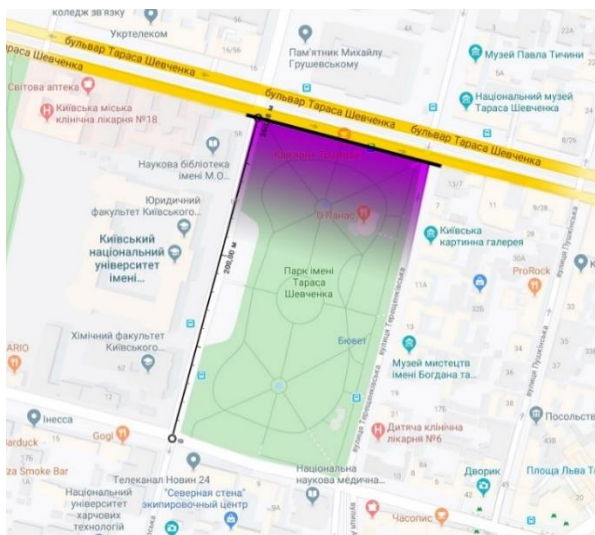
$$\Delta_{NO_x}^{80} = \frac{C_{NO_x}^{80}}{\text{ГДК}_{NO_x}} \cdot 100\% = \frac{0,25}{0,04} \cdot 100\% = 625\%$$

Перевищення оксиду азоту в *дощову* погоду:

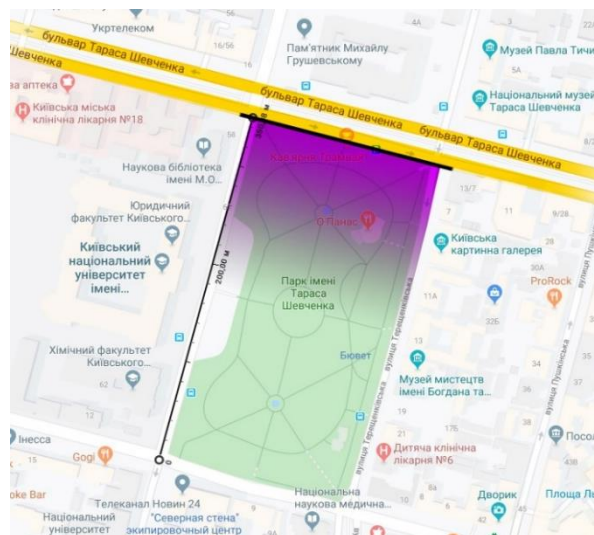
$$\Delta_{NO_x}^{80} = \frac{C_{NO_x}^{80}}{\text{ГДК}_{NO_x}} \cdot 100\% = \frac{0,307}{0,04} \cdot 100\% = 767,5\%$$

За даними спостережень за розподілом деяких домішок серед міської забудови було отримано, що поблизу великих автомагістралей у денний час біля житлових будинків на рівні 25÷30 м концентрація забруднень практично така ж, що і на висоті 1,5÷2 м. Значення реєстрованих концентрацій на нижніх рівнях міського каньйону до 2 м значно вище, ніж значення на верхніх рівнях. Наведено градієнтний розподіл забруднень території від магістралі (рис. 4.20), де видно, що відбувається забруднення усій території парку.

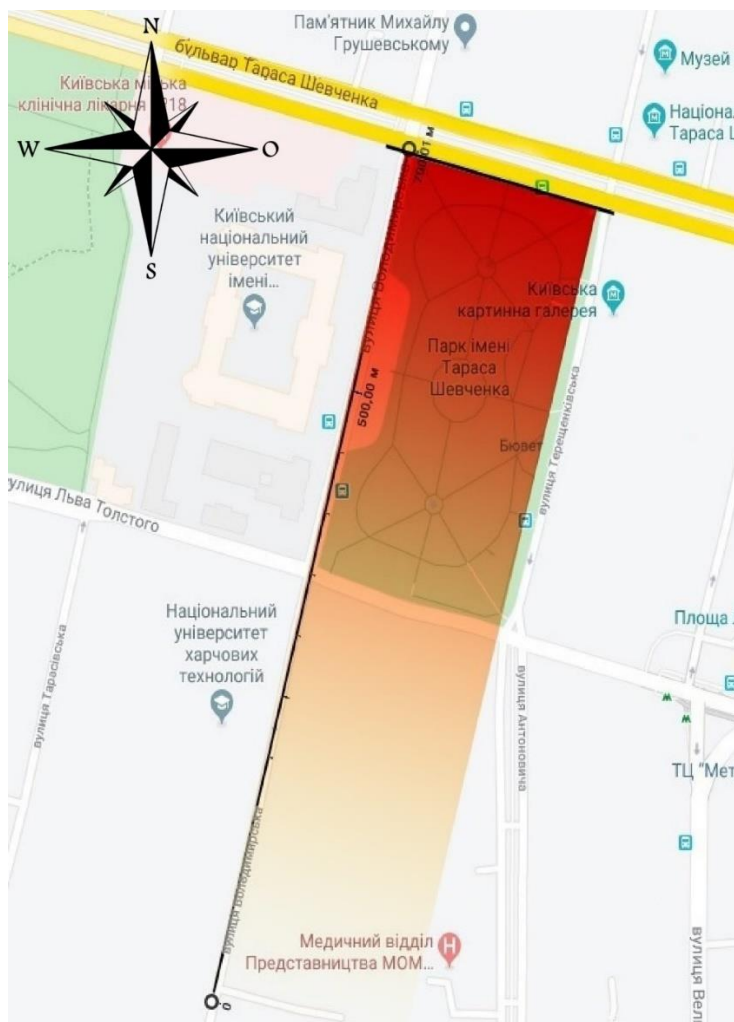
Таким чином, серед забруднюючих речовин найбільш небезпечним для житлової забудови є оксиди азоту, особливо у дощову погоду, коли їх фактичний вміст перевищує гранично допустиму концентрацію ( $\text{ГДК}_{NO_x}$ ) у 7,6 разів. На думку багатьох дослідників факт зниження концентрації кисню супроводжується зростанням концентрацій діоксиду вуглецю та оксидів азоту.



а)



б)



в)

Рис. 4.20. Градієнтний розподіл забруднень від магістралі:  
 а) оксидами вуглецю в сонячну погоду;  
 б) оксидами вуглецю в дощову погоду;  
 в) оксидами азоту в сонячну погоду.

Для зниження шкоди природному середовищу через евтрофікації водою, підкислення ґрунтів, утворення приземного озону і виснаження стратосферного озонного шару Європейська економічна комісія ООН підписала Софійську угоду і

Гетеборзький протокол [226] про скорочення антропогенних викидів оксидів азоту. Виникає необхідність застосовувати різні методики організації захисту для нормального функціонального розвитку міст, зниження рівня впливу агресивного середовища на природний ландшафт. Тому захисні заходи щодо зниження концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі будемо обирати саме за цією речовиною.

#### 4.2.4 Визначення санітарно-захисної території-зони парку Т.Г. Шевченка.

Аналізуючи проведені розрахунки концентрацій забруднюючих речовин, вироблених автотранспортом на магістральних дорогах визначенні санітарно-захисної території-зони згідно методики [227]. Розрахунки проводили на приклади розсіювання оксидів

вуглецю. Розміри  $l$  зони визначали за формулою:

$$l=L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (4.4)$$

де  $L_0$  – розрахунковий розмір ділянки місцевості в даному напрямі, де концентрація шкідливих речовин перевищує рівень ГДК;

$P_0$  – середньорічна повторюваність напрямків вітрів у залежності від кількості румбів;

$P$  – середньорічна повторюваність напрямків вітрів одного румба за кругової рози вітрів (табл. 2.10).

За восьми румбової рози вітрів:

$$P_0 = \frac{100}{8} = 12,5\% \quad (4.5)$$

Для оксиду вуглецю ( $CO$ )  $L_0 = 130$  м (с.п.), 175 м (д.п.).

Таблиця 4.9

#### Середньорічна повторюваність напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів

Р, %	Пн	ПнСх	сх	ПдСх	Пд	Пдз	З	ПНЗ
рік	13	11	12	13	7	10	16	18
липень	18	10	5	7	9	10	21	20
січень	12	7	10	15	13	15	17	11



Проводимо розрахунок розмірів ділянок місцевості в напрямку вітрів  $l$  для оксиду вуглецю, використовуємо  $L_0 = 130$  м, 175 м – сонячна погода (рік)

$$l_{\text{п}} = 130 \cdot \frac{13}{12,5} = 135,2 \text{ м}$$

Всі розрахунки наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

**Розміри ділянок місцевості в напрямку вітрів**

$l$ , м	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
рік (с.п.)	135,2	114,4	124,8	135,2	72,8	104,0	166,4	187,2
рік (д. п.)	182,0	154,0	168,0	182,0	98,0	140,0	224,0	266,4
липень (с.п.)	187,2	104,0	52,0	72,8	93,6	104,0	218,4	208,0
липень (д. п.)	266,4	140,0	70,0	98,0	126,0	140,0	294,0	280,0
січень (с.п.)	124,8	72,8	104,0	156,0	135,2	156,0	176,8	114,4
січень (д. п.)	168,0	98,0	140,0	210,0	182,0	210,0	238,0	154,0

За отриманими даними (табл. 4.10) будуємо «Розу вітрів» забруднень (рис. 4.21), звідки бачимо, що навантаження забрудненнями в дощову погоду значно зростає, тобто площа поширення збільшується, при цьому форма розподілу залишається однаковою.

Безумовно, виконані розрахунки є орієнтовними (оскільки не враховують багатьох факторів), і справжній розподіл концентрацій відпрацьованих газів у парку відпочинку буде дещо іншим з огляду існуючих зелених насаджень, мінливості напрямку вітру, фонових концентрацій токсикантів, близькості інших автошляхів та ін., але таке моделювання ілюструє якісну ситуацію забруднення досліджуваної ділянки токсичними газами, тому може лягти в основу вирішення завдань, пов'язаних з покращенням стану атмосферного повітря в зоні відпочинку або скупчення міського населення шляхом перерозподілу транспортних потоків і впровадженням сучасних засобів благоустрою територій та очищення повітря спеціальним обладнанням особливо тих територій, де значно перевищено значення ГДК.

Таким чином, наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг з урахуванням «рози вітрів» у сонячну та дощову погоду та певні санітарно-захисні зони свідчать про велику шкоду здоров'ю людини, оскільки йде значне привішення ГДК на примагістральних територіях.

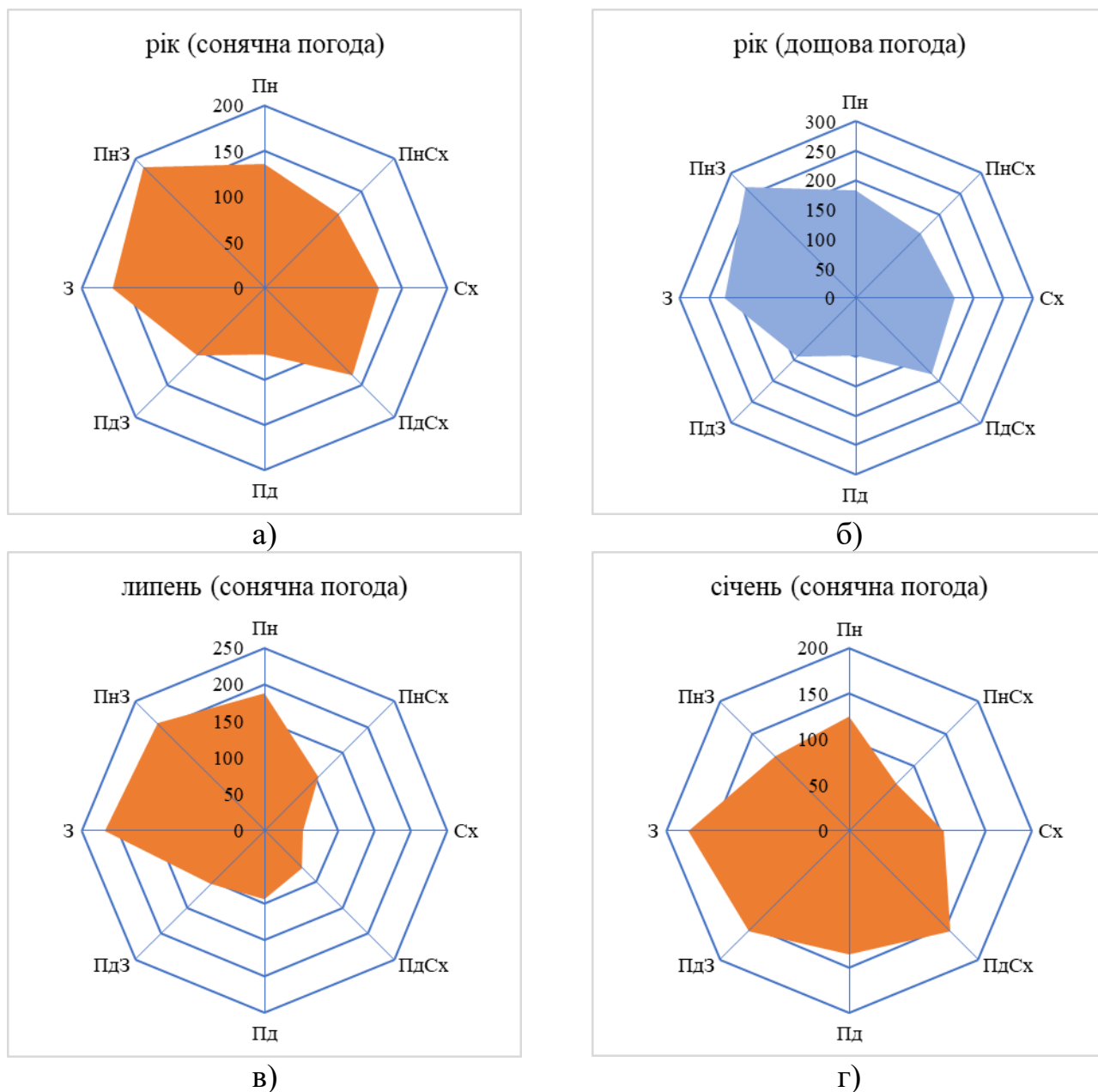


Рис.4.21. Ділянки місцевості в напрямку вітрів, де концентрація оксиду вуглецю (СО) перевищує рівень ГДК.

а) за рік (с.п.); б) за рік (д.п.); в) липень (с.п.); г) січень (с.п.).

Підтверджено, що найбільш небезпечними для людини в умовах процесів урбанізації є оксиди азоту, тому, що у перших етапах отруєння майже непомітно

проходить безсимптомно. Дратує передусім органи дихання і може призвести до серйозних наслідків для здоров'я. Визначено необхідність додаткових захисних заходів з зниженням концентрації забруднюючих речовин та очищення повітря, спеціальним обладнанням, особливо примагістральних територій, де значно перевищуються значення ГДК.

#### **4.3 Формування моделі забруднення оксидами азоту примагістральних територій міста**

Для управління якістю атмосферного повітря в місті велике значення має вивчення формування екстремально високого забруднення атмосфери, створення моделей забруднення територій міста - залежностей концентрації викидів від інтенсивності руху транспортних засобів. Визначити внесок автотранспортних джерел викидів дозволяє попередня оцінка забруднення атмосферного повітря, за допомогою якої можна змодельовати конкретну ситуацію і дати прогностичні оцінки стану забруднення атмосферного повітря, а також визначити шляхи поліпшення екологічних характеристик автотранспортних засобів, розвитку вулично-дорожньої мережі міст та ін. факторів [214, 219].

Очевидно, що ступінь загазованості повітря міст знаходиться в складній залежності від численних факторів, що стосуються як джерел викидів, так і планувальної ситуації, організації руху, метеорологічних умов і ін. Моніторинг забруднення атмосферного повітря [228], а саме твердими частинками ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) і газами (оксидів азоту  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ) поблизу перехресть в міських районах і оцінка часток  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  и  $PM_1$  з урахуванням метеорологічних умов та інтенсивності руху виявили, що кільцеві перехрестя мають особливі геометричні параметри і маршрут руху транспортних засобів, які можуть вплинути на генерацію та розповсюдження шкідливих викидів.

В роботі [229] вимірювання проводилися на чотирьох перехрестях міста. Статистично значимі відмінності були виявлені між ділянками відбору проб для всіх концентрацій забруднюючих речовин, крім  $NO_2$ . Найвищі масові концентрації  $PM_{10}$ , вуглецю і поліциклічного ароматичного вуглеводню спостерігалися на півдні міста в

місцях з найвищою щільністю руху. На всіх ділянках вимірювання найвища концентрація пов'язаних з частинками забруднюючих речовин в основному реєструвалася вранці і вдень. Найвищий ризик для здоров'я був отриманий на півдні міста, де він був оцінений як значний.

Авторами [230] зроблено висновок, що, зокрема, міське населення, яке проживає в вуличних каньйонах з інтенсивним дорожнім рухом, має потенційні ризики для здоров'я. Це пов'язано з впливом підвищених в два рази концентрацій в результаті викидів вихлопних газів в  $PM_{2.5}$  і в 2-3 рази для важких металів в результаті зносу гальм і шин, а також вторинного дорожнього пилу  $PM_{10}$ . Відзначено, що управління якістю повітря на місцевому рівні може бути зосереджено місцевими заходами щодо вуличних каньйонів з інтенсивним дорожнім рухом.

В роботі [231], на підставі проведеного аналізу даних стосовно забруднення оксидами азоту транспортними потоками на магістральних дорогах м. Києва визначено, що дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень, дистанційного зондування та розрахункові значно відрізняються, тому необхідний додатковий контроль в точках близьких до магістральних вулиць. Напрямок та швидкість руху вітру має велике значення при вирішенні питань розміщення магістральних трас в плані міста. Якщо ширина забруднення придорожньої смуги забруднюючою речовиною перетинає границю житлової забудови, варто передбачити додаткові захисні заходи.

Поєднання  $NO$  і  $NO_2$  прийнято називати оксидами азоту ( $NO_x$ ). У вихідних газах монооксид азоту  $NO$  становить 95-99% загального викиду  $NO_x$ , в той час як вміст більш токсичного діоксиду азоту  $NO_2$  не перевищує 1-5%. Після викиду димових газів в атмосферу, під впливом природних факторів, велика частина  $NO$  згодом окислюється до  $NO_2$  з озоном та іншими окислювачами.

Досліджуючи залежність концентрації діоксиду азоту від швидкості вітру та інтенсивності руху автомобілів, автори [232] виявили, що при швидкості вітру до 1,5 м/с концентрації  $NO_2$  прямо пропорційні інтенсивності руху. З подальшим збільшенням швидкості вітру (2 ÷ 2,5 м/с) на утримання цього газу в повітрі помітно

позначається фактор розсіювання, що виражається в зміні кута нахилу кривої концентрацій.

Найвищі значення концентрацій  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  зареєстровані в транспортних тунелях [233], зі зростанням концентрацій діоксиду вуглецю йде зниження концентрації кисню. На думку дослідників, цей факт є свідченням порушення відновлювальних властивостей навколишнього середовища.

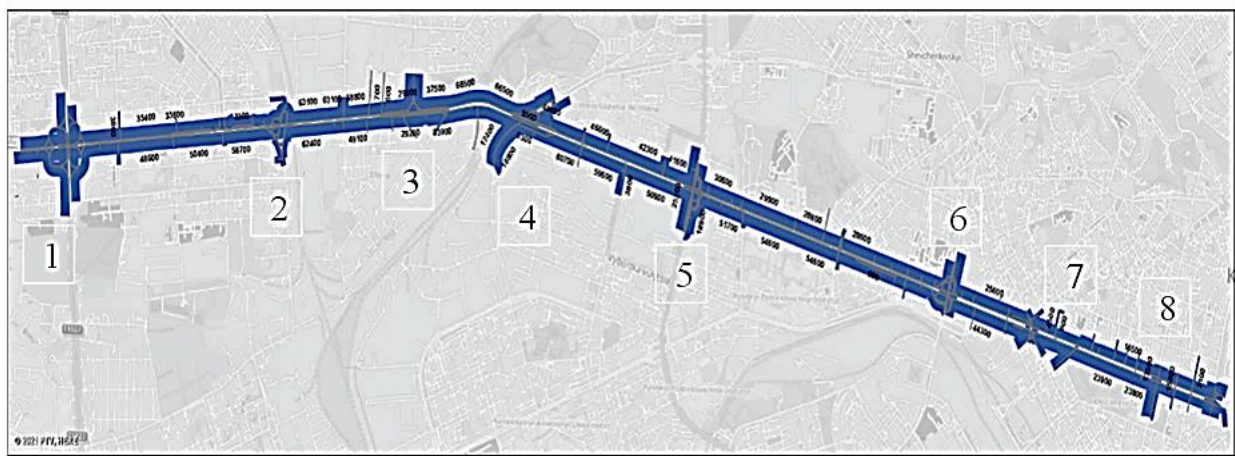


Рис. 4.22. Вузли максимальної концентрації транспортних потоків ділянки магістрального напрямку проспект Перемоги – бульвар Т. Шевченка у м. Києві

Одним із інструментів стратегічного транспортного планування, який дозволяє здійснювати обґрунтування та прийняття ефективних і відповідальних проектних рішень у сфері транспорту та інфраструктури є транспортна модель міста. Транспортні моделі, побудовані на сучасних інформаційних технологіях представляють собою наймогутніші обчислювальні програмні комплекси, які на

основі функціонально-просторових характеристик міста в сукупності з усіма наявними даними про транспортний попит і пропозицію розраховують найімовірніший розподіл транспортних і пасажирських потоків по вулично-дорожній мережі [234 ÷ 235].

Таблиця 4.11

**Інтенсивність руху транспортних засобів в межах основних вузлів  
магістрального напрямку проспект Перемоги – бульвар Т. Шевченка у м.  
Києві**

№п/п	Вузол	Принцип організації руху в межах вузла	Сумарна інтенсивність вхідних транспортних потоків, прив. од./добу
1	Проспект Перемоги – Кільцева дорога	Перетин в різних рівнях	192600
2	Проспект Перемоги – вул. Святошинська	Перетин в різних рівнях	140300
3	Проспект Перемоги – вул. Данила Щербаківського	Перетин в різних рівнях	164300
4	Проспект Перемоги – вул. Дегтярівська – вул. М. Василенка	Перетин в різних рівнях	158200
5	Проспект Перемоги – вул. В. Гетьмана – вул. О. Довженка	Перетин в різних рівнях	147600
6	Проспект Перемоги – Повітрофлотський проспект	Перетин в різних рівнях	174200
7	Проспект Перемоги – вул. Саксаганського – вул. Дмитрівська	Регульований перетин	113500
8	Бульвар Т. Шевченка – вул. Хрещатик – вул. Басейна	Регульований перетин	104700

На основі транспортної моделі міста Києва встановлено, що магістральний напрямок проспект Перемоги – бульвар Тараса Шевченка є одним із найнавантажениших транспортних коридорів міста. Визначено, що інтенсивність руху транспортних засобів на різних його ділянках коливається в межах 15 ÷ 63 тис. приведених автомобілів на добу в одному напрямку. Тому для створення моделі

забруднення оксидами азоту приміагістральних територій міста було обрано цій транспортних коридорів

Місцями максимальної концентрації транспортних потоків є перетини міських магістралей [237÷240]. На основі результатів транспортного макромодельовання на ділянці магістрального напрямку проспект Перемоги – бульвар Т. Шевченка в м. Києві виділили вісім вузлів (рис.4.22) з найбільшою інтенсивністю руху транспортних засобів (табл.4.11).

Процентне відношення розподілу різних видів транспорту в межах перетину проспект Перемоги – вул. Саксаганського – вул. Дмитрівська (вузол №7) показує, що основним джерелом забруднення території є авто, тобто категорія М (рис.4.23). При переході до перетину проспект Перемоги – Кільцева дорога (вузол №1) зростає кількість транспортних засобів категорії N, але при цьому сумарний відсоток категорій М і N залишається в тому ж діапазоні 78-85%. Результати проведених обстежень показали, що при високій щільності та швидкості руху 30 км/год, інтенсивність руху транспорту по одній смузі становить 1500-1600 авт/год, що іноді навіть перевищує планову максимальну завантаженість.

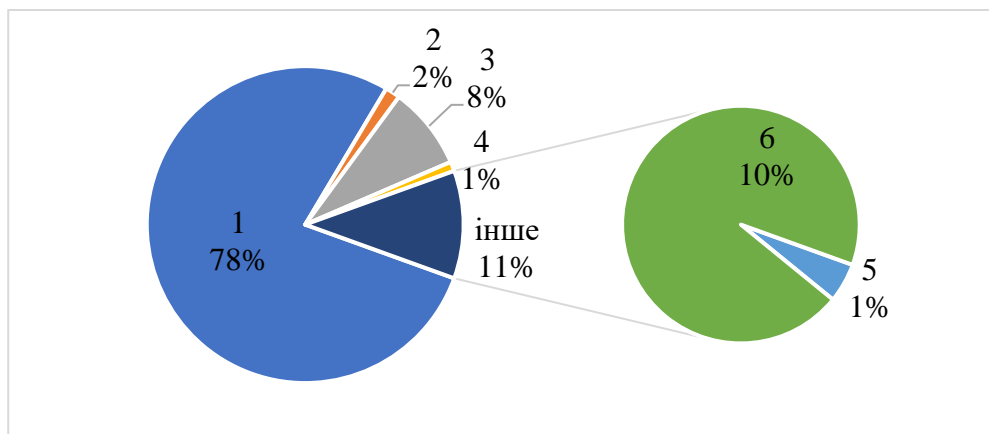
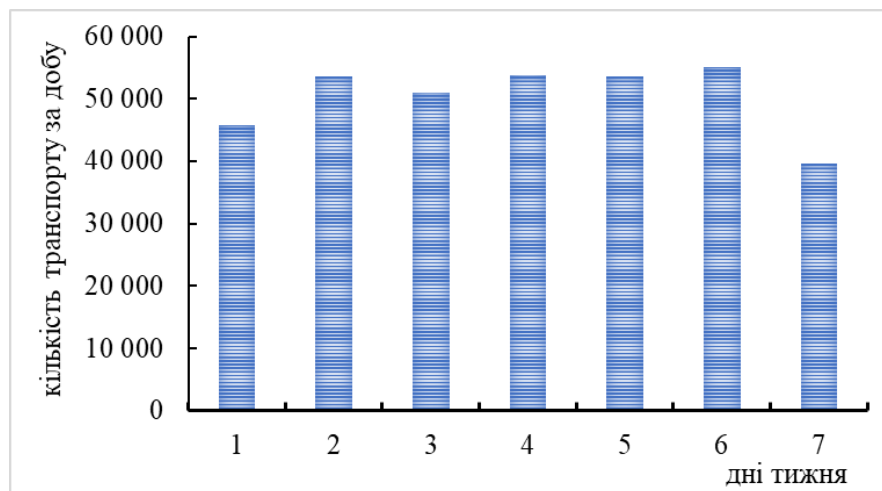


Рис.4. 23. Процентне відношення видів транспорту в межах транспортних вузлів м. Києва: 1 - легковий автомобіль; 2 – вантажівка; 3 – автобус; 4 – мотоцикл; 5 – велосипед; 6 – фургон.

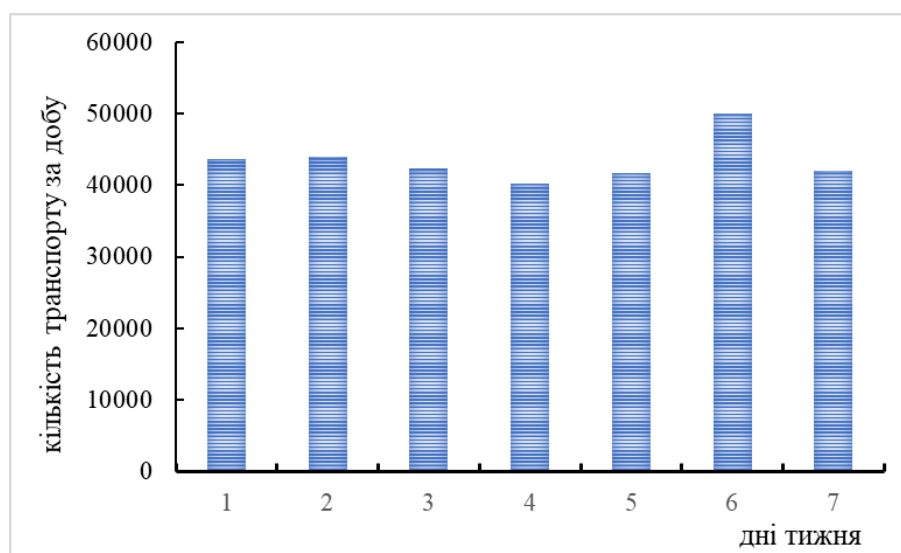
Аналіз зміни обсягу добового трафіку за тижневий період показав, що навантаження в усі дні на всіх вузлах магістрального напрямку йде практично рівномірно (рис.4.24) та складає 40÷50 тис. приведених авто на добу. Спостерігається незначне зниження інтенсивності трафіку у вихідні дні.



Розподіл кількості транспорту протягом доби (рис. 4.25) показує різкий сплеск о восьмій годині ранку до 3 тисяч і потім до 19 години коливається від 2000 до 3000 одиниць. У цілому, підтверджується статистичні дані, що для добової зміни трафіку характерні максимуми в ранкові та вечірні години.



а)



б)

Рис. 4.24. Зміна трафіку за тиждень в межах в вузлів: а) №7, б) №6 на магістральному напрямку проспект Перемоги – бульвар Тараса Шевченка у м. Київ

Відповідно до загальних положень теоретичної моделі методика архітектурно-містобудівного забезпечення екологічної безпеки розселення повинна бути доповнена фінальною оцінкою ефективності прийнятих рішень з урахуванням можливої шкоди природі, еколого-економічної ефективності і потенційної конфліктності. На основі отриманих даних трафіку на магістральному напрямку



проспект Перемоги – бульвар Тараса Шевченка проведено розрахунок [241] значень питомих викидів  $NO$  для кожного виду палива в режимі розгону.

Витрати бензину та дизельного палива визначаються за формулою (4.6):

$$m_{ikpv} = a + b \cdot V + c \cdot V^2 + d \cdot V^3 + e \cdot V^4 \quad (4.6)$$

де  $V$  – швидкість; де  $a, b, c$  - коефіцієнти регресії приймають відповідно до [14].

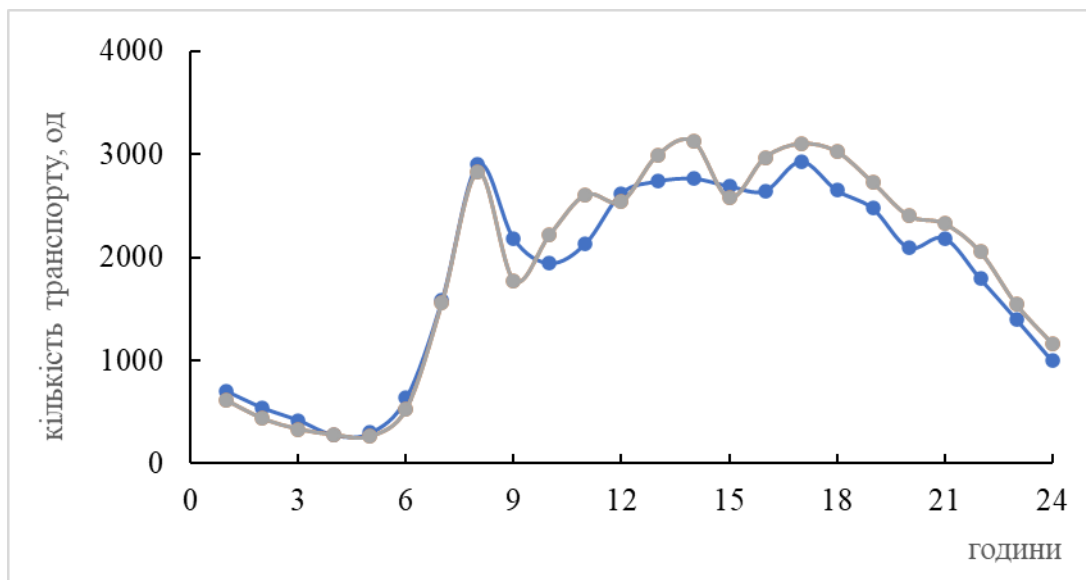


Рис. 4.25. Зміна трафіку за добу в межах вузлів 6,7 на магістральному напрямку проспекту Перемоги – бульвару Тараса Шевченка у м. Києві

Питомі викиди забруднюючих речовин  $NO_x$  для діапазонів швидкостей (від 0 до 20, 30, 40, 50, 60) км/год, визначають за формулою (4.7), мг/с:

$$m'_{ikpv} = \frac{1}{3600} \cdot m_{ikpv} \cdot V \cdot k_{ri} \quad (4.7)$$

де  $k_{ri}$  - коефіцієнт впливу режиму розгону на питомий викид  $i$ -тої речовини. Даний коефіцієнт розраховують за формулою (4.8). Результати розрахунку наведено в табл.4.12:

$$k_r = a + b \cdot V_r + c \cdot V_r^2, \quad (4.8)$$

де  $a, b, c$  - коефіцієнти регресії приймають відповідно до [200];  $V_r$  – задана швидкість.

Проведені розрахунки питомих викидів  $NO_x$  ( $m'_{ikpv}$ , мг/с) у відпрацьованих газах транспортних засобів для різних видів палива (табл.4.13) показали, що максимальний обсяг викидів оксидів азоту приходить на зріджений нафтовий газ та стиснений природний газ.

Розрахункові значення коефіцієнту  $k_{ri}$  для різних видів палива

Вид палива	Значення коефіцієнту V=50 км/год	
	Категорії транспортних засобів	
	M1, M2, N1	M3, N2, N3
бензин	6,463	20651,670
дизельне паливо	5,300	1,836
стиснений природний газ	6,463	
зріджений нафтовий газ		2,429

Таблиця 4.13

Питомі викиди  $\text{NO}_x$  ( $m'_{ikpv}$ , мг/с) у відпрацьованих газах транспортних засобів для різних видів палива

	M1	M2	M3	NI	N2	N3
бензин	0,0750	0,0892	0,1752	34,0678	0,1801	0,1680
дизельне паливо	0,0197	0,0425	-0,0337	0,03055	0,0725	0,1164
стиснений природний газ			9,4262		7,7069	2,2407
зріджений нафтовий газ	2,3480	2,3480		2,3480		

Масові викиди  $\text{NO}_x$  ( $M_i$ ) в режиму розгону визначали за формулою (4.8):

$$M_i = \frac{1}{3600} \cdot I \cdot \sum_{jk} \frac{(m'_{ikpv} \cdot \gamma_{kpj} \cdot V_r \cdot k_j)}{3,6 \cdot a} \quad (4.8)$$

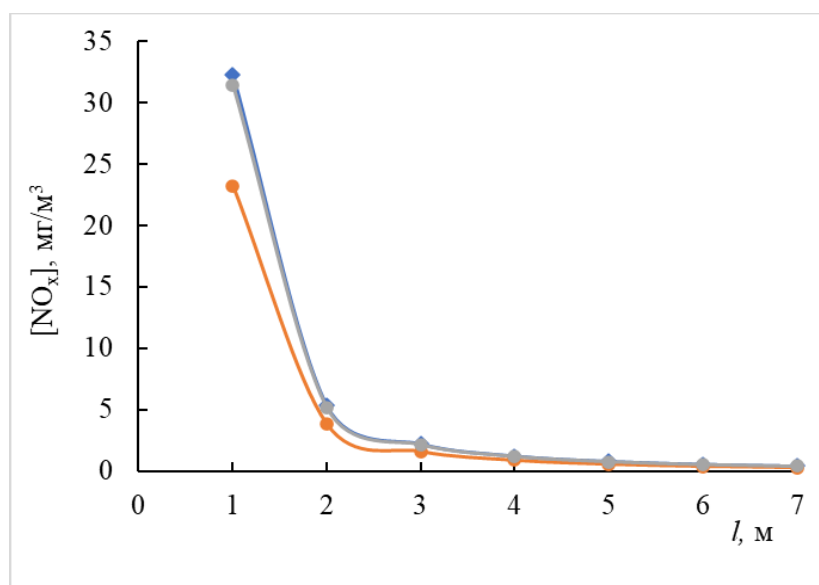
де  $I$  - інтенсивність транспортного потоку, авт/год;

$m'_{ikpv}$  - питомі викиди  $i$ -ї забруднюючої речовини транспортним засобом  $k$ -ї категорії екологічного класу Євро-0, який використовує  $p$ -й вид палива при  $v$ -ій швидкості руху транспортного потоку, мг/км;

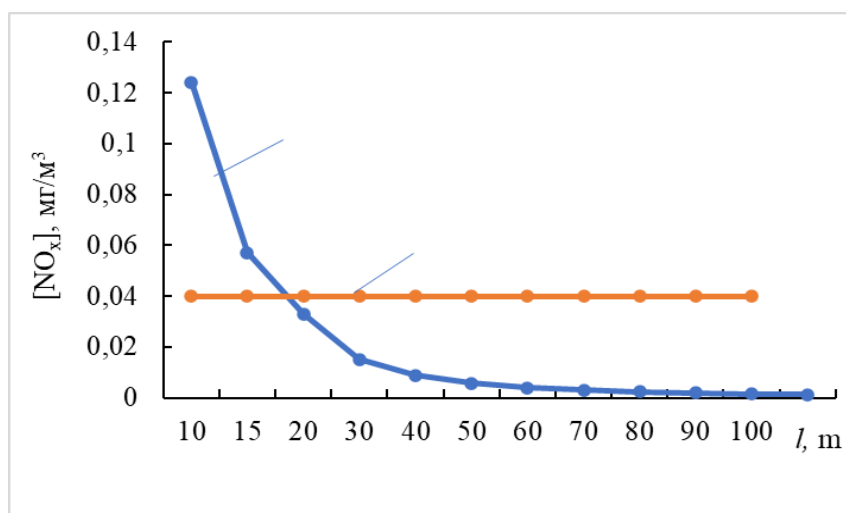
$\gamma_{kpj}$  - частка транспортних засобів  $k$ -ї категорії  $p$ -го виду палива  $j$ -го екологічного класу Євро ( $\sum \gamma_{kpj} = 1$ ).

$k_j$  - коефіцієнт приведення до норми  $j$ -го екологічного класу Євро визначають на основі співвідношення нормативів викидів транспортних засобів  $j$ -го екологічного класу Євро до нормативів викидів Євро-0 мг/с [242].

$a$  - прискорення руху транспортних засобів (для M1, N1 приймають  $1,5 \text{ м/с}^2$ ; для M2, M3, N2, N3 приймають  $1 \text{ м/с}^2$ ).



а)



б)

Рис.4.26. Зміна концентрації оксидів азоту від відстані у вузлах №6,7  
а) територія магістралі, б) приміагістальна територія- крива 1; ГДК<sub>сд</sub> – крива 2.

На перегонах магістралей зі зменшенням швидкості руху автомобільного транспорту викиди оксиду вуглецю збільшуються, а викиди діоксиду азоту знижуються, що обумовлено розходженням у питомих викидах автомобілів при різних режимах роботи двигуна. Зі збільшенням інтенсивності руху, без зміни швидкості руху, викиди забруднюючих речовин зростають.

На прикладі вузла №7 показано як відбувається зміна концентрації оксидів азоту від відстані (рис. 4.26), для порівняння наведена крива ГДК<sub>сд</sub>. Як видно з рис.4.26 концентрація забруднення до норми ГДК<sub>сд</sub> поширюються на відстань 20-25 м і це одне з найменш завантажених перехресть (табл.4.11)

Зі збільшенням інтенсивності руху автотранспортних потоків максимальні приземні концентрації зростають. Зі зменшенням швидкості руху на перегонах автомагістралей концентрації оксидів азоту знижуються в півтора-два рази, в той час як оксиду вуглецю істотно зростають.

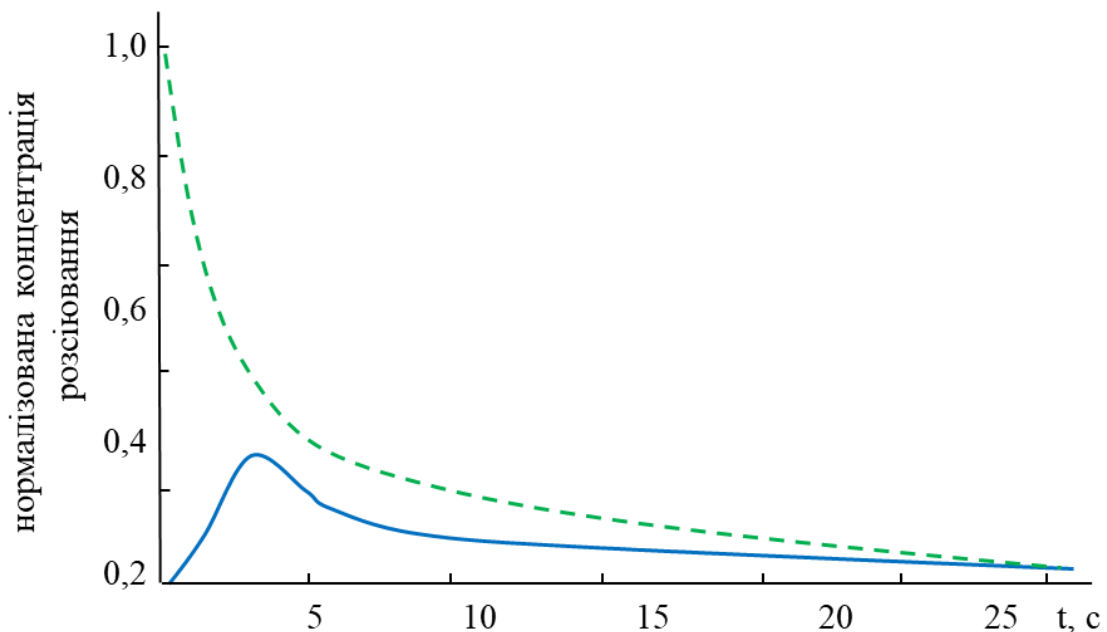


Рис. 4.27. Нормалізована концентрація розсіювання (профіль) автомобільних газових викидів на примагістральній території залежно від часу на висоті 0,5 м - пунктирна лінія; на висоті 2м - суцільна лінія

У зоні регульованих перехресть зі збільшенням довжини черги рівень забруднення атмосферного повітря оксидом азоту зростає в середньому на порядок,

що призводить до перевищення ГДК в десятки разів. Поблизу магістралей і перехресть максимальні концентрації забруднюючих речовин формуються при слабких швидкостях та напрямках вітру під кутом близьким до  $45^\circ$  до магістралей.

Результати натурних випробувань визначення концентрації оксиду азоту від автомобілю (карбюраторний двигун) на різних висотах (формально часу життя) мають великий розкид і дуже залежать від метеоумов. Отримані нормалізовані концентрації розсіювання автомобільних газових викидів на примагістральній території залежно від часу на висоті 0,5 м та 2 м (рис.4.27). Як і очікувалося, на рівні вихлопу газів (0,5 м) у перші секунди значення максимальні та через 4÷5 с вони різко знижуються и далі протягом 25÷30 с поступово набувають фонових значень. У той час на висоті 2 м над вихлопом газів через 3÷5 с досягається максимум концентрації яка становить лише 20%÷25% від максимального значення рівня 0,5 м. Через 10÷20 с досягаються фонові значення. Загалом можна говорити, що ця залежність характерна практично для всіх токсичних викидів автомобіля.

Отримана база даних дозволила розрахувати лінійну модель забруднення оксидами азоту примагістральних територій міста [99], а саме залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності руху транспортних засобів:

$$C = 0,0141 \cdot I - 0,0104, \text{ мг/м}^3 \quad (4.9)$$

Розрахункова модель (рис.4.28) дозволяє формувати динамічну систему екологічного моніторингу атмосферного повітря і прогнозувати екологічно безпечний розвиток розселення в територіальному плануванні, вносити пропозиції відповідних містобудівних заходів, а також може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря примагістральної території.

В цілому слід зазначити, що концентрації будь-яких компонентів автомобільних викидів схильні до великих коливань в залежності не тільки від інтенсивності руху автотранспорту, ширини вулиці, її рельєфу, характеру забудови і від метеорологічних умов.

Таким чином, проведено аналіз даних про наявні джерела забруднення атмосферного повітря в межах магістралей і примагістральної території, а саме: оцінку інтенсивності руху автомобільного транспорту, оцінку обсягу

викидів оксидів азоту, оцінку рівня вмісту оксидів азоту в атмосферному повітрі. Вимірювання показали, що середні концентрації оксидів азоту в місцях інтенсивного антропогенного навантаження - перехресть магістральних вулиць в десятки разів перевищують величини гранично-допустимі концентрації.

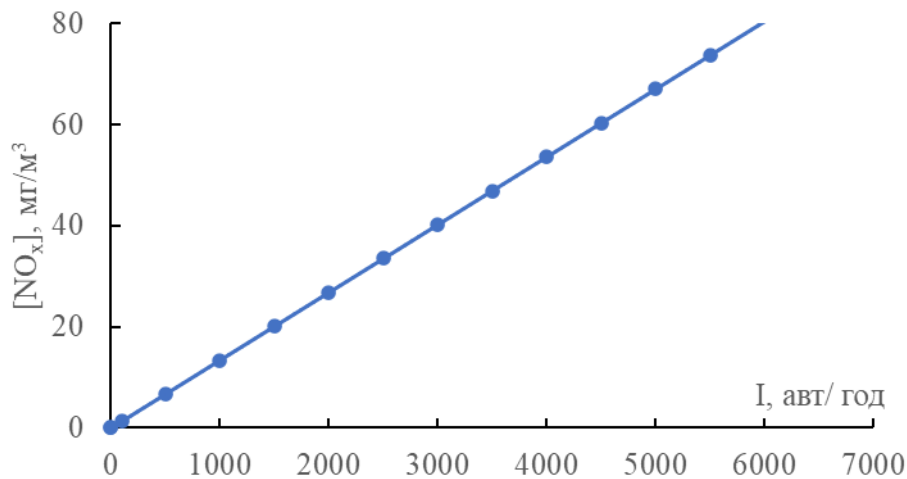


Рис. 4.28. Залежність концентрації викидів оксиду азоту від інтенсивності руху транспорту на магістралях міста

Поблизу магістралей і перехресть максимальні концентрації забруднюючих речовин формуються при слабких швидкостях та напрямках вітру під кутом близьким до 45° до магістралей.

На підставі проведених розрахунків отримана модель забруднення оксидами азоту магістральних територій міста - залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності транспортних засобів, яка може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря.

#### 4.4 Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту

Основна проблема будівництва екологічно чистого міста залежить від основних принципів його побудови, вмісту, зонування екологічних функцій і при цьому залишається необхідність збереження сталого розвитку міста [243, 306].

**Інтенсивність руху транспортних засобів у межах основних вузлів-перехресть у  
Солом'янському районі м. Києві**

Номер вузла	Вузол	Інтенсивність, прив. од./добу	Номер вузла	Вузол	Інтенсивність, прив. од./добу
1	Кільцева дорога - Повітрофлотський проспект	117700	8	вул. Головка - просп. В. Лобановського	58700
2	просп. Любомира Гузара - бульв. Вацлава Гавела	116300	9	вул. Брожка - вул. Кайсарова - просп. В. Лобановського	78000
3	просп. Перемоги - вул. Василенка - вул. Дегтярівська	158200	10	просп. Відрадний - бульв. Вацлава Гавела	44300
4	просп. Перемоги - вул. В. Гетьмана - вул. Довженка	147600	11	вул. Вокзальна - вул. Льва Толстого	45100
5	вул. Борщагівська - вул. В. Гетьмана	123700	12	вул. Протасів Яр - вул. І. Федорова - вул. М. Грінченка	45300
6	Повітрофлотський проп. - Чоколовський бульв. - вул. Народного Ополчення	70000	13	Кільцева дорога - вул. Д. Луценка	97700
7	Повітрофлотський просп. - вул. Солом'янська - вул. В. Липківського	67800	14	Повітрофлотський проспект - вул. Волинська	46100

Концентрації компонентів автомобільного вихлопу схильні до великих коливань залежно від інтенсивності руху автотранспорту, ширини вулиці, її рельєфу,

характеру забудови, а також метеорологічних факторів [244]. Щоб підтримувати екологічні норми, і розвиватися відповідно до вимог сталого розвитку, необхідне не тільки перепланування і будівництво промислової структури, системи міста, але моніторинг, зонування і управління територіями [245].

На підставі моделі забруднення оксидами азоту магістральних територій міста запропоновано провести зонування територій навколо перехресть магістральних доріг міста, а саме:

- зони безпечні, де вміст оксидів азоту менш середньодобових гранично-допустимих концентрацій ( $\text{ГДК}_{\text{сд}}=0,04 \text{ мг/м}^3$ ) [220];
- зони низької безпеки, де вміст оксидів азоту менш максимально разових гранично-допустимих концентрацій ( $\text{ГДК}_{\text{мр}}= 0,4 \text{ мг/м}^3$ );
- зони небезпечні, де рівень вище  $\text{ГДК}_{\text{мр}}$ , потрібен постійний моніторинг і спеціальні очисні споруди.

На прикладі Солом'янського району м. Києва були обрані чотирнадцять перехресть - магістральних вузлів і на основі транспортної моделі визначена інтенсивність руху транспортних засобів на них (табл.4.14, рис.4.29а). Згідно табл.4.14 і рис.1а максимальна кількість транспортних засобів приходить на вузли 3, 4, 5, мінімальна - 10, 11, 12, причому навантаження відрізняється практично в три рази.

Відповідно до кількості автотранспортних викидів забруднення атмосферного повітря в різних вузлах змінюється. Чисельні дослідження показують, що добова динаміка концентрацій забруднювачів в атмосфері міста також тісно пов'язана з інтенсивністю руху автотранспорту. Кількість машин, що в'їжджають в центр міста через вузол 3 з шостої ранку до вісімнадцятої вечора перевищує кількість виїжджаючих (рис. 4.29б). Максимальне навантаження припадає с 8-00 до 11-00.

Отримані дані інтенсивності руху транспортних засобів дозволяють розрахувати вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі придорожного середовища на відстані «х» від осі дороги  $C(x)$  за формулою (4.10) [225]:

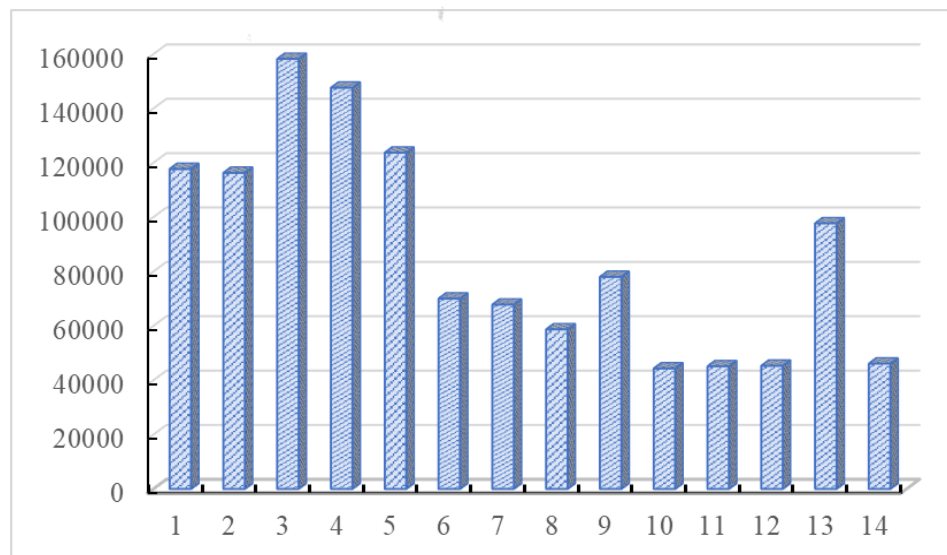
$$C(x)_i = \frac{M_i}{\pi \cdot u \cdot \sin \alpha \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left[-\frac{H^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right]} \quad (4.10)$$



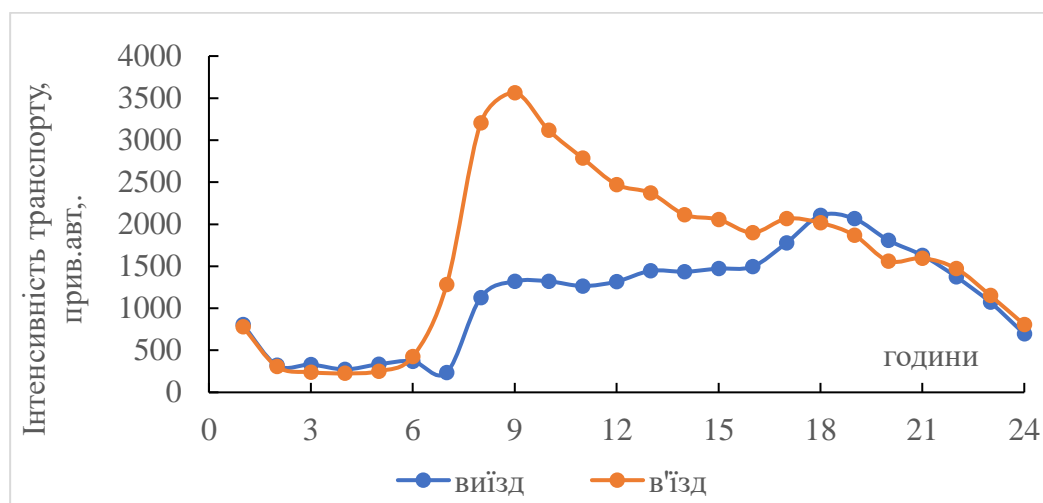
де  $M_i$  - масові викиди  $NO_x$ ,  $u$  - швидкість вітру, 1,25м/с;

$\alpha$  - напрям вітру відносно осі дороги,  $90^0$ ;

$\sigma_y$  та  $\sigma_z$  - дисперсії розподілу домішок в атмосфері відносно осей  $Y$  та  $Z$  (табл.4.15);  $H$  – висота викиду, 0,5м.



а)



б)

Рис.4.29. Інтенсивність руху транспортних засобів у Солом'янському районі м. Київ: а) у вузлах-перехрестях за добу; б) в'їзду-виїзду у вузлі протягом доби

Для визначення дисперсії розподілу домішок в атмосфері у розрахунках використовували швидкість приземного вітру  $< 2\text{м/с}$ , час доби - день та сильну сонячну радіацію, що відповідає класу стійкості А за формулами (4.11, 4.12):

$$\sigma_y = 0,14 \cdot x^{1,004} \quad (4.11)$$

$$\sigma_z = 0,43 \cdot x^{0,9} \quad (4.12)$$

Таблиця 4.15

## Класи стійкості атмосфери

Швидкість приземного вітру. м/с	День			Ніч	
	Сонячна радіація			Тонке суцільне хмарне покриття	
	сильна	помірна	слабка	низька хмарність	хмарність
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	E
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

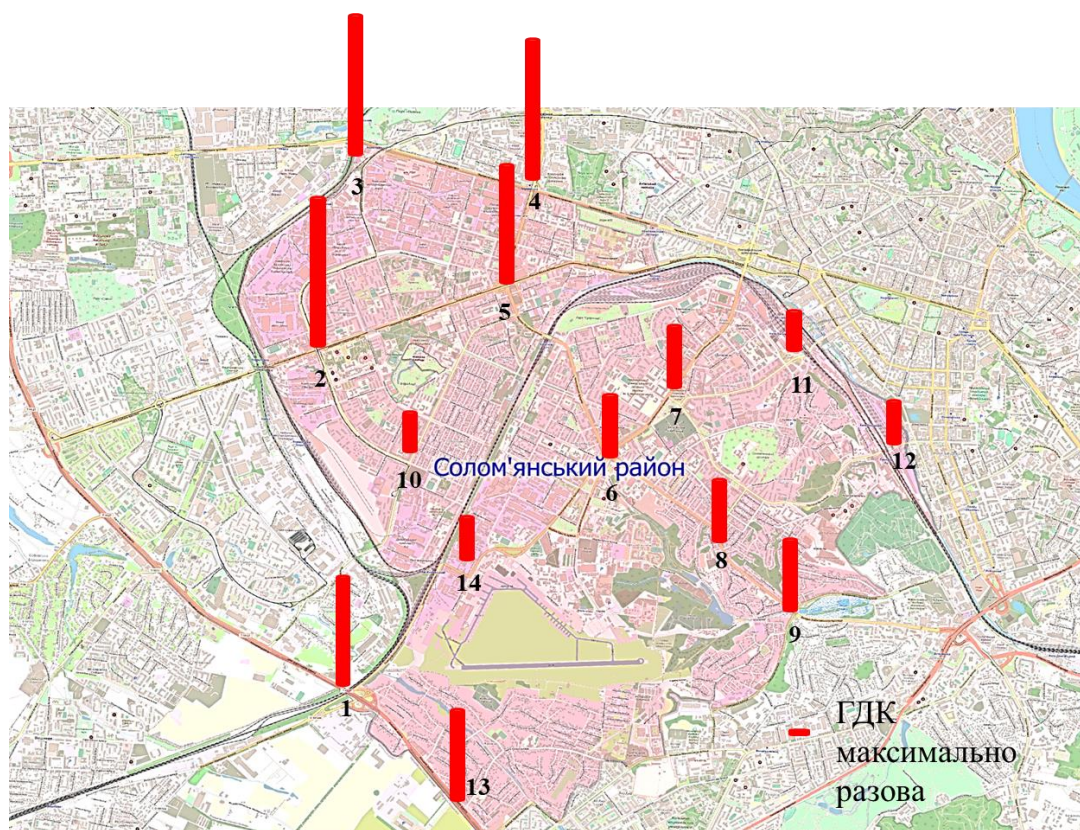


Рис.4.30. Діаграма концентрацій оксидів азоту, розрахованих за формулою 4.10 для вузлів 1-14 Солом'янському районі м. Київ.

Отримані результати представлені на карті Солом'янського району в вузлах перетину доріг (рис.4.30). Висота стовпчика пропорційна кількості викидів оксидів азоту і відповідає трафіку. Як видно з рис.4.30, всі досліджені ділянки мають рівень забруднення, який перевищує рівень гранично допустимої концентрації не тільки середньодобової, але і максимально разової. Зонами найбільшого екологічного неблагополуччя є північна частина району - метро Берестейська, Шулявка, Національний авіаційний університет. Спостерігаються високі рівні забрудненими і на південно-західному напрямку - поблизу Кільцевої дороги. Тут варто зазначити також наявність залізничних колій, що призводить до зростання зважених часток та пилу.

Проведено розрахунок інтенсивності руху транспортних засобів, який необхідний для досягнення гранично допустимих норм щодо викидів оксиду азоту та визначено співвідношення між ними (табл. 4.16.). Як видно з таблиці 4.16 при зміні кута вітру відносно осі дороги до  $45^{\circ}$  і збільшення швидкості приземного вітру відбувається зростання чисельності автотранспорту, яке необхідно для забруднення простору до гранично-допустимих концентрацій.

Таблиця 4. 16

**Співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів і  
гранично допустимих концентрацій оксиду азоту**

Інтенсивність руху $I$ прив.авт/год		
Умови	$\alpha=90^{\circ}$ , $u=1,25\text{ м/с}$	$\alpha = 45^{\circ}$ , $u= 4 \text{ м/с}$
ГДК		
ГДК <sub>с д</sub> = 0,04 мг/м <sup>3</sup>	550	850
ГДК <sub>мр</sub> = 0,4 мг/м <sup>3</sup>	5250	8500

Між концентраціями полютантів і швидкістю вітру є зворотна кореляція, в основі якої лежить розведення газів повітряними масами. Відповідно до таблиці 4. 17 можна всі досліджені вузли розділити на запропоновані вище зони. Якщо розглядати



щодо  $ГДК_{сд}$ , то, на жаль, всі вибрані вузли в Солом'янському районі мають перевищення норми до десяти разів і можна говорити про небезпечну зону.

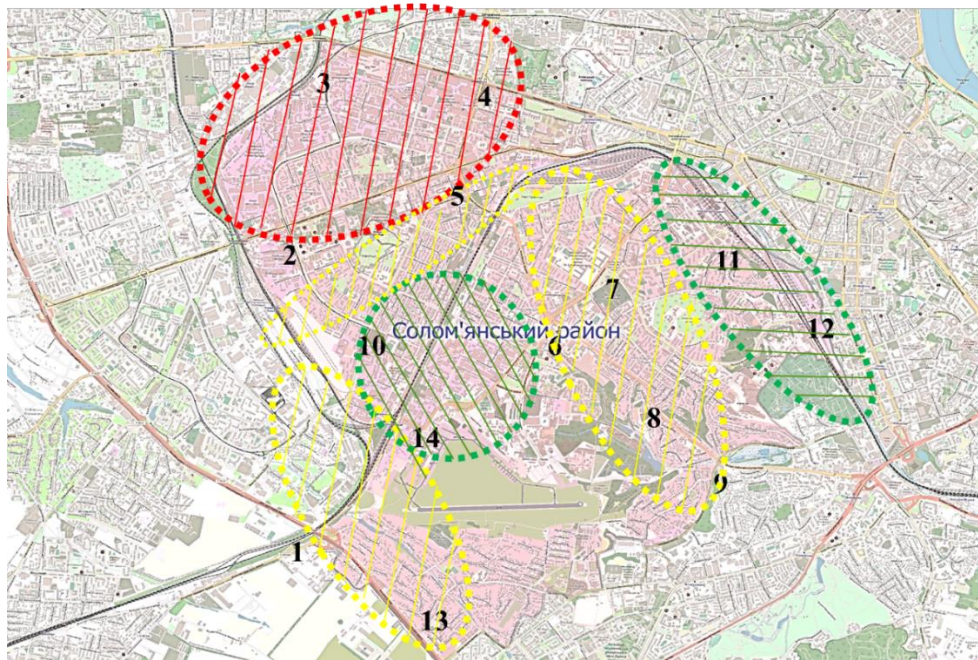


Рис.4.31. Зонування повітряного простору територій Солом'янському районі м. Київ: безпечні зони – зелений колір; зони низької безпеки – жовтий; небезпечні зони – красний

При порівнянні з  $ГДК_{мр}$ , то можна виділити зону небезпечну - 1-5 вузли і зону низької безпеки - 6-14 вузли. Зонування повітряного простору територій можна позначати на мапі різними кольорами: безпечні зони – зелений колір; зони низької безпеки – жовтий; небезпечні зони – красний (рис.4.31) [246].

Слід відмітити, що за супутниковим даним ми отримуємо картину атмосферного забруднення в навколишньому міському середовищі, яке також розподілене нерівномірно не тільки протягом доби, а й протягом усього часу, але вона все ж таки усереднена і не надає повної та мобільної інформації про стан повітря [56].

З метою формалізації підходу при розрахунку інтенсивності забруднення територій транспортними викидами та визначення необхідних параметрів очисної споруди використовували такий показник як пропускна здатність однієї смуги руху. З ДБН [101] відомо, що пропускна здатність однієї смуги руху:

– у різних рівнях загальноміського призначення безперервного руху дорівнює 1650÷1850 прив. авт/год;

– в одному рівні загальноміського призначення безперервного руху та вулиць районного значення –750÷850 прив. авт/год.

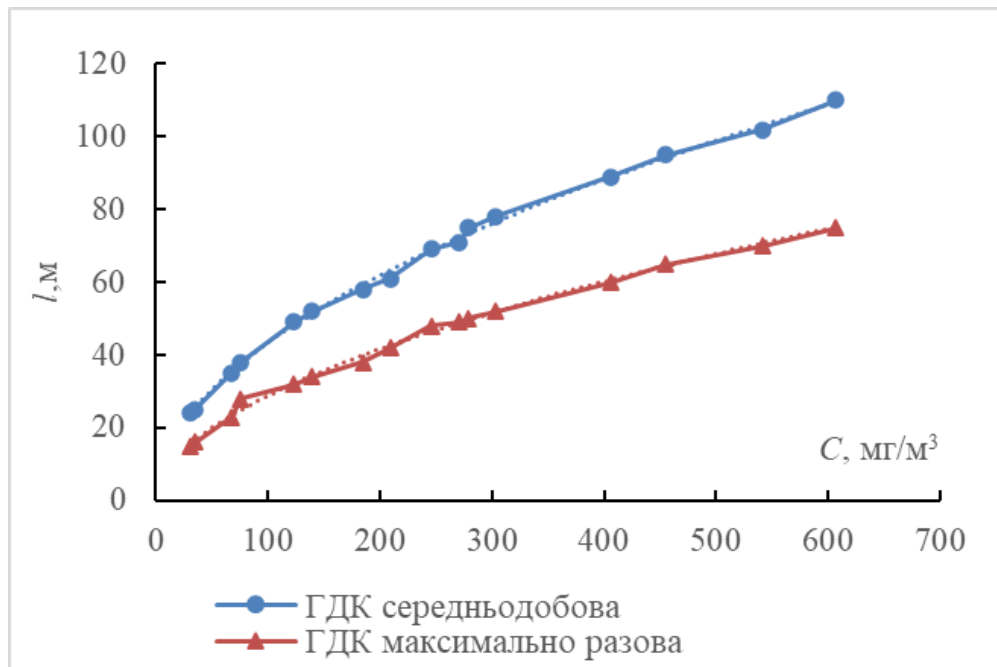


Рис. 4.32. Залежність відстані де досягається ГДК від концентрації оксидів азоту

З урахуванням кількості смуг і максимального завантаження їх отримані максимальні і мінімальні значення відстаней від концентрації оксидів азоту, тобто відстань від джерела викиду до точки в якій за рахунок розсіювання досягаються значення гранично допустимих концентрацій - середньодобових і максимально разових (рис.4.32), які описуються рівняннями:

$$l_{\text{сд}} = 4,1 \cdot C^{0,51} \quad R^2 = 0,9984 \quad (4.13)$$

$$l_{\text{мп}} = 2,5 \cdot C^{0,53} \quad R^2 = 0,9965 \quad (4.14)$$

Забруднення оксидами азоту вздовж магістральних доріг у Солом'янському районі відповідно до рівнянь (4.13-4.14) показує високу щільність (рис. 4.33.). Очевидно, що ця територія повинна розглядатися як небезпечна для проживання і відповідно необхідні додаткові заходи щодо збереження чистого повітря.

Вирішальний вплив на рівень забруднення атмосфери в різних районах міста має напрямок вітру. При оцінці впливу метеорологічних умов на розсіювання забруднюючих речовин необхідно виявляти несприятливі швидкості вітру для різних джерел, що створюють умови максимального забруднення атмосферного повітря або поширення забруднюючих речовин. За методикою [247] розраховані санітарно-захисні зони-території навколо магістральних вузлів, на яких оксиди азоту шкідливо впливають на довкілля й здоров'я людини. Розміри  $l$  санітарно-захисної зони визначали за формулою (4.4) з урахуванням повторюваності напрямку вітру за рік [248].

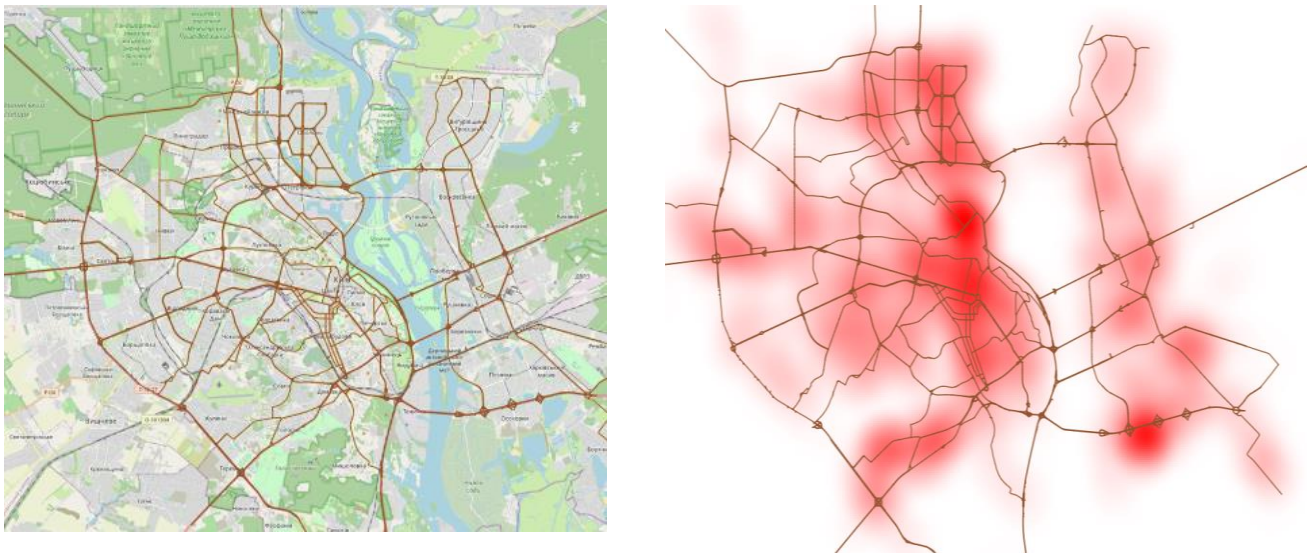


Рис. 4.33. Забруднення оксидами азоту вздовж магістральних доріг у м. Київ (4.13-4.14).

Для розрахунків санітарно-захисної зони за оксидом азоту використовували дві відстані при максимальному й мінімальному трафіку  $L_0 = 110$  м , 24 м за середньодобовою ГДК (рис. 4.34). Тут слід зазначити переважний північно-західний напрямок вітрів, що призводить до збільшення території забруднення, що слід враховувати при визначенні зон посиленого моніторингу та місць розміщення очисних споруд [309, 310]. При мінімальному значенні розрахункового розміру ділянки місцевості, де концентрація шкідливих речовин перевищує рівень ГДК,  $L_0 = 24$  м до 45 м, тобто зростає практично в два рази. Але при максимальному значенні  $L_0 = 110$  м розмір території в північно-західному напрямку зростає до 850 м.

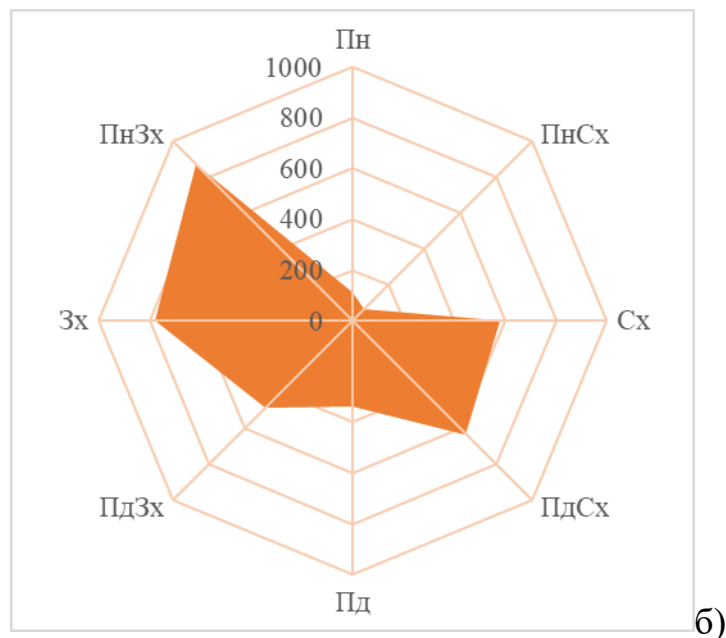
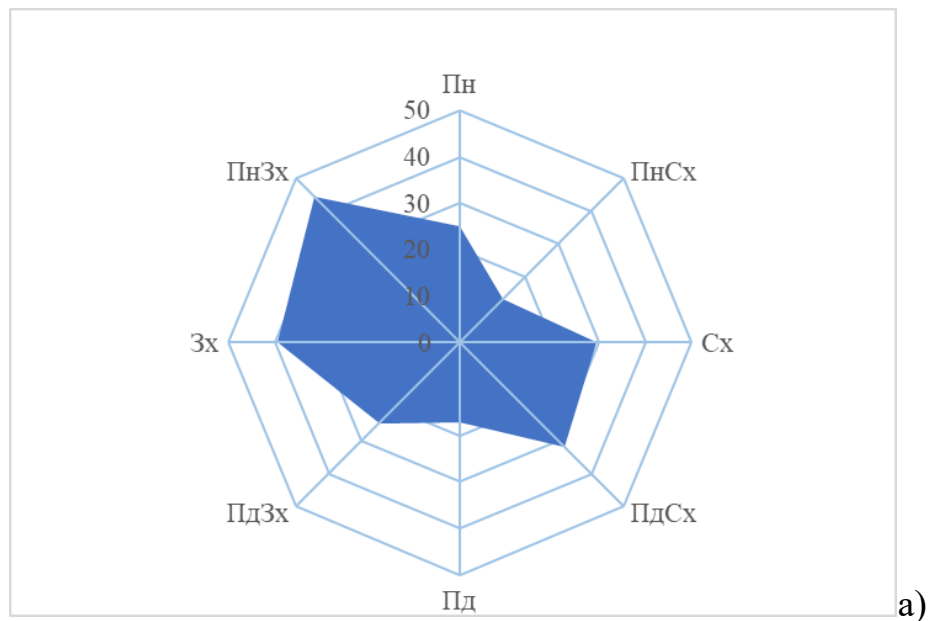


Рис.4.34. Санітарно-захисні зони за оксидом азоту при максимальному і мінімальному трафіку на магістральних дорогах:  
а) одна смуга в одному рівні; б) вісім смуг у різних рівнях.

У міській забудові з доволі високою щільністю відстань  $L_0$  коригується параметрами каньйону, і його розмір стає значно менше. Забудова з низькою щільністю і невисокими будівлями в цілому незначно впливають на  $L_0$ . Облік щільності забудови і проникності території при моделюванні розсіювання

забруднювачів дозволяє отримати результати, добре узгоджуються з даними натурних спостережень.

У міській місцевості багато вузьких вулиць (каньйонів) з високим співвідношенням сторін, а також безліч ступінчастих, нерівномірних, нерегулярних каньйонів з низьким співвідношенням сторін та ступінчастих вниз-вгору-вниз. Повітря вуличних каньйонів сильно забруднене у всіх мегаполісах і розсіювання повітря в них відрізняється від розсіювання на плоскій відкритій місцевості або складному рельєфі. У вуличних каньйонах масштаб турбулентності, що впливає на коливання концентрації, дуже обмежений.

Для вимірювання якості повітря у містах можна використовувати макро- і мікромасштабні моделі розсіювання забруднюючих речовин різного рівня проблеми [99]. Наприклад, при моделюванні різних модифікацій вуличні бар'єрів/перешкод (такі як припарковані автомобілі, придорожні огорожі, низькі огорожувальні стіни і т. д.).

Використовуючи нормативні відстані для магістральних вулиць та доріг ми хотіли показати відстані, на які поширюються забруднення від автомобільного транспорту (на прикладі оксидів азоту) [249]. Згідно з отриманими результатами, видно (рис. 4.35), що при інтенсивному русі магістральною вулицею з чотирма смугами забруднення розсіюються на відстані понад 50 м від центру дороги. Зелена зона, де значення концентрації оксидів азоту досягає нормативних значень і нижче, починається поза пішохідної зони (рис. 4.35а).

При зниженні числа смуг магістральної дороги до двох відстані, на яких досягаються нормативні значення повітряного простору, знижується до 30÷35м, але пішохідна зона все одно не є безпечною (рис. 4.35б). Тут можна відзначити й те, що самі водії досить часто перебувають на дорогах у ситуаціях, коли гранично-допустимі норми за основними показниками перевищують у десятки разів.

Дальність розповсюдження автомобільних викидів залежить від погоди, напрямку та швидкості вітру, рельєфу місцевості, присутності водойм, температури та надають значний вплив на міський клімат. Інтенсивність самоочищення атмосфери



на міській території визначається, з одного боку, швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що формує вітровий потік.

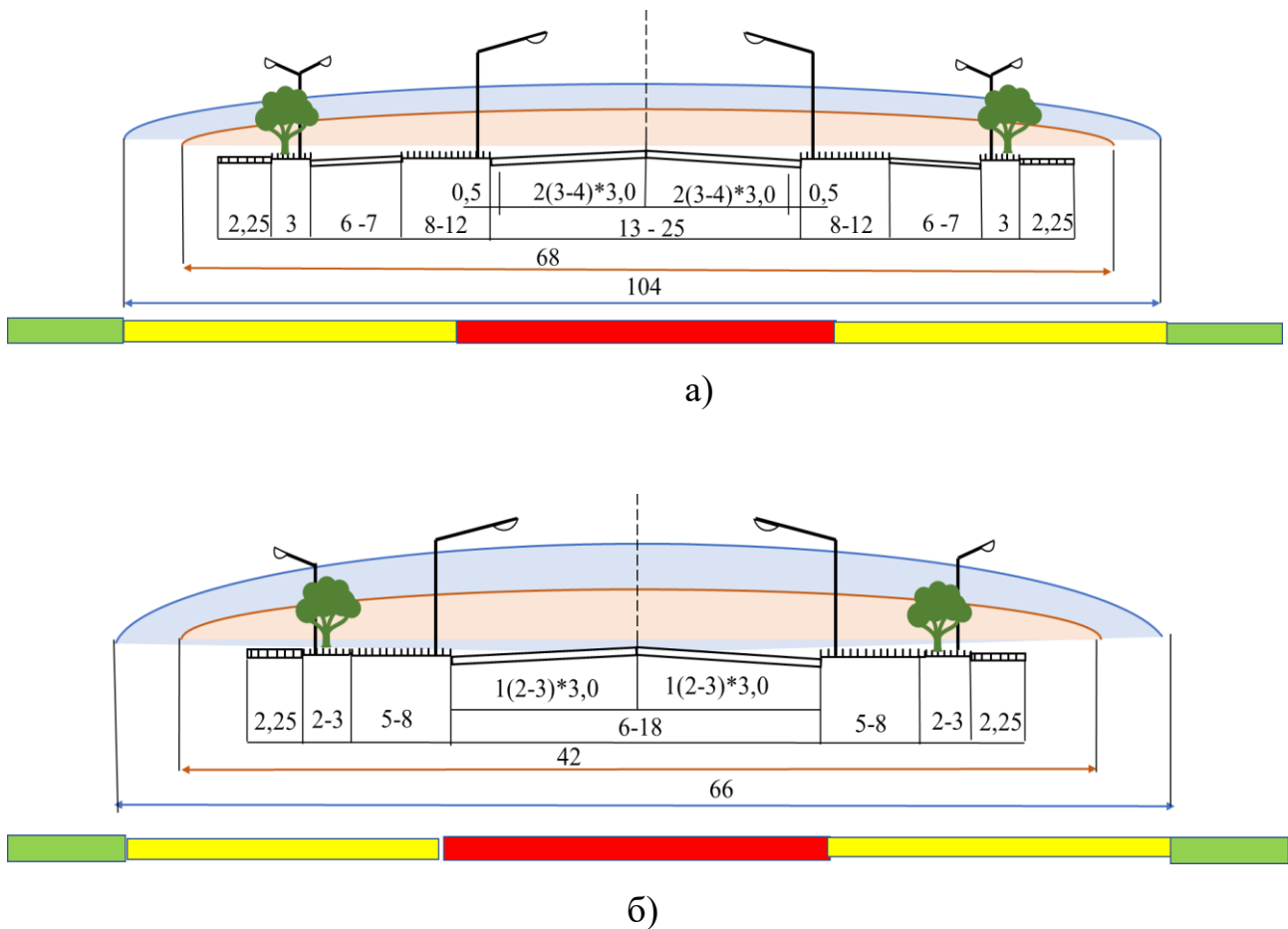


Рис.4.35. Магістральна вулиця загальноміського значення  
регульованого руху з пропускнуою здатністю однієї смуги 750 прив.авто/год:  
а) розрахунок на 4 смуги; б) розрахунок на 2 смуги

Зазвичай найбільше забруднення повітря, що викликане викидами транспортних засобів, спостерігається вулицях, розташованих між безперервними рядами високих будинків. Якщо магістраль проходить крізь вуличний каньйон, то створюються специфічними умовами для розсіювання забруднюючих речовин, внаслідок чого створюються контрастні мікрокліматичні зони (рис.4.36). Тобто через дуже обмежену атмосферну дисперсію виникають локальні вогнища забруднення (застою). Дисперсія у вуличному каньйоні зазвичай визначається співвідношенням сторін вуличного каньйону до зовнішнього вітру. Інтенсивності вертикальної та

горизонтальної турбулентності мають близькі значення у вуличному каньйоні та набагато слабші, ніж на плоскій відкритій місцевості.

Тут можна говорити про багато динамічних факторів, що впливають на розмір забруднюючих територій (вітер, сонце, дощ, кількість машин і т.д.). Але загалом загальне уявлення та напівкількісні характеристики дозволяють формувати динамічну систему екологічного моніторингу атмосферного повітря і прогнозувати екологічно безпечний розвиток розселення в територіальному плануванні, вносити пропозиції відповідних містобудівних заходів.

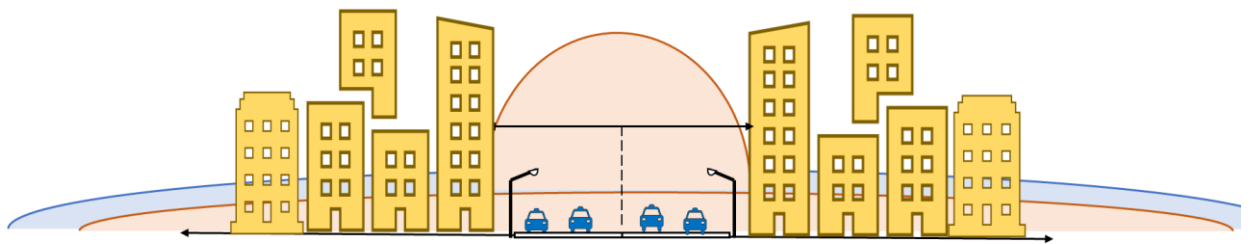


Рис. 4.36. Утворення зон підвищеної концентрації забруднень у вуличних каньйонах

Важливим моментом для нормалізації повітряного простору територій каньйонів є аеродинамічний ефект [311]. І як відзначають дослідники цей ефект набагато сильніший, ніж здатність рослинності видаляти забруднюючі речовини [13]. Моделювання міської циркуляції CO<sub>2</sub> у різних районах дуже важливе для проектування вулиць та доріг [312]. Там, де створення зон малих викидів утруднено можна використати сучасні методи очищення повітряного простору хіміко-механічними способами [292,293].

Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проектних рішень. До керівних принципів міського планування може бути додатково внесені загальні керівні принципи проектування, планування та організації

дорожнього руху з урахуванням ефективних шляхів зниження забруднення приміагістральних територій.

На даний час існують практичні ініціативи щодо досягнення стійкого міського повітряного басейну з точки зору його забруднення, особливо тих територій, де історично сформовані вразливі ділянки:

- створення зона малих викидів - Low Emission Zone (LEZ);
- створення зелених зон;
- заохочення активних видів транспорту;
- перерозподіл суспільного простору;
- просування громадського транспорту;
- створення очисних споруд;
- вдосконалення транспортної політики - податки та технологічне

управління дорогами.

Таким чином, з метою прийняття рішень щодо зниження негативного впливу антропогенних факторів необхідно проводити зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту за критерієм інтенсивності руху транспортних засобів з виділенням зон екологічної небезпеки або безпеки і посиленого моніторингу. Запропоновано зонування території навколо перехресть магістральних доріг міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту: зони безпечні, низької безпеки та небезпечні. Проведено розрахунок інтенсивності руху транспортних засобів, який необхідний для досягнення гранично допустимих норм щодо викидів оксиду азоту та визначено співвідношення між ними.

## Висновки до розділу 4

1. На підставі проведеного аналізу виявлено, що існує "ланцюг територій" з посиленою дегазацією оксидів вуглецю, яка пов'язана з енергією, що виникає в надрах Землі - "холодне "дихання" і проявляється особливо в місцях, де були або є вугільні вироблення. розвивається нерівномірно - просторово та в часі, з ритмами ендогенної активності Землі. Згідно з отриманими результатами, зміна та поширення забруднення повітряного басейну оксидом вуглецю йде хвилеподібно, пік хвилі концентрації зміщується в середньому зі швидкістю 34 км/год.

2. Середні показники вмісту природних та антропогенних викидів уздовж "ланцюга територій", перевищують у 2-3 рази і дають підстави для вироблення дорожньої карти зниження кількості викидів, т.к. все це призводить до наслідків у вигляді парникового ефекту та зміни клімату. Крім того, необхідно враховувати ці дані, що так істотно впливає на здоров'я людей при плануванні перспективи забудови міст, розвитку територій. Використання інноваційних енергоефективних рішень дозволить містам обрати енергозберігаючий шлях розвитку економіки скоротити антропогенні викиди вуглецю на 79%-99% та потенційно підвищити якість життя городян.

3. Сучасні прилади дистанційного зондування дозволяють здійснювати як глобальний, так і регіональний довготривалий моніторинг вмісту оксидів азоту та озону в атмосфері. Використання сучасних методів для отримання статистично надійних даних визначення забруднених територій міста в повному діапазоні погодних умов надає можливість бачити залежність вмісту оксидів азоту від присутності озону. У світлий час доби добовий і сезонний хід озону обернений ходу первинних забруднювачів (зокрема,  $\text{NO}_2$ ), а саме збільшення концентрацій озону супроводжується зменшенням концентрацій первинних забруднювачів і навпаки.

4. Згідно проведеному аналізу формування зеленого каркасу для міст Северодонецьк, Лисичанськ, Рубіжне та статистичним даним про постійне небезпечне забруднення повітря оксидами вуглецю цих міст можна стверджувати, що потрібна концепція відновлення зеленого каркасу з урахуванням всіх особливостей

геологічного і біологічного середовища Сєверодонецько-Лисичанської агломерації, процесів дегазації та з ритмами ендегенної активності Землі.

5. Визначено, що дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень, дистанційного зондування та розрахункові значно відрізняються на територіях приміагістральних вулиць, тому необхідний додатковий контроль особливо у місцях зупинок, перехресть, транспортних вузлів. При вирішенні питань розміщення таких місць слід враховувати напрямок та швидкість руху вітру, у зв'язку із збільшенням зони забруднення вдвічі-втричі

6. На основі аналізу фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту на магістральних мережах і розрахунків потужності емісії й концентрації забруднюючих речовин атмосферного повітря токсичними компонентами відпрацьованих автомобільних газів виявлено, що найбільш небезпечним для житлової забудови є оксиди азоту, особливо у дощову погоду, коли їх фактичний вміст перевищує гранично допустиму концентрацію у 7-10 разів.

Наведені дані про кількість та якість викидів на магістральних мережах доріг з урахуванням «рози вітрів» у сонячну та дощову погоду та певні санітарно-захисні зони свідчать про велику шкоду здоров'ю людини, оскільки йде значне привішення ГДК на приміагістральних територіях. Визначено необхідність додаткових захисних заходів з очищення повітря та зниженням концентрації забруднюючих речовин, наприклад, спеціальним обладнанням територій де значно перевищено значення ГДК.

7. Проведено аналіз даних про наявні джерела забруднення атмосферного повітря в межах магістралей і приміагістральної території, а саме: оцінка інтенсивності руху автомобільного транспорту, оцінка обсягу викидів оксидів азоту, оцінка рівня вмісту оксидів азоту в атмосферному повітрі. Вимірювання показали, що середні концентрації оксидів азоту в місцях інтенсивного антропогенного навантаження - перехресть магістральних вулиць в десятки разів перевищують величини гранично-допустимі концентрації. Поблизу магістралей і перехресть максимальні концентрації забруднюючих речовин формуються при слабких швидкостях та напрямках вітру під кутом близьким до 45° до магістралей.

8. Розроблено модель забруднення оксидами азоту магістральних територій міста - залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності транспортних засобів, яка може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря. На підставі критерію запропоновано зонування території навколо перехресть магістральних доріг міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту: зони безпечні, низької безпеки та небезпечні.

9. Визначено співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів на міській магістралі та відстані, де досягаються гранично допустимі норми щодо викидів оксиду азоту, що дозволяє розраховувати санітарно-захисні зони-території навколо магістральних вузлів, де оксиди азоту шкідливо значне впливають на навколишнє середовище і здоров'я людини. Переважно північно-західний напрямок вітрів призводить до збільшення території забруднення до 850 м, якщо магістраль має вісім смуг.

10. Представлено практичні шляхи щодо досягнення стійкого міського повітряного басейну з точки зору його забруднення: створення зон малих викидів - Low Emission Zone (LEZ); створення зелених зон; заохочення активних видів транспорту; перерозподіл суспільного простору; просування громадського транспорту; створення очисних споруд; вдосконалення транспортної політики - податки та технологічне управління дорогами.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 2, 8, 9, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 32, 37, 50, 51 (за списком, який наведений в анотації).

## РОЗДІЛ 5.

### МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ МІСТ

У сучасних економічних умовах для багатьох великих міст неможливо швидко і ефективно поліпшити якість атмосферного повітря шляхом перепланування територій (будівництво транспортних розв'язок, об'їзних шляхопроводів, redesign міст для озеленення, облаштування піших зон, велосипедних доріжок тощо) або прийняття непопулярних рішень (заборона чи обмеження руху транспорту в центрі міста, штрафні санкції тощо), оскільки це потребує великих інвестицій в інфраструктуру міського транспорту та перешкоджає сталому існуванню та розвитку суспільства. Крім того, викликають труднощі та великі економічні витрати перехід на зелену енергетику, використання електромобілів.

Мета п'ятого розділу розглянути сучасні методи та технології зниження забруднення повітряного простору міст та запропонувати новий спосіб очищення і конструкційну модель пристрою на основі озонових технологій.

#### 5.1 Формування зеленого каркаса

##### важлива умова нормалізації повітряного простору міст

Для міст, особливо крупних, характерною особливістю є забруднення природного середовища пилом, викидами, скидами побічних продуктів і відходів виробництва, високі рівні шумових, теплових, електромагнітних забруднень. Найважливішу роль у нейтралізації і ослабленні негативних впливів промислових зон міста на людей і живу природу в цілому виконують зелені насадження. Вони грають роль повітряного природного фільтра, насичують атмосферу киснем, затримують поширення пилу і газів.

На сьогоднішній день удосконалення системи озеленення призводить до поліпшення екологічної ситуації у місті, зокрема створення комфорту городян. Під системою озеленення міст розуміється науково обґрунтоване просторове розміщення

всіх компонентів озеленення відповідно містобудівним зонам, кліматичним, ґрунтовим та іншими факторам з метою досягнення оптимального санітарно-гігієнічного, екологічного та естетичного ефектів [250].

Міста стрімко розвиваються, а тому стає все складніше контролювати питання, пов'язані з охороною навколишнього середовища, що і визначає актуальність дослідження стану зелених насаджень для визначення проблем і створення загальних рекомендацій з покращення стану насаджень, тобто найпростішого методу покращення екологічних умов міста в цілому.

Зростання швидкими темпами забудови міст призводить до зникнення зелених просторів. І відбувається цей процес на всіх містобудівних рівнях за рахунок переущільнення забудови і знищення екологічно цінних ландшафтів [251].

Важливим завданням в організації міського простору є створення зеленого каркаса для забезпечення комфортних умов проживання у місті. Естетичний та екологічний стан всього зеленого каркасу міст знаходиться на низькому рівні і постійно погіршується через збільшення транспорту, промислових підприємств, стрімкого освоєння і ущільнення житлової та громадської забудови. Забезпечення формування складників зеленого каркаса в усіх планувальних структурах міста є важливою складовою формування екологічного каркасу взагалі [252, 253]. Ці частини зеленого каркаса можуть формуватися одночасно з розвитком архітектурно-планувальної структури міста, зведенням нових міських масивів [254, 255].

Система зелених насаджень міста разом з природними і поліпшеними ландшафтами складає екологічний каркас – адекватно захищену систему екологічно взаємопов'язаних територій, що дозволяє підтримувати екологічну рівновагу у місті [252÷255]. У теперішній час проблеми, пов'язані з функціонуванням екологічного каркаса, стоять гостро як у країні так і в найбільших містах Луганської області: Северодонецьку, Лисичанську та Рубіжному. Історія формування екологічного каркасу на території цих міст нерозривно пов'язана з історичними, соціальними, економічними та містобудівними процесами, які наклали певний відбиток як на темпи розвитку і структуру каркаса, так і на видовий склад рослин, що складають його.



Згідно з даними Міністерства екології та природних ресурсів найбільш забрудненими є міста – промислові центри, особливо хімічної та видобувної промисловості. Серед таких найбільш забруднених міст України є Лисичанськ, Рубіжне та Северодонецьк. Северодонецьк та Рубіжне є осередками хімічної промисловості, Лисичанськ – видобувної.

Найважливішою з проблем у місті є проблема збереження зелених масивів (міських парків, лісів, садів, луків тощо), тобто зеленого каркасу міста. Рослинність забезпечує комфортність умов перебування людей у місті, регулює (в певних межах) газовий склад повітря і ступінь його забрудненості, кліматичні характеристики міських територій, зокрема вплив посушливо-суховійних явищ, знижує вплив шумового фактору і є джерелом естетичного сприйняття [256].

Луганська область розташована в степовій зоні України, в так званому байрачному степу, з посушливим кліматом, частими пиловими бурями і суховіями, жарким літом і малосніжними морозними зимами. Природні умови не дуже сприятливі для зростання лісової рослинності. Саме на пісках терасовій рівнини і був побудований Северодонецьк. Величезною проблемою у цих містах були піщані бурі. Ґрунт тут - піщане «перекати-поле», де навіть спекотним літом найнадійнішим взуттям були чоботи - тільки в них можна було більш-менш вільно пересуватися піском, тому будівництво, якому приділяли чи не найголовнішу увагу - це - зелене будівництво, пов'язане з боротьбою зі спекою та сипучими пісками.

У 50-60-ті роки минулого століття місцевість навколо міста була засаджена сосною звичайною, тобто створені штучні хвойні ліси. Загалом в області є 235,4 тис. га лісів штучного походження. За [257], загальна площа міста Северодонецька складає 58 км<sup>2</sup>.

Відповідно до класифікації [258], м. Северодонецьк належить до середніх міст. У промисловості м. Северодонецька згідно [257, 258] переважає хімічна галузь та приладобудування, також розвинені підприємства будівельної та харчової промисловості. Серед крупних підприємств хімічної промисловості Северодонецька ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» та ДП «Науково-дослідний і проектний інститут хімічних технологій «Хімтехнологія». Серед підприємств приладобудування

– це ПрАТ «СНВО «Імпульс» та ТДВ «Сєверодонецький завод хімічного нестандартизованого обладнання».

Загальна площа міста Лисичанська складає 95,64 км<sup>2</sup> [259]. Відповідно до класифікації [260], м. Лисичанськ належить до середніх міст. У промисловості м. Лисичанська переважає видобувна і нафтопереробна промисловість, також розвинені підприємства хімічної, будівельної та харчової промисловості. Серед великих підприємств – це ПАТ «Лисичанськ-вугілля», ПРАТ «ЛИНІК», ТОВ «Лисичанський скляний завод», КП «Завод ЗБВ», ТДВ «Лисичанський желатиновий завод» та ТОВ «Лисичанський пивоварний завод».

За офіційними даними [261], загальна площа міста Рубіжне – 34 км<sup>2</sup>. Промисловість міста Рубіжне представлена підприємствами хімічної та нафтохімічної промисловості (ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Зоря») та целюлозно-паперового виробництва (ПрАТ «Рубіжанський картонно-тарний комбінат»).

Відстань від Лисичанська до Сєверодонецька складає 14,8 км, від Рубіжного – 16 км. У структуру зелених насаджень загального користування міст Сєверодонецька, Лисичанська та Рубіжного входять міські парки, сквери, бульвари та зелені зони. Озеленення вулиць займає особливе місце в поліпшенні екологічного стану цих міст, активно впливаючи на архітектурний вигляд і забезпечуючи влітку необхідний тіньовий режим для пішоходів. Крім того, зелені насадження повинні виконувати ще одну функцію – захист територій житлової забудови від транспортного шуму за умови здійснення багаторядної посадки дерев з чагарником у просторах під їх кронами.

У місті Сєверодонецьк офіційно заявлено 15 озелених територій загальною площею 63,3 га: 1 парк площею 35,4 га; 8 скверів загальною площею 16,12 га; 5 зелених зон площею 9,58 га та спортивний комплекс площею 2,15 га, розбудовується Екологічний парк та скейт-парк.

Орієнтовна загальна площа зелених насаджень міста Лисичанськ складає 4 271,4 га, з них: загального користування – 284,2 га; спеціального призначення – 2 029,2 га; обмеженого користування - 1 958,0 га.

Насадженнями загального користування м. Лисичанська складаються з 2 садів, 12 скверів, 3 бульварів, 27 вуличних насаджень, на яких розташовано 63 га газонів, 2 368 м<sup>2</sup> квітників, що становить лише 22% від загальної площі зелених насаджень загального користування.

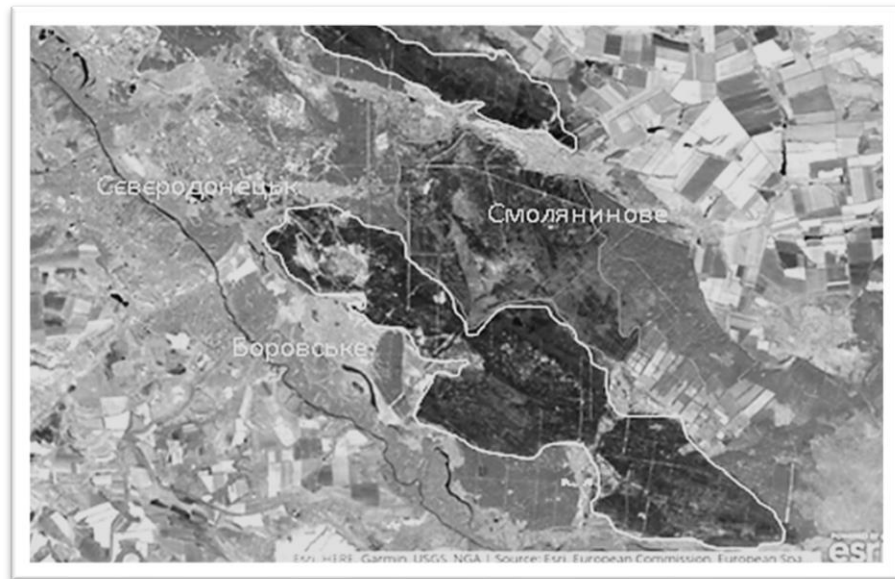
Площа зелених насаджень загальна користування у м. Рубіжне - 1200 га. Площа газонів та квітників - 310,8 тис. м<sup>2</sup>. У місті розташовано 1 парк та 5 скверів загальною площею 10,6 га. Відповідно до [260] при чисельності населення 50-250 тис. осіб норма зелених насаджень у IV зоні (степовій) у приміській зоні складає 160 м<sup>2</sup>/особу, а загального користування у межах населеного пункту – 9 м<sup>2</sup>/особу. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я для забезпечення оптимальної норми кисню необхідно 50 м<sup>2</sup>/особу міських та 300 м<sup>2</sup> / особу заміських зелених насаджень. В Україні цей показник дорівнює у середньому 16-17 м<sup>2</sup>/особу, за міжнародними нормами має бути не меншим за 20 м<sup>2</sup>. Лисичанськ одне з семи українських міст, яке відповідає міжнародним нормам.

Дендрологічний склад зелених насаджень міст Северодонецьк, Лисичанськ та Рубіжне представлений, переважно, такими породами дерев: сосна, липа дрібнолиста, в'яз дрібнолистий, тополя чорна, береза, в'яз звичайний, клен, каштан, ялина блакитна, верба біла, верба плакуча, горобина, катальпа та ін.

Серед чагарників переважають: бузок звичайний, бузок угорський, жимолость звичайна і татарська, жасмин лікувальний, смородина золотиста, західна туя, шипшина тощо.

Лісові пожежі є однією з перших причин зміни клімату в світі, за рахунок зниження потенціалу поглинання вуглецю і, відповідно, глобальних викидів парникових газів. На жаль, пожежі не обійшли стороною і цю територію. Наприклад, в 1996 році за два дні в м. Кремінне згоріло понад 10 тис. га. соснових насаджень 40-50-річного віку. Пожежі, які вирували на території Луганської області у жовтні 2020 року, зокрема й біля Северодонецька та Рубіжного на даний час знищили третину соснових лісів (рис. 5.1), близько 30 тис. га лісового фонду. З рис. 4.6 видно, чим темніше відтінок, тим сильніше постраждали лісові масиви. І в таких випадках для

територіальних громад для забезпечення їх повною інформацією про стан інфраструктури та загалом сталого розвитку потрібні геопросторові дані [262].



а



б

Рис. 5.1. Згорілі території: а – приміські зелені насадження м. Северодонецька; б – між селами Олександрівка, Гаврилівка та Боровеньки [263]

Сучасна забудова більшості кварталів к різних містах України і часто носить незакінчений характер, виконана з порушенням єдиної композиційної та об'ємно-просторової системи. Багато кварталів, на сьогоднішній день складаються із старого житла і позбавлені обов'язкових елементів благоустрою і комфорту, озеленення [251,

253, 264]. Практичне кожному місту необхідно відновлювати свій потужний екологічний каркас, що створюється з різноманітних озелених територій і площин. Чим більше в місті зелених насаджень, тим здоровіше, комфортніше і красивіше місце проживання мешканців міста [72, 73, 251, 252]. На даний час визнано перелік заходів щодо зниження концентрації забруднюючих речовин, тобто обираємо найбільш прийнятні.

Згідно проведеному аналізу міських просторів [72, 73, 265 ÷ 267] на прикладі м. Северодонецька визнано, що основною проблемою у формуванні озеленення публічних просторів є невизначеність їх у нормативних документах з містобудування. А саме їх кількості для міста, функціональності, просторово-планувальної структури їх формування. Виявлено неструктурованість окремих елементів публічних просторів; відсутність у ряді випадків чітко вираженого ранжування і функціонального зонування території; відірваність міських публічних просторів від природного ландшафту. Серед проблем, пов'язаних з порушенням зеленого каркасу, наступні:

- недостатнє озеленення територій міст – не перевищує 15-16 м<sup>2</sup>/особу, тільки Лисичанськ відповідає міжнародним нормам – 20 м<sup>2</sup>/особу;

- нерівномірний ступінь озеленення територій міст: зелені насадження сконцентровані зазвичай у центральній частині і вздовж водних об'єктів. Необхідне збільшення дерево-чагарникових у приміських територіях у напрямку переважних вітрів з метою поліпшення екологічного стану на території міста;

- третина наявних насаджень потребує поновлення, оздоровлення або заміни на молоді дерева;

- немає систематизованого підходу до якісного озеленення територій; виникає недоречне висадження (невідповідність термінам, бідність видового складу тощо):

- необхідно відновлення знищених пожежами зелених насаджень та лісосмуг.

Оцінка рівня озеленення великого міста на прикладі м. Києва виявила подібні проблеми [268]. Наведено перелік захисних заходів, за рахунок озеленення, складено у порядку зростання згідно нормативних показників зелених насаджень міст

приведених витрат на зведення й утримання об'єктів природоохоронного призначення (табл. 5.1) [227, 269].

Таблиця 5.1

**Заходи щодо зниження концентрації забруднюючих речовин за рахунок озеленення**

Заходи	Відсоток зниження концентрації забруднювача, %
1. Один ряд дерев з чагарником висотою до 1,5 м на смузї газону 3-4 м	10
2. Два ряди дерев без чагарнику на газоні 8-10 м	15
3. Два ряди дерев з чагарником на газоні 10-12 м	30
4. Три ряди дерев із двома рядами чагарнику на смузї газону 15-20 м	40
5. Чотири ряди дерев з чагарником висотою 1,5 м на смузї газону 25-30 м	50
6. Суцільні екрани, стіни будинків висотою більш 5 м від рівня проїзної частини	70
7. Земляні насипи, укоси при прокладанні дороги у виїмці при різниці відміток 2-3 м	50
8. Теж, 3-5 м	60
9. Теж, більше 5 м	70

Авторами у навчальному посібнику [270÷272], який складається з трьох частин, представлена інформація, що охоплює історію садово-паркового мистецтва, прийоми і принципи садово-паркового та ландшафтного проектування, характеристики основних рослинних компонентів ландшафту, біологічні особливості видів деревних і трав'янистих рослин, що використовуються при озелененні та благоустрою територій.

Виходячи з вище викладеного Згідно проведеному аналізу формування зеленого каркасу для міст Северодонецьк, Лисичанськ, Рубіжне та статистичним даним про постійне небезпечне забруднення повітря оксидами вуглецю цих міст можна стверджувати, що потрібна концепція відновлення зеленого каркасу з урахуванням всіх особливостей геологічного і біологічного середовища Северодонецько-Лисичанської агломерації, процесів дегазації та з ритмами ендегенної активності Землі.

## 5.2 Сучасні методи очистки повітряного басейну території міст

У нових економічних умовах для багатьох крупних міст неможливо швидко і ефективно поліпшити якість атмосферного повітря шляхом перепланування територій (будівництво транспортних розв'язок, об'їзних шляхопроводів, redesign міст для озеленення, облаштування піших зон, велосипедних доріжок тощо) або прийняття непопулярних рішень (заборона або обмеження руху транспорту в центрі міста, штрафні санкції тощо), оскільки це потребує великих інвестицій в інфраструктуру міського транспорту та перешкоджає сталому існуванню та розвитку суспільства. Крім того, викликають труднощі та великі економічні витрати на перехід на зелену енергетику, використання електромобілів.

В даний час є різні за своєю суттю пропозиції захисту повітряного басейну, особливо у великих містах. Автори [27] розглядають можливості перспективного архітектурного дизайну високоурбанізованих районів за рахунок використання наночастинок  $TiO_2$  як компонент будівельних матеріалів, таких як бетон і гіпс, або компонент активних мембранних тканин, які під дією УФ-випромінювання активуються і за рахунок фотокаталізу нейтралізують різні атмосферні забруднювачі, особливо кислі гази. Однак це служить основою для спільнот, що будуються, і не вирішує проблему очищення повітря в обсязі.

У статті корейських дослідників [27] описується розробка системи зі штучних ґрунтово-рослинних та електростатичних фільтрів очищення повітря від дрібних твердих частинок у міському середовищі, особливо у гарячих точках. За рахунок листя рослин фільтр на основі багатошарових різних штучних ґрунтів має

ефективність 78,5% для PM<sub>2,5</sub> та 47% для PM<sub>10</sub> при швидкості вхідного повітря 0,15 м/с.

На сучасному європейському ринку представлені готові рішення очищення міського повітря та повітря приміщень від забруднюючих речовин та вірусів, що базуються на використанні біотехнологій, тонкої фільтрації, УФ-опромінення, іонізації повітря.

Наприклад, компанія U-Earth [<https://www.u-earth.eu/products>] розробила біореактор, що нейтралізує віруси, леткі органічні сполуки та дрібні частинки. Однак такий очисник повітря необхідно кожні 30 днів поповнювати особливою сумішшю біотехнологічних бактерій та ферментів.

Фірма ENS розробила технологію Clean Air [<https://www.ens-cleanair.com>] з видалення з повітря пилу, сажі та інших забруднювачів без використання фільтрів: у системі дрібні частинки пилу отримують позитивний заряд і рухаються до негативної пластини колектора, де прилипають до поверхні. На жаль, це рішення не вирішує проблему очищення повітря від газових поллютантів.

Британська компанія Airlabs [<https://www.airlabs.com>] пропонує пристрої на основі хімічно модифікованого нановуглецевого фільтра для уловлювання та знищення озону, оксидів азоту та летких органічних сполук, проте експлуатація передбачається у замкнутих просторах (приміщеннях, транспорті).

Німецький розробник Purevento [<https://www.purevento.com>] пропонує мобільні контейнерні рішення для видалення дрібних частинок і оксидів азоту в чотиріступінчастому фільтруючому елементі, що синхронно працює, забезпечуючи обробку до 60000 м<sup>3</sup> повітря на годину з ефективністю 85%. Таке рішення вимагає заміни та утилізації фільтрів.

Італійська фірма Is Clean Air [<https://www.iscleanair.com>] представила технологію АРА для зниження викидів промислових підприємств, яка може бути використана на відкритому повітрі та у приміщеннях для очищення повітря від твердих частинок, важких металів, вуглеводнів, квіткового пилку, спор, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> у радіусі 25 м, у процесі впливу відцентрової сили та води у поєднанні з УФ-обробкою, з утворенням відходів на водній основі. У порівнянні з іншими системами,



технологія без фільтра значно знижує витрати на виробництво та обслуговування системи.

Інша італійська компанія Airlite [<https://www.airlite.com>] пропонує фарбу для внутрішніх та зовнішніх поверхонь, у якій використовуються фотокаталітичні властивості мінеральних компонентів для нейтралізації забруднюючих речовин, наприклад, формальдегіду та оксидів азоту (ефективність 88%) під впливом світла, запобігає росту бактерій, цвілі та суперечці. При цьому на стінах закріплюються солі, що утворюються. Однак реакції протікають тільки на поверхні, залишаючи забруднюючі речовини обсягом повітря.

Голландський проект [<https://www.studioroosegaarde.net/project/smog-free-tower>] Smog Free Tower – це алюмінієва вежа заввишки 7 метрів, в якій також використовується технологія позитивної іонізації, що дозволяє очищати 30000 м<sup>3</sup>/год повітря та використовує невелике кількість зеленої електроенергії. Дані проект вже запущено у Китаї, Південній Кореї, Нідерландах, Мексиці та Польщі.



Рис.5.2. Вежа Чистого Повітря в Пекіні

На зараз проблема з очищенням повітря міст набуває все більшої уваги вчених і громадськості, тому почали з'являтися нові пропозиції, рішення та технології. І прикладом є перш за все:

"Вежа Чистого Повітря" (рис. 5.2) (Smog Free Tower) [275], яка призначена для того, щоб дозволити людям дихати чистим повітрям в місті. Являє собою споруду

розміром 8×3,5 м, яка притягує брудне повітря й очищає його, перш ніж "викинути" назад у навколишнє середовище. "Вежа Чистого Повітря" є гігантським повітряним іонізатором. У вежі використовується невеликий струм для відправки позитивно заряджених іонів у навколишнє повітря. Іони приєднуються до дрібних частинок пилу, які потім засмоктуються назад у вежу за допомогою внутрішньо негативно зарядженої поверхні, й залишаються там. Рузегард каже, що вежа може очистити 30000 куб. м повітря на годину й споживає для цього порівняно низьку кількість енергії. Вежа споживає 1700 W для роботи, які бере за допомогою енергії, отриманої від вітру.

Процес іонізації повинен генерувати локалізований повітряний міхур, який буде на 75% чистіше, ніж у інших частинах міста, у місцях де таких веж немає вона може очистити 30000 куб. м повітря на годину. Вежа-іонізатор вперше планується бути встановленою в Роттердамі, Мумбаї та Парижі, а в Пекіні у 2019 році її вже звели.



Рис.5.3. Установки з очищення повітря від вуглекислого газу в Швейцарії

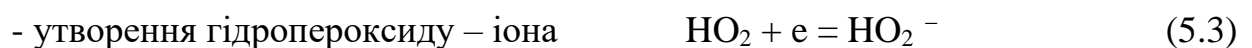
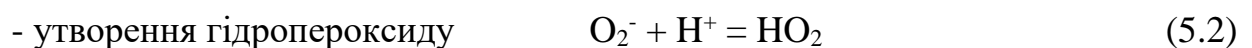
➤ Установа з очищення повітря від вуглекислого газу (рис. 5.3) автором [276], якої є швейцарська компанія Climeworks. Її фільтри за рік встигли поглинути близько 900 тонн вуглекислого газу. Група Швейцарських вчених встановили на даху центру переробки комплекс з 18 вентиляторів розміром із пральну машину. Принцип

роботи пристрою дуже простий: вентилятори захоплюють повітря, а хімічні фільтри поглинають вуглекислий газ. Фільтри повністю насичуються вуглекислим газом всього за кілька годин, після чого їх нагрівають до 100 градусів Цельсія, щоб використовувати зібрану енергію в теплицях, розташованих при заводі з переробки. Таким чином Швейцарії вдалося не просто очистити повітря від вуглекислого газу, але й використовувати його енергію.

Проте незважаючи на різноманітність очисних споруд, захисних матеріалів багато проблем збереження чистого повітря не вирішено та потребують невідкладних дій щодо зниження негативного впливу вихлопів міського автомобільного транспорту на здоров'я населення урбанізованих територій та навколишнє середовище.

### 5.3 Озонові технології зниження забруднення повітряного простору територій міст

**5.3.1 Особливості будови, властивостей озону, кінетика механізм його відновлення.** Озон ( $O_3$ ) – взривоопасний бледно-голубой газ с характерным приятным запахом, при больших концентрациях напоминающим хлор. Температура кипения  $-112^{\circ}C$ , температура плавления  $-193^{\circ}C$ . Запах ошутим даже при разбавлении 1:100000. Катодна реакція іонізації кисню складається з ланцюга послідовних елементарних реакцій, тобто протікає згідно [277] за стадіями:



- відновлення пероксиду водню до гідроксид іону і гідроксил-радикалу



- відновлення гідроксил-радикалу до гідроксид іону



Передбачається, що пероксид водню утворюється з молекулярного кисню без розриву О-О-зв'язку. У певних умовах (в залежності від природи металу і стану його поверхні) може мати місце дисоціативна хемосорбція кисню, що призводить до прямої реакції до води без проміжного утворення пероксиду водню.

Одноелектронна реакція (5.1) грає виключно важливу роль в механізмі електровідновлення кисню, стандартний потенціал цієї реакції, розрахований на підставі термохімічних даних дорівнює  $-0,563$  В. Продуктом одноелектронної реакції є аніон-радикал  $O_2^{\cdot-}$ , з періодом напіврозпаду 80 хв., однак у присутності протонів аніон-радикал нестійкий, і виявити цю частку не вдається.

Поширений спектр застосування озону в різних напрямках обумовлений головним чином особливостями його електронної будови і хімічних властивостей. Наявність трьох атомів кисню в молекулі озону  $O_3$  призводить до суттєвої зміни міцності зв'язку і властивостей у порівнянні з киснем  $O_2$  [278]. Діамагнітна молекула  $O_3$  має валентний кут О-О-О дорівнює  $116,8^\circ$ , відстань між центральним і кінцевими атомами О дорівнює  $1.278$  Å. Це відстань менше довжини одинарного зв'язку і більше довжини подвійного зв'язку ( $1.9$  Å в  $O_2$ ). Кожен атом О утворює один зв'язок з сусіднім атомом за рахунок  $p$ -електрона. Решта  $p$ -орбіталі комбінуються з утворенням однієї незв'язної та однієї орбіталі яка розпушує. На відміну від неполярних газів молекула озону володіє помітним дипольним моментом  $1,8 \cdot 10^{-30}$  Кл·м [279] і являє собою систему з великою кількістю електронів, що не зв'язують, будучи, таким чином, типовим  $n$ -донором.

Озон має характерний специфічний запах при досить високих концентраціях, що набагато перевищують ГДК, однак при цьому він не заглушає інших запахів, а розкладає й усуває їх джерела. Атомарний кисень, що утворюється при розпаді озону, моментально окисляє різні матеріали які пахнуть. Уже при дуже незначній концентрації озону (приблизно  $0,005$ - $0,01$  мг/м<sup>3</sup>) повітря відчувається приємним і свіжим.

Проведені в останні роки *ab initio* квантово-механічні розрахунки за програмою Gaussian-92 у наближенні MP-4 (Мейера-Плесера четвертого порядку) [280, 281] дозволили запропонувати несуперечливу схему будови озону, що враховує всі

особливості його фізичних і хімічних властивостей. Згідно з цими розрахунками, які добре узгоджуються з експериментальними даними, значення дипольного моменту пояснюється тим, що напрями (і заповненість)  $p$ -орбіталі розташовуються в різних площинах (рис.5.4). Такий опис електронної структури озону добре узгоджується з основними напрямками його хімічної взаємодії з різними класами органічних і неорганічних речовин. З орбітальної структури граничних молекулярних орбіталей для озону, свідчить, що електрофільні (окислювальні) властивості озон повинен проявляти при  $\pi$ -взаємодії з реагентами, наприклад, перехідними металами. Разом з тим наявність п'яти  $\sigma$ -нерозподілених пар передбачає можливість прояву і нуклеофільних властивостей у випадках  $\sigma$ -взаємодії, наприклад, в реакціях з протоном, кислотами.

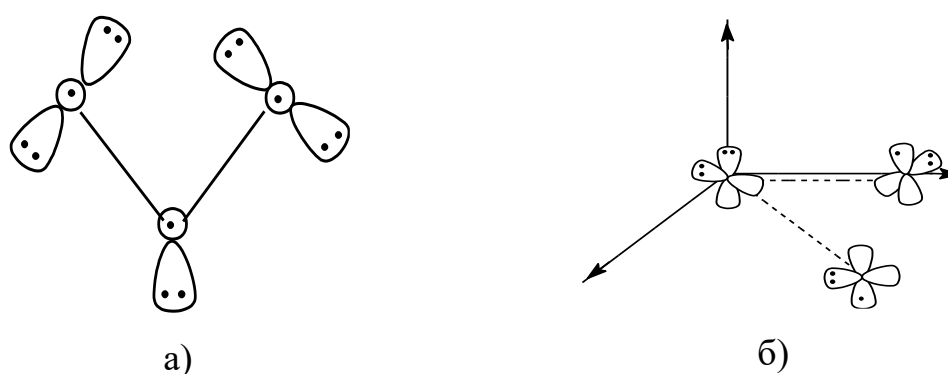


Рис.5.4. Електронна структура озону.  $\sigma$ -зв'язку – лінії; пелюстки –  $\sigma$ -нерозподілені пари; ● –  $\pi$ -орбіталі; а) вид зверху, б) вид збоку

Визначено [282], що озон в залежності від того, яку сполуку він атакує, приймає відповідну електронну структуру. Він пристосовується до системи, до якої наближається. Якщо ця система ненасичена, тоді, як правило, озон реагує як бірадикал. Якщо система радикальна, тоді він може вихоплювати один електрон з утворенням озонідів (випадок лужних металів). Озон може реагувати як нуклеофіл – негативно зарядженим кінцем, йде приєднання до металу за місцем електронної вакансії. Озон може реагувати як електрофіл – позитивно зарядженою стороною своєї молекули (або в момент атаки формується позитивний заряд на кінці молекули).

Озон схильний до ланцюговому розпаду:



Таблиця 5.2.

### Фізико-хімічні параметри молекул води, озону і його моногідрату [282]

Молекули	$\Delta H_{298}$ , кДж/моль		ПІ, eV		Довжини зв'язків, нм	
	експ.	рознр.	експ.	рознр.	експ.	рознр.
O <sub>3</sub>	142,20	163,26	11,7	11,30	0,1278	0,1253
НОН	-241,67	-224,30	12,6	12,76	0,9580	0,9490
НОН...O <sub>3</sub>	—	-59,46	—	—	—	0,3385 <sup>□</sup>

<sup>□</sup>Водневий зв'язок

Таким чином, озон характеризується властивостями сильного окислювача та переносника атома О з виділенням вільного O<sub>2</sub>. Дані розрахунків [283], що наведені в таблиці 5.2, свідчать про принципову можливість існування моногідрату з ентальпією, що утворюється близько  $-60$  кДж/моль і природною за величиною довжиною водневого зв'язку. Аналіз молекулярних діаграм (МЧПДП/3) (рис. 5.5) вказує на поляризацію молекули озону в моногідраті, яка може привести до помітних проявів ефектів сольватації в озонолітичних реакціях.

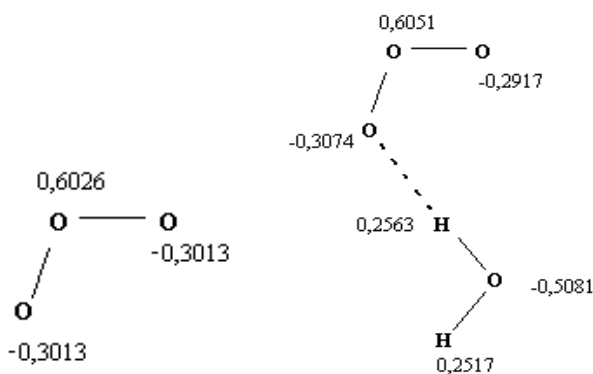


Рис. 5.5. Розподіл електронної щільності в молекулах води, озону і моногідрату

Дані з розчинності озону в 5÷70% сірчаній кислоті в роботах [284] показали, що розчини озону в сірчаній кислоті різних концентрацій підкоряються закону Генрі (рис.5.6).

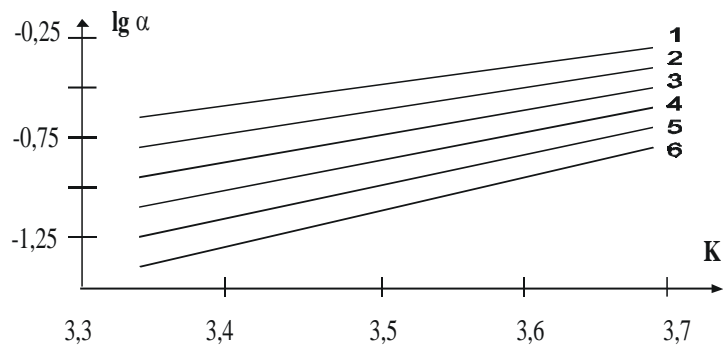


Рис.5.6. Температурні залежності коефіцієнтів розподілу озону в сірчаній кислоті різних концентрацій:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , % 1- 0; 2- 5; 3- 25; 4- 40; 5- 55; 6- 70.

( $\alpha$  – розчинність озону в сірчаній кислоті,  $K = (1/T) \cdot 10^3$ ) [284].

У практичному використанні озону виникає проблема розкладання його залишкових кількостей. Вище гранично допустимої концентрації викиду, що дорівнює  $3,3 \text{ кг/м}^3$  ( $0,017 \text{ ppm}$ ), що відповідає всього одній молекулі озону на 60 млн. інших часток, викиди озону в навколишнє середовище заборонено.

Фотоліз озону відноситься до реакцій з нетермічним способом активації. Фотон, поглинений молекулою озону, передає їй свою енергію й ініціює хімічну реакцію розпаду озону. Метод фотохімічного розкладання озону доцільно використовувати для вибіркової селективної деструкції озону. У порівнянні з термічним і каталітичним способами розкладання залишкового озону фотохімічний метод досить дорогий внаслідок високої вартості й складності експериментальної техніки фотолізу.

**5.3.2. SWOT аналіз застосування озонових технологій.** SWOT аналіз це метод стратегічного планування, для оцінки внутрішніх та зовнішніх факторів, а саме сильних та слабких сторін, можливостей та загроз й надає перспективи розвитку у нашому випадку застосування озонових технологій.

**1S** Безперечними перевагами озонових технологій є висока ефективність застосування. озон діє дуже швидко— протягом секунд. Озон є дуже активним хімічною речовиною, ефективно взаємодіє з багатьма отруйними і хімічними сполуками, що неприємно пахнуть, мікробами, бактеріями та ін., а надлишкові

кількості озону досить швидко перетворюються в результаті реакцій з молекулами навколишнього середовища в молекулярний кисень.

**2S** Низька вартість витрат на впровадження й обслуговування установок Для генерації озону необхідні тільки повітря або кисень та електроенергія.

**3S** Екологічна безпека. Залишковий озон швидко перетворюється в кисень. Очищення повітря озоном один з нових, високоефективних, нешкідливих методів, який знайшов широке застосування в різних галузях. Технологія дезінфекції полягає в тому, що будучи досить активним газом, озон, вступаючи в реакцію, поділяє сполуки органічного та неорганічного характеру на такі прості хімічні елементи як кисень, вуглекислий газ, вода. Вони нешкідливі й типові для звичайного природного повітря.

**4S** Не існують і не можуть виникнути стійких до озону форм мікробів та мікроорганізмів. Озон різко знижує бактерицидну забрудненість поверхонь. Особливо успішно його використання з обробки поверхонь, нестійких до температурної обробки, а також руйнуються кислотами або лугами. При обробці різної тари (пластмасові та картонні коробки, ящики пакувального матеріалу та ін.) оптимальною є концентрація озону близько  $0,5 \text{ г/м}^3$  при короткочасних експозиціях.

**5S** Озон справляється з вірусами в до 6 разів якісніше ультрафіолету, в 300-600 разів швидше хлору. Цей газ згубно впливає навіть на вірус герпес, туберкульозу, вбиває цисти глистів. У медичних установах озонатори встановлюють для дезінфекції палат, перев'язувальних, процедурних приміщень, медичного інструменту, одягу медперсоналу, пацієнтів. Дезінфікуючу властивість озону поширено використовують для санації місць громадського користування в туалетах, їдальнях. Також прилади застосовують для знешкодження токсичних речовин в робочих зонах промислового виробництва. Ефективно справляється дезінфікуюче обладнання і в місцях зберігання продуктів без хлорвмісних речовин і вологої обробки, подовжує їм термін зберігання без втрати поживних якостей.

**6S** Озон більш ефективний як бактерицид у воді, ніж у повітрі. Отже, в останньому випадку, повинен використовуватися в більш високих концентраціях.



Для запобігання зростанню грибків на чистих поверхнях достатня вельми низька концентрація озону.

**7S** Озон не утворює токсичних побічних продуктів.

✓ Дані з тривалої інгаляції озону. Експерименти на тваринах показали, що озон в такому варіанті застосування не канцерогенний.

✓ Не виявлено будь-яких мутагенних продуктів після обробки 18 різних амінокислот і 10 сахаридів озоном протягом 105 годин. Озон у такому варіанті застосування не мутагенів.

✓ Проміжними продуктами реакції озону з ненасиченими жирними кислотами є, в основному, малотоксичні альдегіди, кетони і перекис водню.

✓ Метаболічні ефекти, виявлені у щурів, яких годували озонованим казеїном, пов'язані з втратою деяких амінокислот, а не з накопиченням токсинів.

✓ В Японії, Австралії та Франції немає кількісних обмежень на використання озону як дезінфікуючого агенту в харчовій промисловості.

**8S** Можливо відчувати запах озону при концентрації раз у 10 нижче гранично допустимої разової концентрації. Це безпечно. Але якщо ви влаштували собі повітря, в якому цілодобово й чітко відчувається запах озону – ви вже наближаєтеся до граничної безпеки. Може рази в три нижче границі, а може й вже поблизу.

**1W** Для руйнування колоній грибків, які вже виникли потрібно значно вищі концентрації. Протигрибкова активність озону збільшується з ростом вологості. Дріжджі легше атакуються озоном, ніж бактерії. Однак, суперечки грибової цвілі значно більш резистентні стосовно озону, ніж бактерії. Чутливість продуктів до озону сильно залежить від виду продукції.

**2W** В Україні озон останнім часом використовувався тільки в «промислових проектах» – очищення стічних вод, очищення води, в медичних цілях – «кисневі коктейлі», косметичні процедури, нейтралізація ртуті, дезінфекція інструментів, у виробництві кисневмісних сполук, необхідних для лікарських препаратів [285].

**3W** Постійно дихати концентрованим озоном шкідливо, він агресивно діє на слизові оболонки, що може впливати на здоров'я легенів. Щоб продезінфікувати приміщення потрібно використовувати великі дози озону, цей процес виконується в

порожніх, закритих приміщеннях. Після озонування їх слід провітрювати не менше двох годин.

**4W** Концентрація газу під час озонування, залежить від тривалості очищувальних процедур, але треба враховувати, що:

- максимальна концентрація його в повітрі населених пунктів складає 0,16 мг/м<sup>3</sup>.
- середньодобова допустима норма речовини-0,03 мг/м<sup>3</sup>.
- гранична межа вмісту озону в повітрі 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

**1O** Дезінфекція різних приміщень, тари, обладнання, інструментів та інших об'єктів може проводитися озонованою водою. Райс в доповіді на конгресі Міжнародної Асоціації з озону в 2001 році повідомляє про серію робіт, проведених в Каліфорнійському університеті з дезінфекції металевих і пластикових поверхонь обладнання, що використовуються в харчовій промисловості. Оброблювана поверхня становила 100 см<sup>2</sup> для цих цілей використовували спрей озонованою води, до того ж доза озону, яка вводилась становила 200 ppm (~400 мг/м<sup>3</sup>), швидкість подачі – 10 грам в хвилину, залишковий озон у воді був близько 1 ppm (~2 мг/м<sup>3</sup>). В цьому випадку мікроби просто змивалися потоком води, а потім гинули в озонованій воді. Озон у 15 разів більше, ніж кисень, здатний розчинятися у воді. [286].

**2O** Вивчена інформація підтверджує безпеку озону для використання в харчовій промисловості як дезінфектанту й дозволяє класифікувати його в ранзі GRAS (Generally Recognized As Safe). Він визнається безпечним в тому випадку, коли рівні використовуваного озону та методи його використання відповідають надійно перевіреній практиці.

**3O** Хімічне очищення повітря робочої зони промислових підприємств від ароматичних вуглеводнів (фенол, формальдегід, ксилол, толуол, ацетон, аміни та ін.) є складним і дорогим завданням. За даними Американського агентства охорони навколишнього середовища, робота з забрудненням повітря робочої зони фенолом і формальдегідом навіть на рівні 1-2 ГДК підвищує ризик онкологічних захворювань кровотворних органів і легенів на 40-60%. Запахи є причиною стресу, що впливають на нервову й імунну системи організму, що не менш небезпечне, ніж отруєння

хімічними речовинами. Повітряні викиди містять майже завжди окис азоту і сірки, сірководень, летючу органіку. У ряді випадків спостерігаються викиди фтору, окису ванадію й синильної кислоти. Пропускання газів, що відходять через спеціальні розчини, насичені озоном, значно підвищує ефективність очищення.

**40** Більший ефект цього способу досягається завдяки тому, що озон, пошкоджуючи клітинну оболонку вірусу, блокує можливість його розмноження та негативного впливу на людський організм. Аналогічно він діє і на шкідливі мікроби, бактерії, пошкоджуються мембрани клітини, що призводить до їх загибелі. Згідно проведеним експериментам з рівнем озону в повітряному середовищі до 5 мг/л гине за кілька хвилин практично 100% найнебезпечніших бактерій, вірусів, грибів, найпростіших.

**50** Очищення повітря озоном дає результат там, де використовують кондиціонери, обігрівачі. Коли повітря втрачає негативні іони, кисень, шкідливих токсичних елементів в свою чергу стає набагато більше, тому що простір замкнуто, немає циркуляції. Відомо, що кондиціонери є джерелом інфекції, в них стрімко розмножуються бактерії, мікроби. На втому, головний біль, часті застуди скаржаться люди, які проводять час в непровітрюваних приміщеннях, озонатори допоможуть вирішити проблему.

**60** Очищення повітря озоном сприяє:

- зміцненню імунітету, зменшенню алергічних проявів;
- міцному сну, відсутності шуму, болю в голові, стабільному тиску;
- поліпшенню самопочуття, відсутності депресій;
- швидкому загоєнню ран, розсмоктуванню швів і рубців;
- відсутності ускладнень при симптомах порушення дихальної функції;
- постачання крові киснем;
- нормальній реакції організму на перепади атмосферного тиску;
- стійкості до стресів – супутникам важкої офісної роботи;
- поліпшенню обміну речовин в нирках, печінці, роботі серцевого м'яза.

**70** Проблема забруднення вихлопними газами двигунів внутрішнього згоряння повітряного середовища стала за останні роки найактуальнішою та складною задачею

в області екології й технології, де доводиться шукати нові методи і технології очищення. У відомих фільтрах-нейтралізаторах автомобільного вихлопу застосовуються каталітичні системи на основі сполук паладію, платини, родію та його сполук, однак ці фільтри дорогі (понад 500 доларів за комплект), а їх використання накладає певні обмеження на якість застосовуваних палив [287]. Саме ці особливості визначають перспективність використання озонових технологій. Однак, при застосуванні озонових технологій відпадає необхідність транспортування і зберігання реагентів з дотриманням строгих заходів безпеки.

**1Т** Однак необхідно відзначити, що озон не є абсолютно безпечною речовиною та при високих концентраціях вважається отруйним газом. Гранично допустима концентрація (ГДК) озону в повітрі прийнята рівною  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , при температурі  $273\text{К}$  і тиском  $1 \text{ атм.}$  озон у невеликих концентраціях (від  $0,001$  до  $0,03 \text{ мг/м}^3$ ) постійно знаходиться в повітрі та розглядається, як показник його чистоти і свіжості [286].

**2Т** За параметрами гострої токсичності озон відноситься до 1 класу небезпеки. Згідно [288] (з 01.01.2019 не діє) гранично допустима концентрація (ГДК) озону в повітрі робочої зони –  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , максимальна разова ГДК озону в атмосферному повітрі –  $0,16 \text{ мг/м}^3$ , середня добова ГДК озону в атмосферному повітрі –  $0,03 \text{ мг/м}^3$ . При вдиханні високих концентрацій озону ( $9 \text{ мг/м}^3$ ) та вище може з'явитися кашель, подразнення очей, головний біль, запаморочення та болю в грудині. Можлива поява бронхоспазму і навіть початкових стадій набряку легенів (при багатогодинному дії високих концентрацій). На щастя, характерний запах озону органолептичним методом починає відчуватися вже при концентраціях  $0,004\text{-}0,015 \text{ мг/м}^3$ , тобто суттєво нижче гігієнічного нормативу.

Озонування здійснює бактерицидне очищення повітря від вірусів і бактерій (легіонела, кишкова паличка, паличка мишачого тифу, мікобактерія прокази, золотистий стафілокок, синьогнійна паличка, тифозна паличка, туберкульозна паличка, стрептококи групи Б, гонококи, аденовіруси, іриновіруси, віруси грипу), спор грибів і цвілі з ефективністю  $90\text{-}100\%$ . Озоноване повітря сприяє імуностимуляції організму, активність лізоциму зростає на  $30\text{-}40\%$ , бактерицидна

## SWOT аналіз застосування озонових технологій

Strengths	Weaknesses
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока ефективність застосування, озон діє дуже швидко—протягом секунд.</li> <li>2. Низька вартість витрат на впровадження й обслуговування установок.</li> <li>3. Екологічна безпека. Залишковий озон швидко перетворюється в кисень</li> <li>4. Не існують і не можуть виникнути стійких до озону форм мікробів та мікроорганізмів.</li> <li>5. Озон справляється з вірусами в до 6 разів якісніше ультрафіолету</li> <li>6. Озон більш ефективний як бактерицид у воді, ніж у повітрі</li> <li>7. Озон не утворює токсичних побічних продуктів.</li> <li>8. Можливо відчувати запах озону при концентрації раз у 10 нижче ГДК.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для руйнування колоній грибків, які вже виникли потрібно значно вищі концентрації.</li> <li>2. В Україні озон останнім часом використовувався тільки в «промислових проектах» та медичних цілях.</li> <li>3. Постійно дихати концентрованим озоном шкідливо</li> <li>4. Концентрація газу під час озонування, залежить від тривалості очищувальних процедур, але треба враховувати ГДК</li> </ol>
Opportunities	Threats
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дезінфекція різних приміщень, тари, обладнання, інструментів</li> <li>2. безпечне використання озону в харчовій промисловості як дезінфектанту</li> <li>3. Хімічне очищення повітря робочої зони промислових підприємств від ароматичних вуглеводнів.</li> <li>4. Пошкоджує клітинну оболонку вірусу, блокує можливість його розмноження та негативного впливу на людський організм</li> <li>5. Очищення повітря озоном дає результат там, де використовують кондиціонери, обігрівачі.</li> <li>6. Очищення повітря озоном сприяє оздоровленню.</li> <li>7. Використання озонових технологій у фільтрах-нейтралізаторах автомобільного вихлопу</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. При високих концентраціях вважається отруйним газом.</li> <li>2. За параметрами гострої токсичності озон відноситься до 1 класу небезпеки.</li> <li>3. Приземний озон один із головних та небезпечних компонентів фотосмогу.</li> <li>4. Погана озоностійкість деяких матеріалів у повітрі.</li> </ol>

здатність шкіри збільшується на 30%, на 20-30% зменшується захворюваність на гострі респіраторні захворювання, грип, ангіну, пневмонію, туберкульоз та ін. У 3-5 разів знижується захворюваність, пов'язана з гіпертонічною хворобою, на 10-20% зменшується захворюваність на ішемічну хворобу серця.

**3Т** Приземний озон один із головних та небезпечних компонентів фотосмогу. У роботі [289] показав, що збільшення концентрації озону на  $20 \text{ мкг/м}^3$  призводить до збільшення смертності на 0,64 % від серцево-судинних захворювань та захворювань органів дихання, а в дослідженнях [290] автори отримали збільшення смертності в результаті серцево -судинних захворювань від озону на 0,45% зі збільшенням його часових концентрацій на  $10 \text{ мкг/м}^3$

**4Т** Погана озоностійкість матеріалів у повітрі. Озоностійкість матеріалів - здатність матеріалів зберігати постійними свої характеристики і зовнішній вигляд при впливі на них озону. Таки матеріали не слід застосовувати в озонових технологіях - алюміній, монель, магній, цинк, нейлон, натуральний каучук, сталь, оцинкована сталь, поліацеталь, поліетилен низької щільності, поліамід, поліпропілен, скловолокнистий композит, еластомер.

Таким чином, на підставі проведеного SWOT аналізу (табл. 5.3) можна затверджувати про перевагу використання озонових технологій, які дають хороші перспективи та переваги у розвитку, крім того врахувати зовнішні загрози та використовувати виявлені можливості. понять, какие негативные стороны бренда наиболее уязвимы для внешних угроз и попытаться от них избавиться.

**5.3.3 Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій озонуванням.** Грунтуючись на аналізі вітчизняних і закордонних літературних даних у роботі запропоновано спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонових технологій.

Озонування з метою очищення повітря від забруднень можна проводити двома способами: сухим, коли повітря збагачується озоном, що отримуються за допомогою вбудованих в систему припливної вентиляції генераторів озону, і вологим, коли

повітря обробляється озонованою водою в камері зрошення кондиціонера або скрубера.

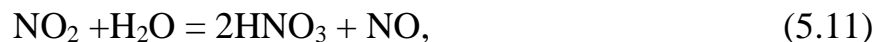
У сухому очищенні концентрація озону обмежується значенням ГДК, оскільки очищення відбувається в присутності людей. Сухий метод застосовують в основному для очищення не сильно забрудненого повітря (концентрація забруднюючих речовин  $1^{-10}$  ГДК). Ефективність очищення від забруднюючих речовин досягає 90%.

З багатьох хімічних реагентів найбільш доступним і безпечним з точки зору експлуатації та екології є вода. Однак її використання для абсорбції оксидів азоту, що містять до 95% NO, неможливо через дуже малої розчинності NO в воді. У той же час діоксид азоту швидко поглинається водою з утворенням азотної й азотистої кислот. Звідси випливає, що абсорбція  $\text{NO}_x$  водою можлива тільки при подальшому окисненні NO до  $\text{NO}_2$ . Швидке окислення NO в  $\text{NO}_2$  відбувається з використанням в якості окислювача озону, який при потраплянні в атмосферу швидко трансформується в молекулярний кисень, не забруднюючи її.

Окислення оксиду азоту озоном протікає повністю за реакцією :



з наступною хемосорбцією зрошуваною водою за реакцією:



де ступінь взаємодії становить 90%.

Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє отримувати озон безпосередньо на місці його споживання. температура, при якій рівновагу реакції окислення оксиду азоту (II) зрушено повністю вправо, повинна бути нижче 100 °С. Присутність в викидах оксиду сірки  $\text{SO}_2$  не змінює технології очищення, тому як швидкість і ступінь її окислення вище, ніж у NO. Крім того, очищення автомобільних викидів за цим способом дозволяє з подальшою обробкою видалити з них більшу частину діоксиду вуглецю. вуглеводнів й утилізувати їх.

На ступінь очищення газу від оксидів азоту суттєво впливає рН розчину. Так при значенні рН= 6,7 (дистильована вода без додавання лугу) ступінь очищення від оксиду азоту (II) дуже мала і становить приблизно 40 %, а від оксиду азоту (IV) досягає 90%. З підвищенням рН розчину ступінь очищення від оксиду азоту (II)

збільшується і досягає при рН=11,34 60%, тоді як ступінь очищення від оксиду азоту (IV) зменшується до 78%. Суттєво впливає на ступінь очищення й початкова концентрація оксидів азоту в газі, що очищається.

Таблиця 5.4

**Концентрація оксиду азоту (II) до і після введення радикалів  
з різними витратами озono-повітряної суміші**

Способи введення озono-радикального дуття	C <sub>NO</sub> до введення радикалів, мг/дм <sup>3</sup>	C <sub>NO</sub> після введення радикалів при різних витратах ОПС, мг/дм <sup>3</sup>			Необхідна кількість озону, мг/мг NO
		0,5	1	2	
Введення озono-радикально-повітряної суміші в потік повітря	80	64,0	67,5	69,0	0,684-0,693
Пропускання повітря крізь озоновану воду	81	68,0	68,5	67,3	0,781
Пропускання повітря крізь озонований лужний розчин	81	59,0	63,0	68,0	0,466-0,789
Введення озонованого лужного розчину в змішувач пальника	80	34,0	36,0	39,0	0,223-0,250

Таким чином, з концентрацією оксиду азоту (II) (табл. 5.4) не більше 60 ppm і концентрації оксиду азоту (IV) не більше 15 ppm ступінь очищення від оксиду азоту (II) досягає 60%, а від оксиду азоту (IV) досягає більше 80 % (сумарне очищення від оксидів азоту досягає 63-64 %).

Для кількісних розрахунків процесу, у тому числі витратних коефіцієнтів по озону та воді (в розрахунку на 1 м<sup>3</sup> повітря, що очищається) розглядали концентрації NO<sub>x</sub> в атмосферному повітрі в діапазоні 0 1 мг/м<sup>3</sup> [165]. Зазвичай частка NO<sub>2</sub> у викидах NO<sub>x</sub> становить 20% [291]. Ефективність очищення в озонованому скрубєрі досягає 75-80%, продуктивність по газовій фазі 2500 м<sup>3</sup>/год, час перебування в апараті 6-7 сек. [292÷294]. Обсяг води, що подається на зрошення, визначався з урахуванням розведення азотної кислоти, що утворюється, до рН=5.5, що згідно з правилами



прийому стічних вод у централізовану каналізаційну систему дає можливість направляти відпрацьовану воду в міську каналізацію.

Залежності кількості озону, необхідного для окислення  $\text{NO}_x$ , і води для зрошення скрубера від початкового вмісту оксидів азоту в повітрі, що очищається, представлені на рис.5.7.

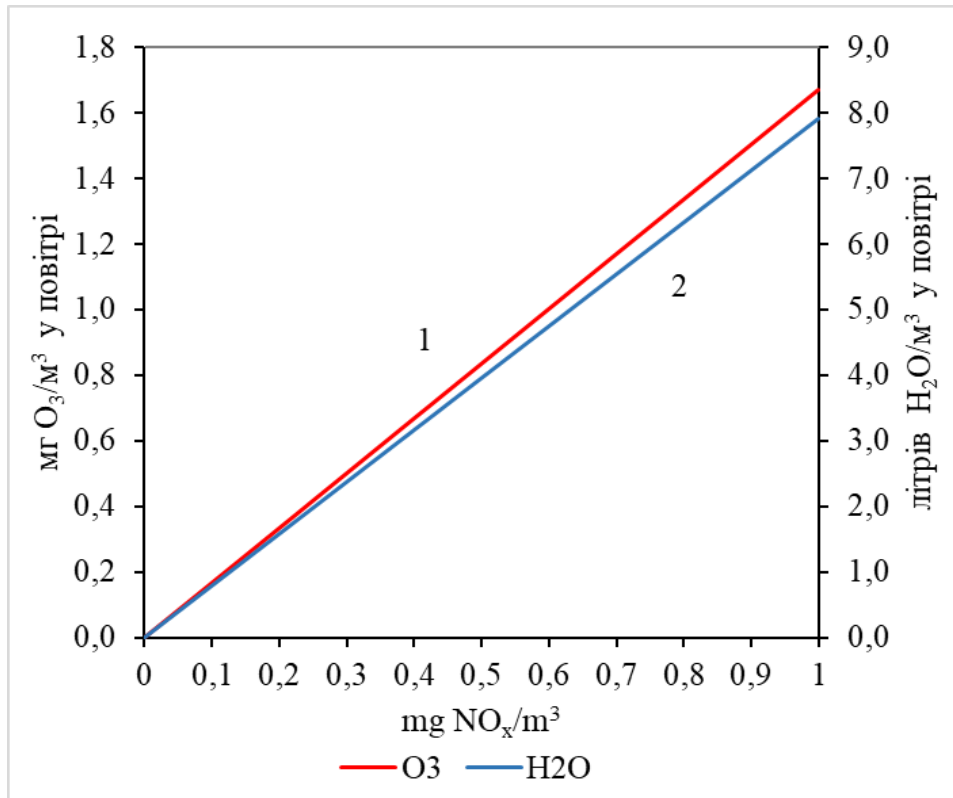


Рис.5.7. Витрата озону (крива 1) і води (крива 2) в залежності від вмісту  $\text{NO}_x$  у  $1 \text{ m}^3$  очищеного повітря

Так, для очищення повітря з початковою концентрацією  $\text{NO}_x$   $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$  потрібно близько  $2,1 \text{ г O}_3/\text{год}$ , що забезпечується блоком генерації озону потужністю  $3 \text{ г}/\text{год}$ . З  $0,9 \text{ г}/\text{год}$  озону, що не прореагував,  $0,279 \text{ г}/\text{год}$  розчиниться в зрошуючій воді (коефіцієнт розчинності  $0,31$  при  $20 \text{ C}$  [295]), решта буде нестися повітрям, що відходить.

Для забезпечення концентрації озону на виході зі скрубера на рівні нормативних значень газовідвідної труби встановлено блок каталітичної деструкції озону. Годинне споживання води становитиме близько  $10 \text{ m}^3$ .

Таким чином, запропоновано та задекларовано спосіб очищення забрудненого повітря шляхом озонування, який забезпечує отримання певного ефекту з очищення повітря на міських магістралях, забруднених вихлопними газами транспортних засобів. З точки зору економічної ефективності та можливостей апаратного оформлення технологічного процесу вигідним є пристрій із поєднаними процесами мокрого пиловловлення та озонування, тобто з механічною та хімічною стадіями очищення.

#### **5.4. Конструкційна модель очисної установки**

Авторами [294] розроблено конструкційна модель очисної установки, яка призначена для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилі. Вона полягає в тому, що забруднене повітря засмоктують з поверхні поблизу дорожнього полотна, очищують від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилі та повертають його в навколишнє середовище.

Основа запропонованої конструкційна модель очисної установки – це скруббер із поєднаними процесами мокрого пиловловлення (механічна стадія очищення) та озонування (хімічна стадія очищення), який характеризується високою ефективністю очищення від дрібнодисперсного пилу розміром до 2 мкм і працює за принципом осадження частинок пилу на поверхню крапель під дією сил інерції або броунівського руху та оксидів азоту). Він є вертикальним порожнистим апаратом з нержавіючої сталі, в нижній частині якого є решітка. На неї покладено шар насадок для рівномірного розподілу газового потоку по перерізу апарату та збільшення ступеня абсорбції. У верхній частині апарату, щоб уникнути бризкоуносу, встановлений краплевідбійник. Вода для зрошення подається протитечією газовому потоку за допомогою декількох рядів радіально встановлених форсунок. На повітряозабірних штуцерах встановлені фільтри грубого очищення повітря. Корпус виконаний з шумозаглушенням, захистом від блискавок і вандалізму.

Абсорбція є дуже ефективним процесом очищення газів з помітною концентрацією, проте вона також можлива для газів при малих концентраціях, коли газ добре розчиняється в абсорбенті. Оскільки повітря, що очищається, являє собою низькоконцентрований газ малої окисності (зміст NO до 80-90%), то він слабо піддається абсорбції. Для повнішого поглинання NO<sub>x</sub> необхідно окислити NO до NO<sub>2</sub> не менше ніж на 55%, з цією метою в скруббер подається озон. Озоноване повітря подається через штуцер. Очищений газ відводиться з верхньої частини апарату, а вода з вловленим пилом у вигляді шламу збирається внизу скруббера. Ступінь очищення від пилу з розміром частинок більше 5 мкм може складати більше 90%.

Скруббер працює періодично, включається автоматично при спрацьовуванні датчика про перевищення концентрації NO<sub>x</sub> у повітрі вище рекомендованої ВООЗ [29] або може керуватися дистанційно на запит.

Повітря яке очищується проходить три вертикальні ступені, надходячи через патрубки в середній частині скруббера. Проходячи кільцевий зазор першого ступеня, повітря потрапляє в зону розпилення води, де відбувається очищення газу від забруднюючих його частинок. На третьому етапі, куди вже очищений газ потрапляє через систему тарілок, відбувається відділення вологи від газу. Очищений газ виходить через патрубок верхній частині скруббера. Кількість рідини, що подається на 1 м<sup>2</sup> перетину в секунду (щільність зрошення) залежить від типу насадки і становить 5-20 м<sup>3</sup>/год. Забруднена вода витікає в спеціальний зазор в днище апарату через зливний патрубок разом зі шламом виходить з скруббера.

Конструкційна модель очисної установки **9** (рис.5.8, 5.9, 5.10) [296, 297] обладнано форсунками **13** (у верхній частині установки) через які під високим тиском у 70 бар насосом **7**, подається попередньо очищена фільтром **6** вода через регулюючу арматуру **5, 8** та створює так званий «туман». Одночасно в нижній частині очисної установки подається попередньо очищене повітря фільтром **14** у озонатор **10**. Озоно-повітряна суміш змішується з «туманом» води у **9** та під тиском, що створюють вентилятори **3, 4**, забруднене повітря проходить до верхньої частини очисної установки, оксиди азоту, оксиди вуглецю та вуглеводні вступають у реакцію та нейтралізуються. Після очищене повітря за допомогою осьового канального

вентилятору **11** потрапляє до навколишнього середовища. Спостереження за концентрацією озону у повітрі фіксується датчиком (електрохімічним сенсором) озону **16**, при перевищенні озonom ГДК, установка вимикається автоматизованою системою **15**.

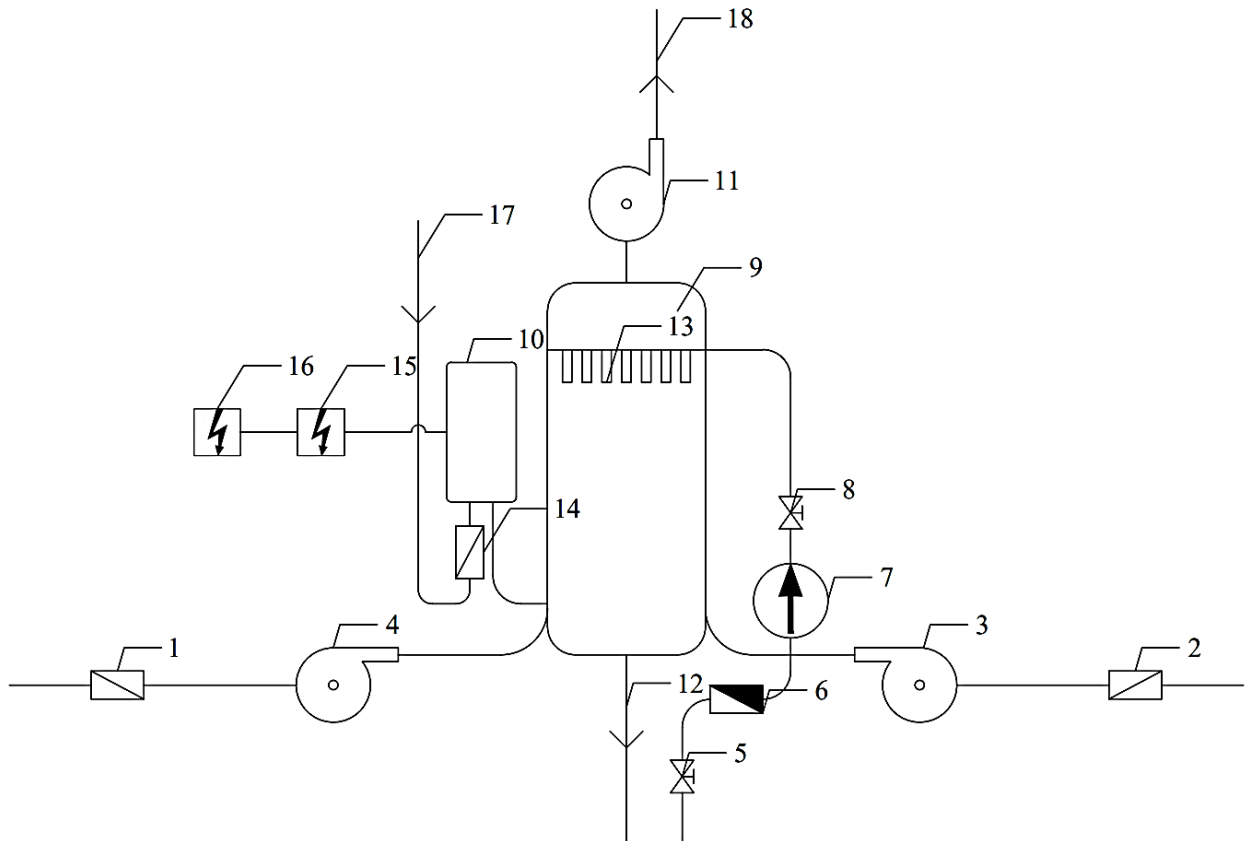


Рис. 5.8. Конструкційна модель очисної установки:

- 1, 2 – фільтр грубого очищення повітря; 3, 4 – осьовий каналний вентилятор;  
 5, 8 – регулююча арматура; 6 – фільтр очищення води;  
 7 – насос високого тиску; 9 – скруббер 600М; 10 – озонатор;  
 11 – осьовий каналний вентилятор; 12 – відведення стічної води;  
 13 – форсунки; 14 – фільтр очищення повітря від вологи; 15 – щит автоматичного керування установки; 16 – електрохімічний сенсор;  
 17 – подача повітря для озонатору; 18 – відведення очищеного повітря

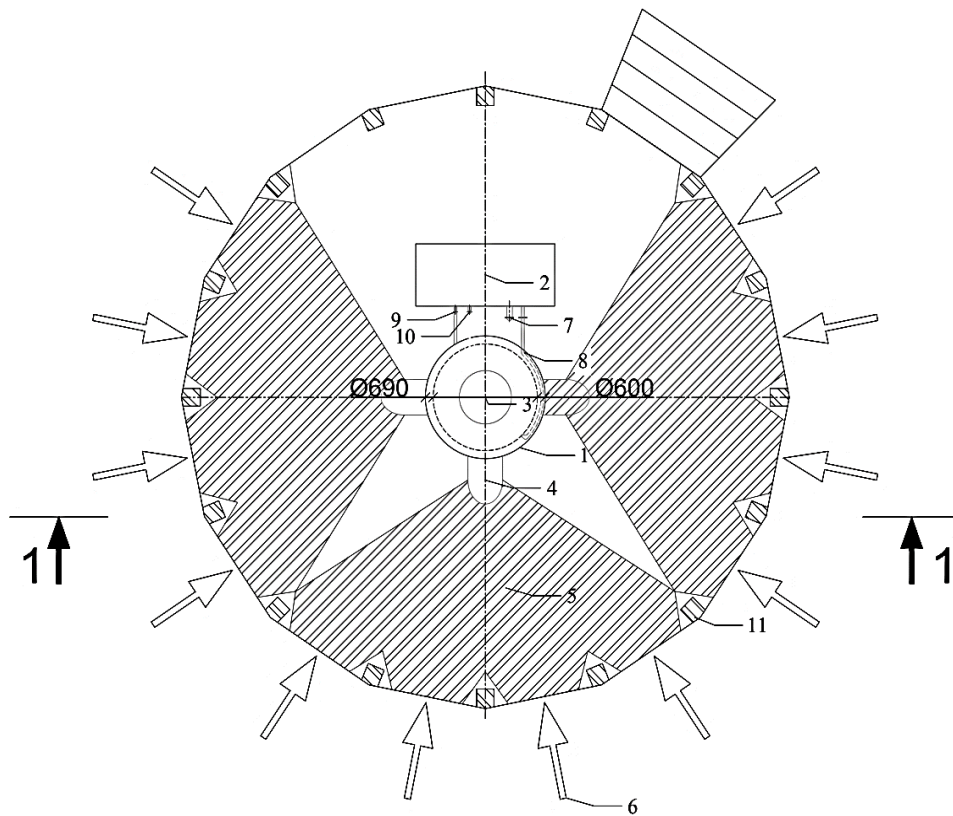


Рис. 5.9. Схема розташування обладнання.

1 – скруббер 600М; 2 – шафа з електрообладнанням; 3 – вентиляційна труба відведення очищеного повітря; 4 – вентиляційна труба подачі повітря на очищення 5 – вентиляційний канал забору повітря на очищення; 6 – напрями забору повітря; 7 – подача води до насосу; 8 – подача води до скрубберу; 9 – подача озону до скрубберу; 10 – забір повітря для озонатору; 11 – закладні деталі.

Для забезпечення концентрації озону на виході з очисної установки на рівні нормативних значень газовідвідної труби встановлено блок каталітичної деструкції озону. Годинне споживання води становитиме близько  $10 \text{ м}^3$ . З метою скорочення витрати води може бути організовано рецикл. Автоматичне керування подачею матеріальних потоків (повітря, озону та води) відповідно до конкретного локального сценарію забруднення дозволить скоротити витратні коефіцієнти. Залежно від рівня забрудненості повітря в попередньо визначених міських локаціях передбачається встановлювати установки різної потужності. За потреби можна використовувати експрес-метод оцінки морозостійкості силікатних основ. [307].

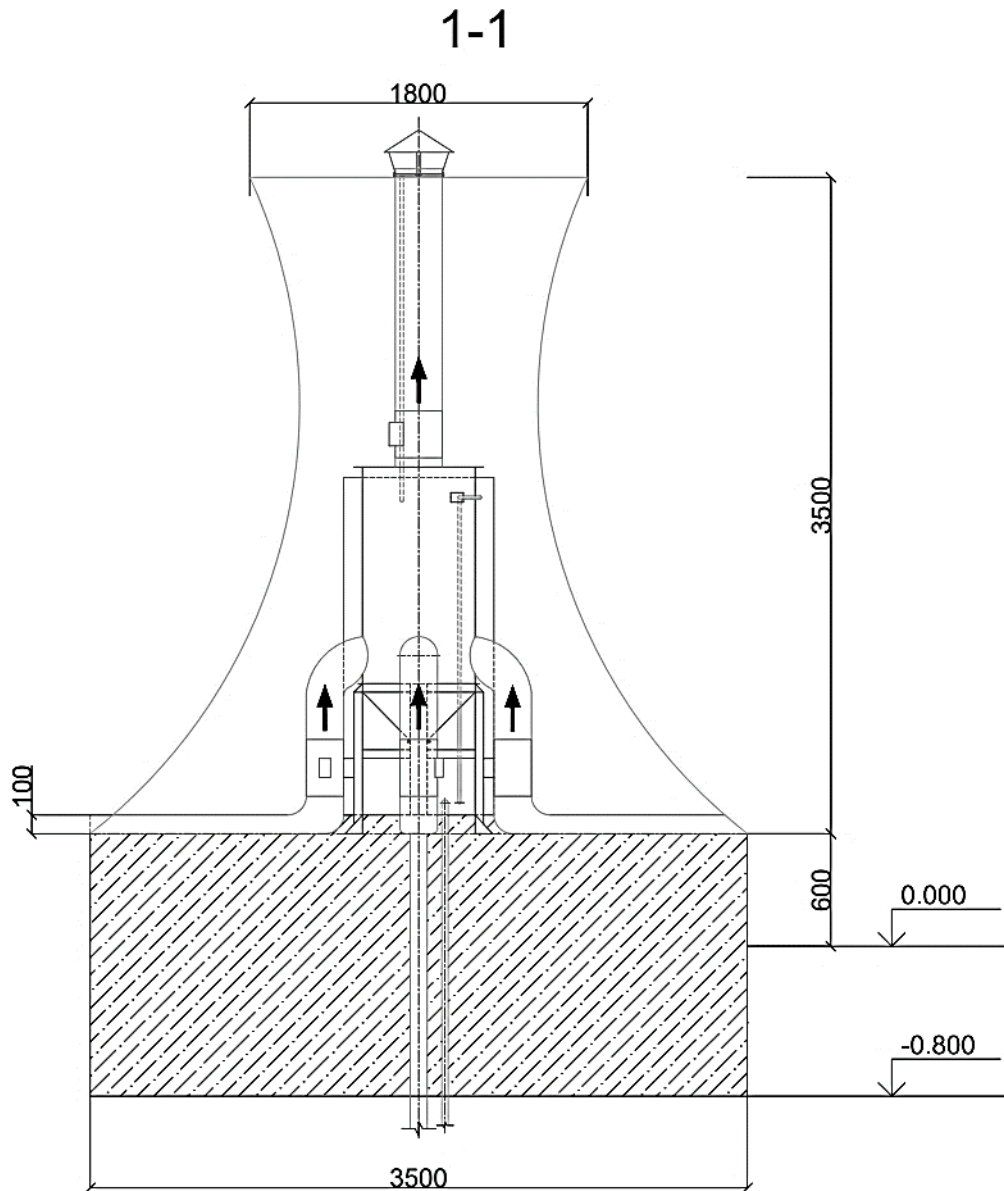


Рис. 5.10. Розріз 1-1 очисної установки

Одним із факторів, що впливають на безпеку руху, є безперервне електропостачання пристрої блокування. Як правило, передача електроенергії здійснюється за алюмінієвими проводами. У метю оцінки надійності ЛЕП у роботі було проведено дослідження впливу озону на корозію алюмінію у вологій атмосфері та кислому середовищі. Було встановлено, що присутність кисню, призводить до збільшення анодних струмів, а при перетині катодні озону на порядок збільшуються струми та в 2-3 рази зменшується анодний; корозійний потенціал  $E_{cor}$  зміщується у позитивну сторону при 0,15В. Зниження щільності анодних струмів у присутності

озону відбувається за рахунок зростання товщини плівки оксиду алюмінію. По оже-спектрах плівка збільшена в 3-4 рази порівняно з незонуваним середовищем, за рахунок чого корозійна стійкість алюмінію  $K_m$  збільшується з 0,066 до 0,025 г/(м<sup>2</sup>·год). Швидкість утворення оксидів залежить від концентрації окислювачів у розчині та від їх окисної активності. Відповідно розрахунків термодинамічних факторів, що визначають кращий шлях окислення, ймовірність утворення оксидів у присутності озону значно вища. Локальне руйнування захисного шару виникає в основному в дефектних місцях та місцях локального підвищення рН електродного шару. Дослідження циклічної поляризації зразка алюмінію, попередньо активованого струмом 1мА/см<sup>2</sup> щільності показав наявність гістерезису, який зменшується в наступні 2-3 цикли. В такому випадку, зовнішній вигляд алюмінію зсувається на (0,10 ÷ 0,15) У більш позитивно і швидкість корозії знижується, що свідчить про утворення оксидної плівки, де відбуваються незворотні зміни. Зміна нахилу поляризаційних кривих свідчить про запізнення катодної реакції та пов'язаний з зміною структури поверхневого шару електрода та дифузійні обмеження озону [221]. Виходячи з отриманих результатів, можна сказати, що наявність озону в кислому середовищі знижує швидкість корозії в 2-3 рази, в основному рівномірний, за рахунок зростання товщини плівки оксиду алюмінію.

На основі вивченої електрохімічної та корозійної поведінки нержавіючої сталі типу 18-10 встановлено, що в кислих середовищах озон знижує не тільки загальну корозію матеріалу, а й схильність сталі до локальних видів корозії (міжкристалітної, піттингової) [298].

Таким чином, розроблено конструкційна модель очисної установки призначений для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилі із поєднаними процесами мокрого пиловловлення та озонування, тобто з механічною та хімічною стадіями очищення і не вимагає великих матеріальних витрат у його реалізації. Наявність озону в кислому середовищі знижує швидкість корозії алюмінію в 2-3 рази, за рахунок зростання товщини плівки оксиду

алюмінію, знижує не тільки загальну корозію неіржавіючій сталі, а й схильність її до локальних видів корозії.

### 5.5 Модель технологічного процесу очищення повітряного басейну приміагістральної території

Грунтуючись на запропонованому способе очищення забрудненого повітря шляхом озонування, та конструкційна модель очисної установки призначений для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилі з механічною та хімічною стадіями розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря (рис. 5.11), що складається з чотирьох стадій, на кожному з яких визначено основні елементи [81, 299].

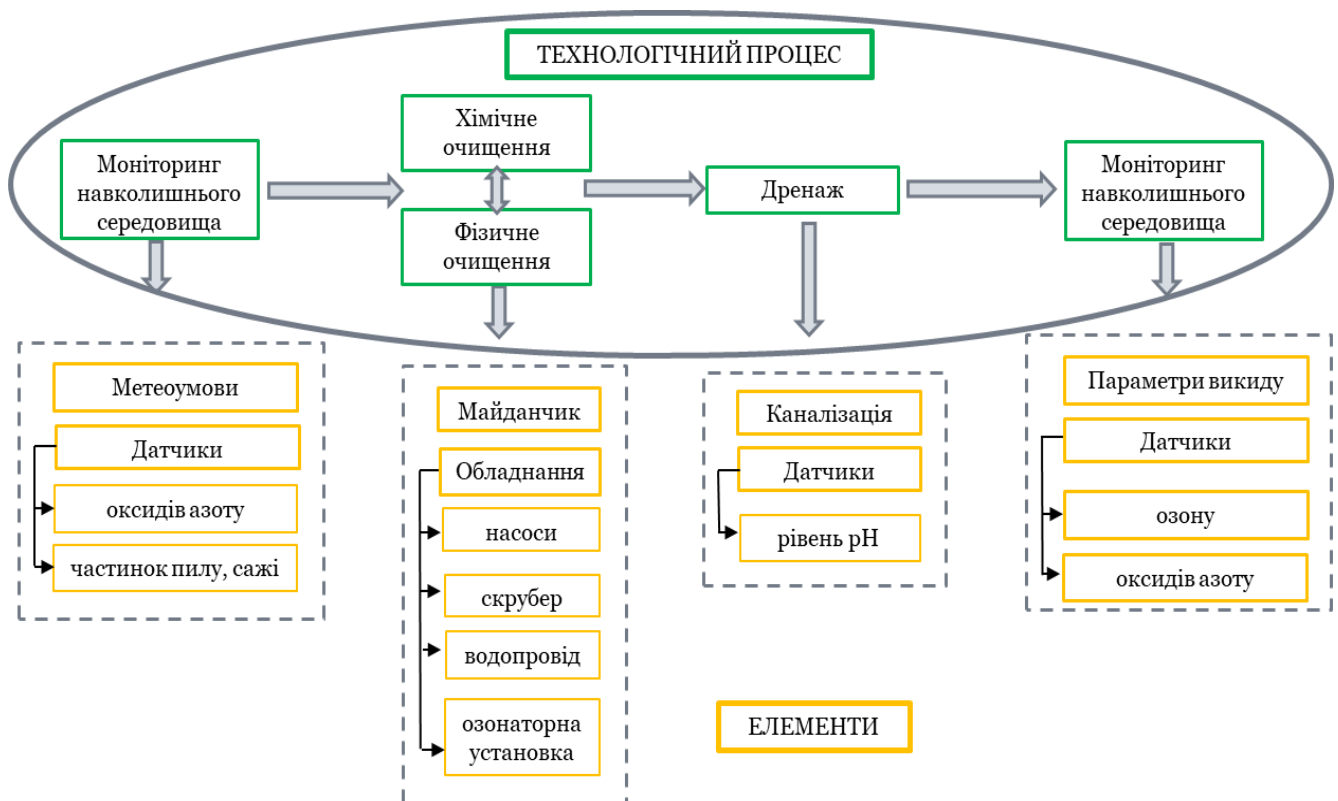


Рис 5.11. Схема-модель технологічного процесу очищення повітряного басейну приміагістральної території з відповідними елементами.

**Стадія 1. Моніторинг навколишнього середовища.** Для включення очисного пристрою в роботу необхідно врахувати такі фактори як метеоумови та рівень



забруднення оксидами азоту та зваженими частинками повітряного простору приміагістральної території. Метеоумови- температура, сильний вітер, злива, гроза, сніг. Температура може визначатися в залежності від використовуваного очищення, якщо це фізичне (механічне) очищення  $2 \div 40$  °С, якщо хімічне - то за участю води  $2 \div 40$  °С, без участі води -  $-20 \div 40$  °С. Рівень забруднення оксидами азоту та зваженими частинками повітряного простору приміагістральної території контролюється датчиками оксидів азоту та частинок пилу, сажі. З метою визначення вмісту забруднюючих речовин і параметрів навколишнього середовища здійснюється безперервно.

**Стадія 2. Хіміко-механічне очищення.** Ця стадія розділяється на два процеси - фізичне (механічне) очищення та хімічне очищення. Основні елементи є територія розташування очисної споруди та очисне обладнання. У разі перевищення рівня забруднення оксидами азоту та зваженими частинками повітряного простору приміагістральної території запускається режим хіміко-механічного очищення повітря. Очисне обладнання -це пристрій мокрого очищення повітря, що конструктивно складається з: секції введення забрудненого середовища, робочої камери, форсуночного блоку, системи рециркуляції, шламоприймача, секція озонування та відведення газу.

**Стадія 3. – Дренаж.** На цієї стадії скидання відпрацьованої води в каналізацію з визначенням рівня рН для контролю зливу.

**Стадія 4. Моніторинг навколишнього середовища.** Завершальний етап процесу - контроль повітря, що відходить з визначенням вмісту озону і оксидів азоту. Процес автоматичний і регулюється рівнем забруднення повітряного басейну.

Моніторинг атмосферного повітря вмісту забруднюючих речовин (оксидів азоту та пилу) та параметрів навколишнього середовища здійснюється безперервно.

У місці безпосередньої установки апарата необхідний доступ до водопровідної води, електричної мережі та каналізації. Пристрій працює періодично, включається автоматично при спрацьовуванні датчика про перевищення концентрації NO<sub>x</sub> у повітрі вище рекомендованої ВООЗ [29] або може керуватися дистанційно на запит.



Рис.5.12. Умови роботи об'єктів очисної споруди

Визначено умови роботи очисних споруд на міських територіях (рис.5.12) [299]. Основна необхідна умова - це перевищення рівня забруднення повітряного басейну приміагістральної територій, який змінюється в залежності від трафіку і метеоумов. Достатня умова - це наявність інженерних комунікацій і містобудівні показники. Важливим контролюючою умовою роботи є рівень концентрації озону на виході з очисної споруди, оскільки озон відноситься до 1 класу небезпеки.

Облік вкладу фонових джерел викиду може бути також забезпечений шляхом додавання значень фонові концентрації до результатів розрахунку атмосферного повітря викидами від врахованих джерел. Зокрема, при розрахунках разових і середньорічних концентрацій речовини відповідно використовуються фонові концентрації разові  $C_{фр}$  і середньорічні  $C_{фг}$ , які відповідають часу осереднених 20 хв і 1 рік.

Якщо фонові концентрації встановлюються за даними спостережень для знову споруджуваних джерела або групи джерел викиду (підприємства, об'єкта групи

об'єктів), то  $C_{фр}$ , мг/м<sup>3</sup>, визначається як рівень концентрацій, що перевищує в 5% регулярних спостережень за разовими концентраціями ЗВ, а  $C_{фг}$ , мг/м<sup>3</sup>, визначається, як середньорічна концентрація ЗВ, створювана всіма джерелами викидів. Фонові концентрації ЗВ встановлюються єдиним значенням по місту, або, в разі виявлення їх істотної мінливості по території міста, диференційовано по постах.

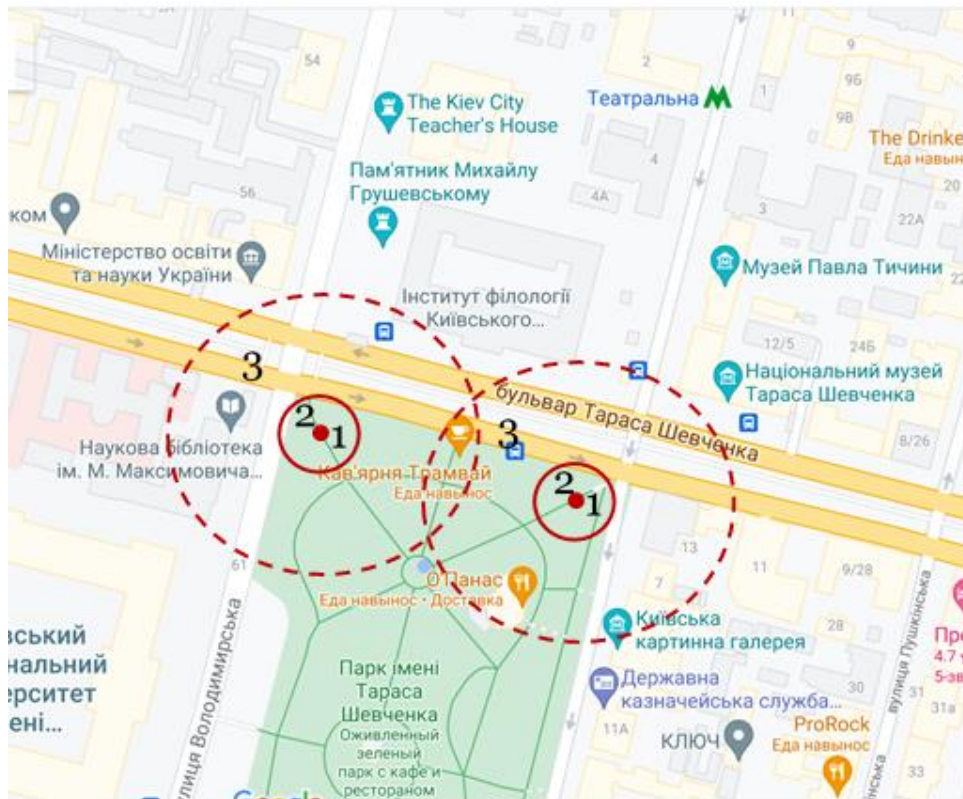


Рис. 5.13 Модель територіального розподілу зон дії очисної споруди: 1 – очисна споруда (висота 3,5 м); 2- санітарна зона максимальної концентрації озону 50 м; 3 – зона дії очисної споруди 500 м.

Відповідно до проведених досліджень і розрахунків моделей розсіювання визначені санітарно-захисна зона (50 м) і зона дії очисної споруди (500 м). Виходячи з даних [81] відомо, що забруднення оксидами азоту досягає в певні моменти значень в десятки разів більші, ніж ГДК і розсіюються на відстані понад кілометр, тому на ділянках примагістральної території, а це перш за все перехрестя, необхідно розміщувати кілька споруд. Розрахована модель територіального розподілу зон дії очисної споруди на прикладі перехрестя біля парку Т.Г. Шевченка м. Київ (рис. 5.13). Рівень забруднення атмосферного повітря на автомагістралях особливо поблизу

регульованих перехресть є одним з найвищих у порівнянні з рівнем забруднення поблизу інших ділянок вуличне-дорожньої мережі, тому виникає необхідність встановлювати дві і більше очисних споруд.

Розрахунок довгоперіодичних середніх концентрацій діоксиду азоту ( $\text{NO}_2$ ) і оксиду азоту ( $\text{NO}$ ) проводиться з урахуванням часткової трансформації  $\text{NO}$  в більш токсичний  $\text{NO}_2$  середньому за розглянутий період часу безрозмірному коефіцієнті трансформації  $a_N$ . При цьому для кожного з включених до розрахунку джерел на основі вихідних даних про викиди  $\text{NO}_2$  і  $\text{NO}$ , визначається потужність сумарного викиду  $M_{\text{NO}_x}$  оксидів азоту, перераховані до викидів  $\text{NO}_2$ :

$$M_{\text{NO}_x} = M_{\text{NO}_2} + 1,53 \cdot M_{\text{NO}} \quad (5.12)$$

Далі за формулами (5.13, 5.14), для кожного з цих джерел визначаються перераховані значення потужності викиду  $\text{NO}_2$  і  $\text{NO}$ , які використовуються в подальших розрахунках замість вихідних викидів

$$M_{\text{NO}_2} = a_N \cdot M_{\text{NO}_x}, \quad (5.13)$$

$$M_{\text{NO}} = 0,65 \cdot (1 - a_N) \cdot M_{\text{NO}_x} \quad (5.14)$$

Коефіцієнт  $a_N$  залежить від місцевих особливостей режиму інтенсивності короткохвильової, в тому числі ультрафіолетової радіації, фонового вмісту в атмосферному повітрі озону ( $\text{O}_3$ ), оксидів азоту, різних фракцій вуглеводнів. Значення  $a_N$  для розглянутої території визначаються як за розрахунковими, так і за експериментальними даними. Для оксидів азоту допускається встановлювати в розрахунках значення коефіцієнта часткової трансформації  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  для максимальних разових концентрацій рівним 0,8, а для середньорічних концентрацій рівним 0,6.

Таким чином, розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря, що складається з чотирьох стадій, на кожній з яких визначено основні елементи та умови роботи очисних споруд на міських територіях. Головна необхідна умова - це перевищення рівня забруднення повітряного басейну приміагістральної територій, який змінюється в залежності від трафіку і метеоумов. Достатня умова - це наявність інженерних комунікацій і містобудівні показники.

## 5.6 Моделювання процесів розподілу озону очисної спорудою у повітряному просторі примагістральної території міста

Структурологічна модель задач для розрахунків розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферному повітрі, а саме моделювання процесів розподілу озону очисної спорудою у повітряному просторі примагістральної території міста складається з:

- визначення нормативів викидів шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферне повітря;
- розробці переліку заходів з охорони навколишнього середовища у складі розділів проектної документації;
- обґрунтування орієнтовних розмірів санітарно-захисних зон;
- розробці та обґрунтування організаційно-технічних заходів, що впливають на рівень забруднення атмосферного повітря, при оцінці їх результатів
- оцінці впливу намічуваної господарської чи іншої діяльності на якість атмосферного повітря;
- оцінці короткострокових і довгострокових рівнів забруднення атмосферного повітря і відповідних концентрацій забруднюючих атмосферу речовин (фонові концентрації).

Використовували Гаусові методи які дозволяють розрахувати:

- максимальні разові концентрації забруднюючих речовин  $c_m$ , відповідних поєднанню несприятливих метеорологічних умов, в тому числі, небезпечної швидкості вітру, і несприятливих умов викиду ЗР в атмосферне повітря та інших параметрів викиду (висота, діаметр гирла, температура, швидкість, потужність викиду).
- безрозмірні концентрації  $q_k$  забруднюючих речовин в атмосферному повітрі груп речовин комбінованої шкідливої дії (повної сумації, неповної, потенціювання)

- середні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, відповідних тривалому (сезон, рік) часу, зокрема, середньорічних, концентрацій з забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Розрахунки проводилися відповідно до наведеної конструкції установки (рис.5.6÷5.9) и підібраного інженерно-технічного обладнання очисної споруди (см. розділ 6) [81]. Моделювання проводили на прикладі розподілу, умовно викидів, озону з очисної споруди без урахування фонового забруднення та трансформації речовини.

Розраховували максимальну приземну разову концентрацію речовини  $c_m$ , мг/м<sup>3</sup>, при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом, при небезпечній швидкості вітру  $u_m$  на відстані  $x_m$  від джерела викиду за формулою (5.12) [103],:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta}}, \quad (5.15)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери, що визначає умови горизонтального і вертикального розсіювання речовини в атмосферному повітрі. Значення коефіцієнта  $A$  приймають при максимальних значеннях концентрації речовини в атмосферному повітрі;

$M$  - маса речовини, що викидається в атмосферне повітря в одиницю часу (потужність викиду), г/с;

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання речовини в атмосферному повітрі;

$m$  і  $n$  – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови викиду з гирла джерела викиду;

$\eta$  - безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості;

$H$  – висота джерела викиду, м;

$V_1$  – витрата газоповітряної суміші, що визначається за формулою (5.16), м<sup>3</sup>/с;

$\Delta T$  - різниця між температурою викидається газоповітряної суміші  $T_r$  і

температурою атмосферного повітря  $T_e$ , °C.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_0, \quad (5.16)$$

де  $D$  - діаметр гирла джерела викиду, м;

$w_0$  - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду, м/с.

При проведенні розрахунків забруднення атмосфери під приземної концентрацією шкідливої речовини розуміється концентрація речовини на висоті 2 м від поверхні землі. Згідно запропонованої моделі очисної споруди визначаємо параметри:  $A = 150$ ;  $M = 1$  г/год = 0,28 мг/с;  $\eta = 1$ ;  $H = 1,5$  м;  $D = 0,25$  м;  $V_1 = 0,66$  м<sup>3</sup>/с;  $w_0 = 13,5$  м/с;  $\Delta T = 0,5$ °C.

Значення безрозмірного коефіцієнта  $F$  при відсутності даних про розподіл на викиді частинок аерозолів за розмірами визначається для газоподібних і дрібнодисперсних аерозолів діаметром не більше 10 мкм  $F = 1$ ;

Коефіцієнти  $m$  і  $n$  визначаються в залежності від характеризуючих властивостей джерела викиду параметрів  $v_M$ ,  $v'_M$ ,  $f$  та  $f_e$ :

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1.17)$$

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,66 \cdot 0,5}{1,5}} = 0,31$$

$$v'_M = 1,3 \cdot \frac{w_0 \cdot D}{H}, \quad (5.18)$$

$$v'_M = 1,3 \cdot \frac{13,5 \cdot 0,25}{1,5} = 2,92$$

$$f = 1000 \cdot \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (5.19)$$

$$f = 1000 \cdot \frac{13,5^2 \cdot 0,25}{1,5^2 \cdot 0,5} = 40 \cdot 10^3$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_M)^3. \quad (5.20)$$

$$f_e = 800 \cdot (2,92)^3 = 20 \cdot 10^3$$

Коефіцієнт  $m$  при  $f \geq 100$  визначається за формулою:

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad (5.21)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{40 \cdot 10^3}} = 0,042$$

При  $f \geq 100$  або  $0 \leq \Delta T < 0,5$   $n = 1$  при  $v_m \geq 2$ .

При загальній висоті очисної споруди  $H = 3,5$  м  $v_m = 0,23$ ;  $v'_m = 1,25$ ;

$$f = 7,4 \cdot 10^3; f_e = 1562,50; m = 0,075.$$

Якщо температура газів, що відходять близька до температури навколишнього повітря, то викиди відносяться до холодних. Холодні викиди при

$f \geq 100$  (або)  $0 \leq \Delta T < 0,5$  та  $v'_m \geq 0,5$  при розрахунку  $c_m$  використовується формула:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}{H^{4/3}}, \quad (5.22)$$

де

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1} = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}}, \quad (5.23)$$

Розрахуємо

$$K = \frac{0,25}{8 \cdot 0,66} = 0,047,$$

Тоді

$$c_m = \frac{150 \cdot 0,28 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,047}{1,5^{4/3}} = 1,15 \text{ мг/м}^3$$

При  $H = 3,5$  м  $c_m = 0,37$  мг/м<sup>3</sup>.

Відстань  $x_m$  від джерела викиду, на якому приземна концентрація газоповітряної суміші при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення  $c_m$ , визначається за формулою:

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H \quad (5.24)$$

Безрозмірний коефіцієнт  $d$  при  $f \geq 100$  або  $0 \leq \Delta T < 0,5$  знаходиться за



формулою:

$$d = 16 \cdot \sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2 \quad (5.25)$$

$$d = 16 \cdot \sqrt[2]{2,92} = 27,34$$

Тоді

$$x_m = \frac{5-1}{4} \cdot 27,34 \cdot 1,5 = 41 \text{ м}$$

При  $H = 3,5 \text{ м}$

$$d = 11,4 \cdot v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (5.26)$$

$$d = 11,4 \cdot 1,25 = 14,25; \quad x_m = 49,8 \text{ м}$$

Для джерела викиду фіксованої висоти  $H$  при  $0 \leq v'_m < 0,5$  та  $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$  значення  $x_m$  можливо прийняти рівним  $5,7 H$ , тобто  $5,7 \cdot 1,5 = 8,55 \text{ м}$ .

Небезпечна швидкість вітру  $u_m$  при  $f \geq 100$  або  $0 \leq \Delta T < 0,5$  значення обчислюється за формулою:

$$u_m = 2,2 \cdot v'_m \text{ при } v'_m > 2, \quad u_m = v_m \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (5.27)$$

$$u_m = 2,2 \cdot 2,92 = 6,4, \text{ м/с (H=1,5 м); } u_m = 1,25, \text{ м/с (H=3,5 м).}$$

Для джерела викиду фіксованої висоти  $H$  при  $0 \leq v'_m < 0,5$  та  $-0,5 \leq \Delta T \leq 0$  може приймається  $u_m = 0,5 \text{ м/с}$ . За даними [<https://seiger.pp.ua/srednegodovaya-skorost-veltra-v-gorodax-mira/>] середньорічна швидкість вітру в Києві дорівнює  $3,5 \text{ м/с}$ .

Максимальна приземна концентрація газоповітряної суміші  $c_{m,u}$  при несприятливих метеорологічних умовах і швидкості вітру  $u$ , що відрізняється від небезпечної швидкості вітру  $u_m$ , визначається за формулою:

$$c_{m,u} = r \cdot c_m \quad (5.28)$$

де  $r$  - безрозмірна величина, яка визначається за формулою :

$$r = 0,67 \cdot u/u_m + 1,67 (u/u_m)^2 - 1,34 (u/u_m)^3 \text{ при } u/u_m \leq 1 \quad (5.29)$$

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2 \cdot (u/u_m)^2 - u/u_m + 2} \text{ при } u/u_m > 1$$

$$r = 0,67 \cdot 3,5/6,4 + 1,67 \left(3,5/6,4\right)^2 - 1,34 \left(3,5/6,4\right)^3 = 0,65$$

$$r = \frac{3(3,5/1,25)}{2 \cdot (3,5/1,25)^2 - 3,5/1,25 + 2} = 0,57$$

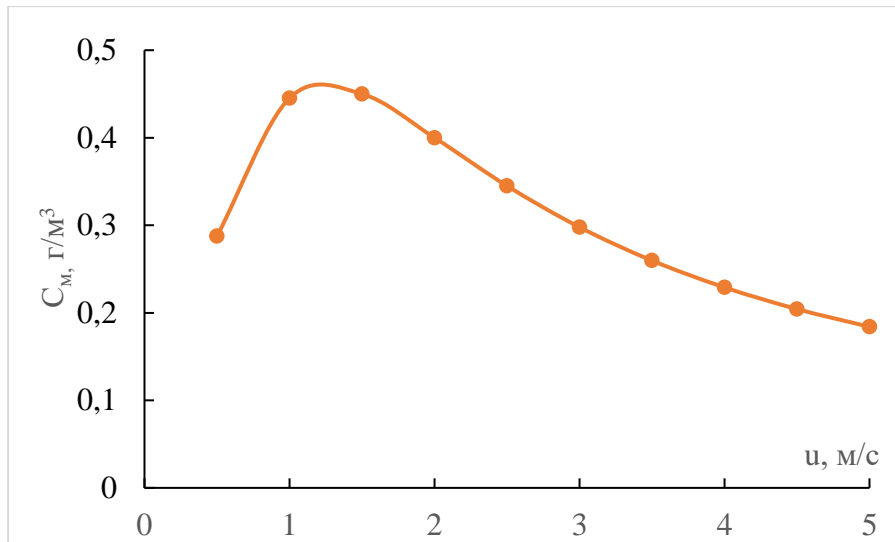


Рис.5. 14 Залежність максимальної приземної концентрації озону від швидкості вітру

Тоді  $c_{m,u} = 0,65 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6} = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3 = 0,75 \text{ мг/м}^3$  ( $H=1,5 \text{ м}$ ),  $c_{m,u} = 0,26 \text{ мг/м}^3$  ( $H=3,5 \text{ м}$ ).

Залежність максимальної приземної концентрації озону від швидкості вітру (рис.5.14) має екстремальний характер; значення  $c_m$  зі збільшенням швидкості вітру вище 1,25 м/с до 5 м/с знижуються вдвічі, при цьому відстані розсіювання зростають 2 км і вище. При проведенні розрахунків слід використовувати значення швидкості вітру  $u$  в діапазоні від 0,5 м/с до  $u_{m,p}$ , де  $u_{m,p}$  - максимальна розрахункова швидкість вітру, значення якої в даній місцевості в середньому перевищується в 5% випадків.

Відстань від джерела викиду  $x_{m,u}$ , на якому при швидкості вітру  $u$  і несприятливих метеорологічних умовах досягається максимальна приземна концентрація  $c_{m,u}$  забруднюючих речовин, визначається за формулою:

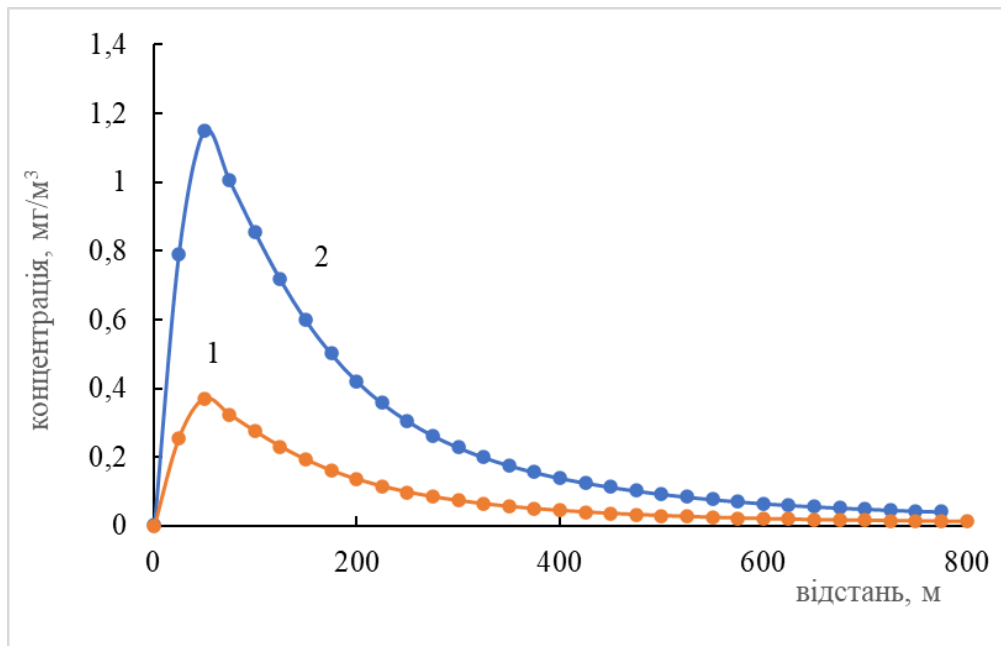
$$x_{m,u} = p \cdot x_m \quad (5.30)$$

де  $p$  - безрозмірний коефіцієнт, який визначається за формулами:

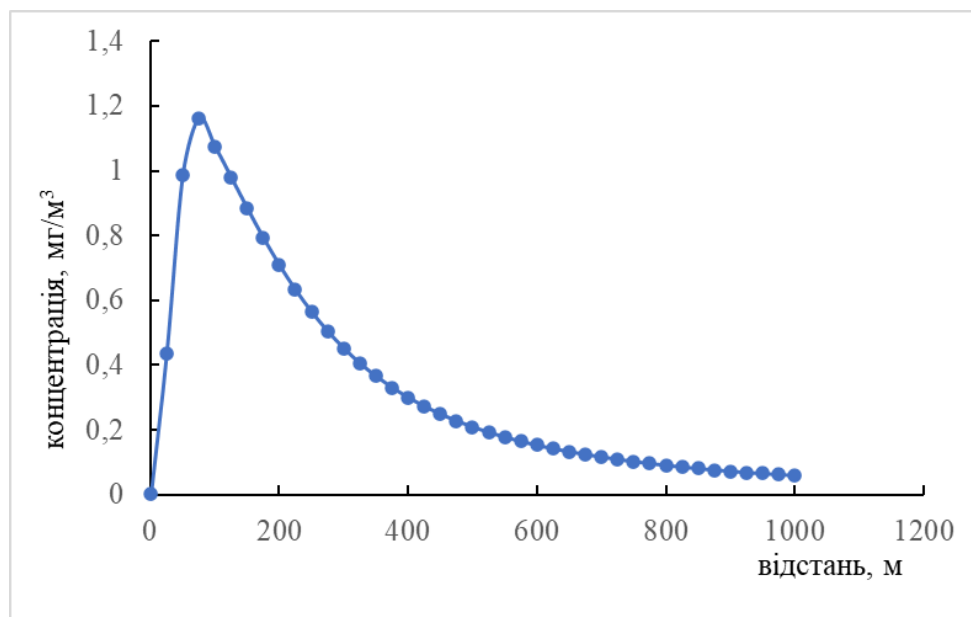
$$p = 3 \text{ при } \frac{u}{u_m} \leq 0,25 \quad (5.31)$$

$$p = 8,43 \cdot \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < \frac{u}{u_m} \leq 1,$$

$$p = 0,32 \cdot \frac{u}{u_m} + 0,68 \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1.$$



а)



б)

Рис.5.15. Профілі розсіювання озону на прилеглий території вздовж осі ОХ:  
а) швидкість вітру до 0,5 м/с - максимальна концентрація озону: крива 1 - 0,37 мг/м<sup>3</sup>; крива 2 - 1,15 мг/м<sup>3</sup>; б) при небезпечній швидкості вітру (5.25) та максимальної концентрації озону 1,15 мг/м<sup>3</sup>.

Відношення  $u/u_m = 3,5/6,4 = 0,55$  ,  $u/u_m = 3,5/1,25 = 2,8$  , та тому  
рахуємо

$$p = 8,43(1 - u/u_m)^5 = 8,43(1 - 0,55)^5 = 1,16$$

$$p = 0,32 \cdot 2,8 + 0,68 = 1,58$$

Тоді  $x_{m,u} = p \cdot x_m = 1,16 \cdot 41 = 47,56$  м (Н = 1,5 м) та  $x_{m,u} = 1,58 \cdot 49,8 = 78,48$  м (Н = 3,5 м).

При небезпечній швидкості вітру приземна концентрація газоповітряної суміші  $c_x$  в атмосферному повітрі на осі ОХ (вздовж вітрового потоку) очисної споруди (рис.5.15а), визначається як геометричне місце точок у просторі, які на кожному заданому відстані від джерела відповідають максимальному значенню концентрації речовини:

$$c_x = s_1 \cdot c_m \quad (5.32)$$

де  $s_1$  - безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від відношення  $x/x_m$  на різних відстанях  $x$  від джерела викиду і коефіцієнта  $F$  за формулами:

$$s_1 = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2 \text{ при } x/x_m \leq 1 \quad (5.33)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (x/x_m)^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_m \leq 8,$$

Аналогічно визначається концентрація речовини на різних відстанях по осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) споруди при несприятливих метеорологічних умовах та інших швидкостях вітру  $u \neq u_m$  (рис.5.15б):

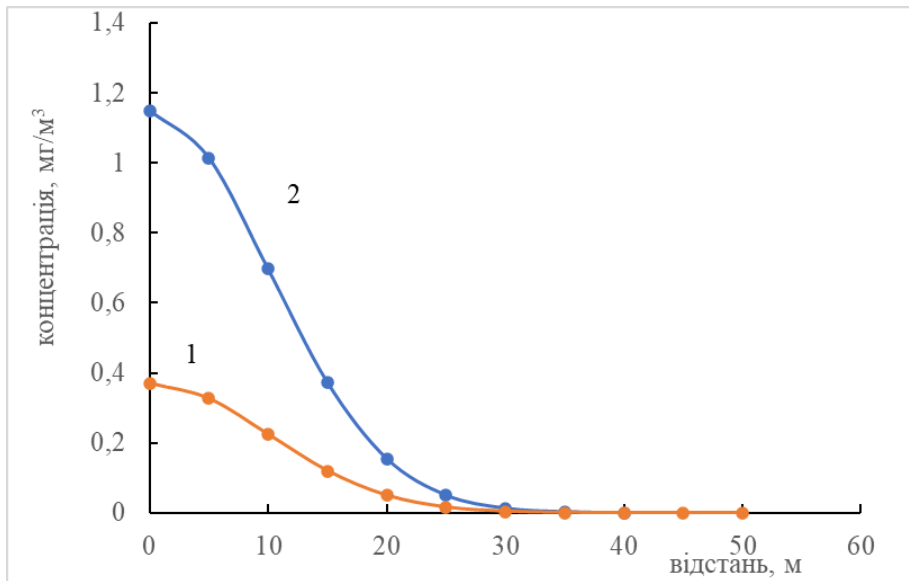
$$c_{xm} = s_1 \cdot c_{мп} \quad (5.34)$$

Як очевидно з рис.5.16 наявність сильного вітру майже вдвічі збільшує відстань на яку розсіюється озон, тобто. де його рівень відповідатиме гранично допустимим нормам. Приземна концентрація в атмосферному повітрі  $c_y$  на відстані  $y$  по нормалі до осі викиду визначається за формулою :

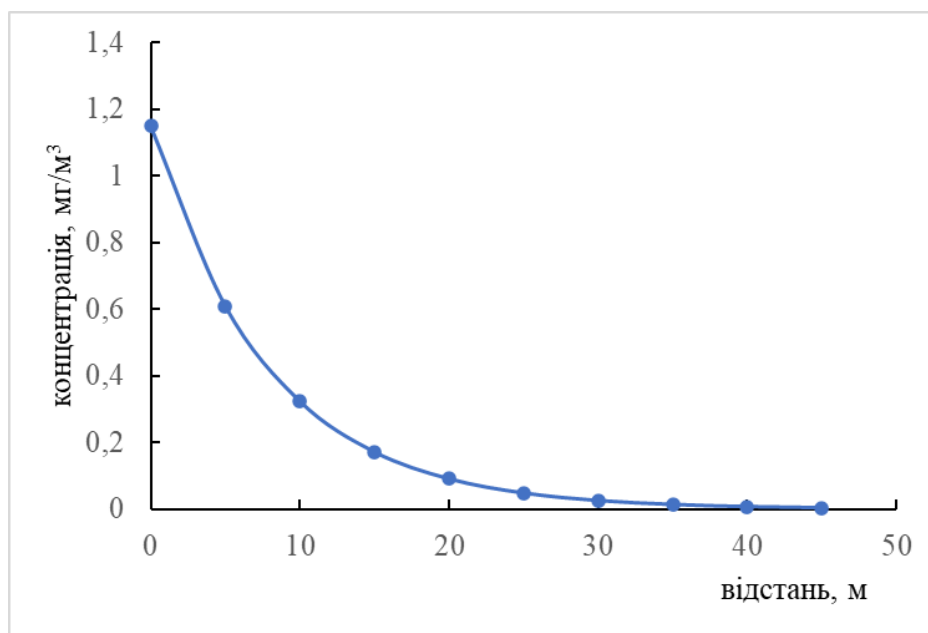
$$c_y = s_2 \cdot c_m, \quad (5.35)$$

де  $s_2$  - безрозмірний коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$s_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)^2} \quad (5.36)$$



а)



б)

Рис.5.16. Профілі розсіювання озону на прилеглий території вздовж осі ОУ: а) швидкість вітру до 0,5 м/с - максимальна концентрація озону: крива 1 - 0,37 мг/м<sup>3</sup>; крива 2 - 1,15 мг/м<sup>3</sup>; б) при небезпечній швидкості вітру (5.25) та максимальної концентрації озону 1,15 мг/м<sup>3</sup>

де

$$t_y = \frac{u \cdot y^2}{x^2} \text{ при } u \leq 5 \text{ м/с} \quad (5.37)$$

$$t_y = \frac{5 \cdot y^2}{x^2} \text{ при } u > 5 \text{ м/с} \cdot \quad (5.38)$$

$$\text{При } u \leq 5 \text{ м/с} \quad t_y = \frac{3,5 \cdot 2^2}{1,5^2} = 6,22$$

$$t_y = \frac{3,5 \cdot 2^2}{3,5^2} = 1,14$$

$$s_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)}$$

$$s_2 = 1,92 \cdot 10^{-10}; c_y = s_2 \cdot c_m = 1,92 \cdot 10^{-10} \cdot 1,15 = 2,20 \cdot 10^{-10} \text{ мг/м}^3$$

$$s_2 = 6,32 \cdot 10^{-5}; c_y = s_2 \cdot c_m = 6,32 \cdot 10^{-5} \cdot 0,46 = 2,91 \cdot 10^{-5} \text{ мг/м}^3$$

$$\text{При } u > 5 \text{ м/с} \quad t_y = \frac{5 \cdot 2^2}{1,5^2} = 8,88$$

$$t_y = \frac{5 \cdot 2^2}{3,5^2} = 1,63$$

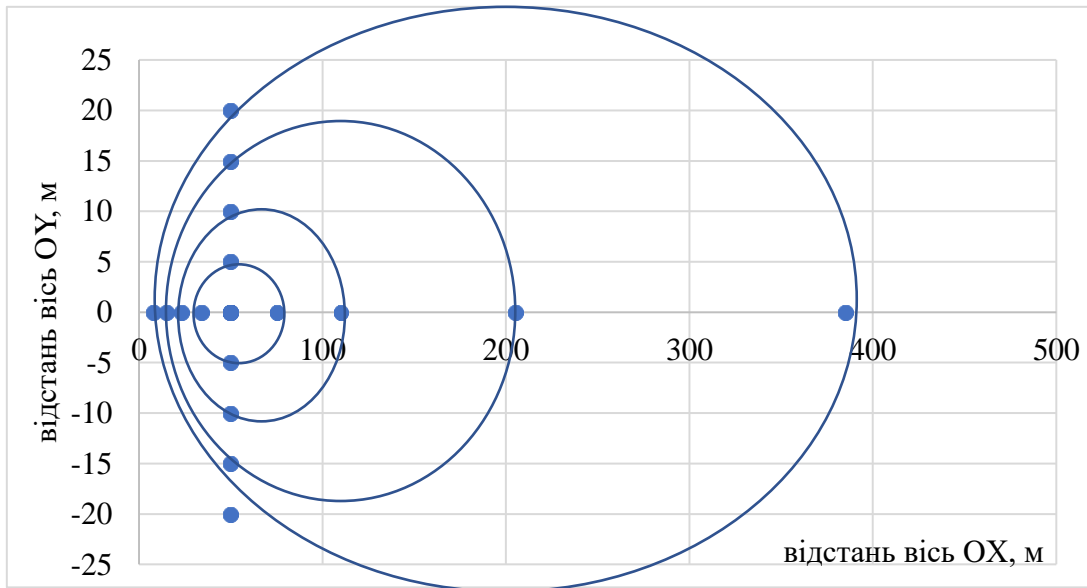
$$s_2 = 1,15 \cdot 10^{-11}; c_y = s_2 \cdot c_m = 1,15 \cdot 10^{-11} \cdot 1,15 = 1,33 \cdot 10^{-11} \text{ мг/м}^3$$

$$s_2 = 5,22 \cdot 10^{-6}; c_y = s_2 \cdot c_m = 5,22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,46 = 2,40 \cdot 10^{-6} \text{ мг/м}^3$$

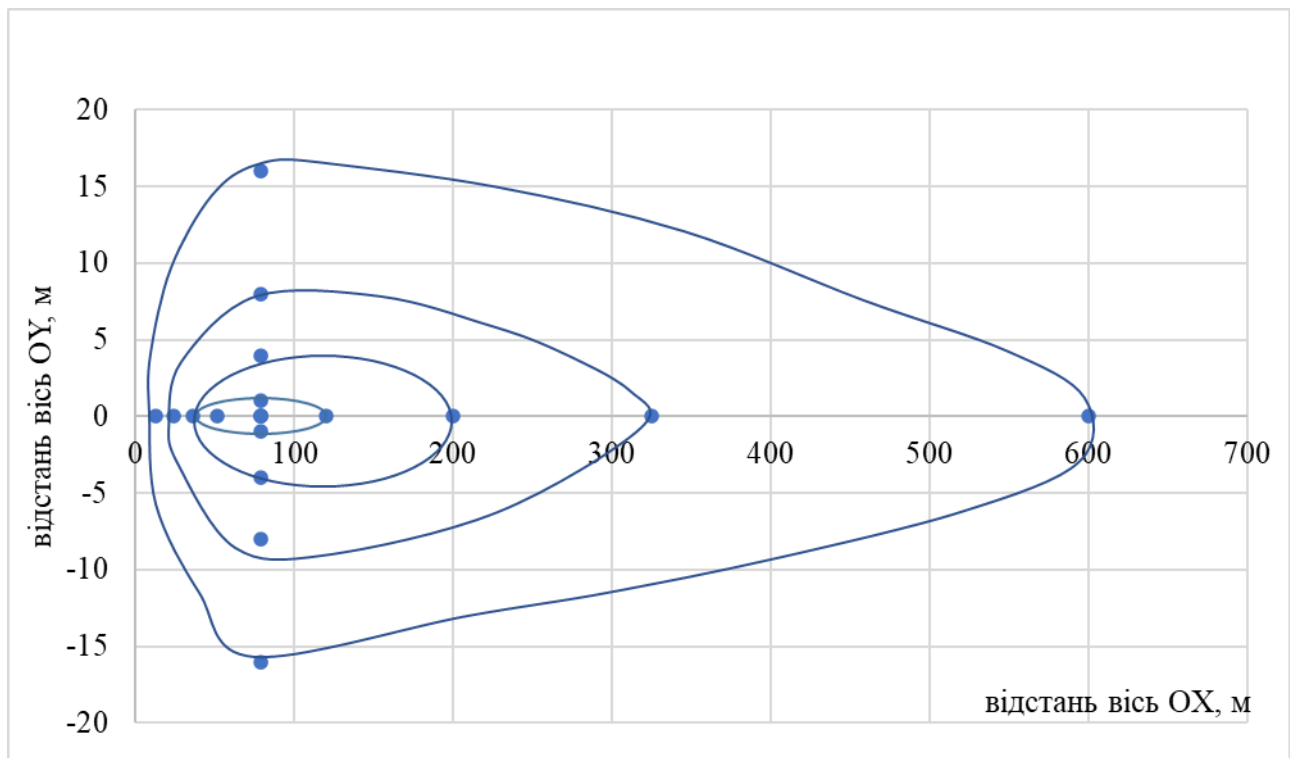
Для кожного джерела викиду радіус зони впливу розраховується як найбільша з двох відстаней від джерела викиду  $x_1$  та  $x_2$ , де  $x_1 = 10 \cdot x_m$ , а величина  $x_2$  визначається як відстань від джерела викиду, починаючи з якого  $c \leq 0,05 \cdot \text{ГДК}_{\text{м.р}}$ .

Для одиночного джерела викидів основною характеристикою є максимальна розрахункова концентрація, яка передбачається для випадків, коли очікується небезпечна швидкість вітру в нижньому шарі атмосфери. Отримані профілі розсіювання дають можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніший комплекс заходів, що забезпечує необхідну чистоту повітряного басейну, встановити вимірювання характеристик викиду, ізополі концентрацій забруднюючої речовини в приземному шарі атмосфери (рис.5.17.)

Згідно з отриманими профілями розсіювання озону, що залишає установку, видно, що максимальна концентрація вздовж осі ОХ (вітрового потоку) буде досягатися на відстані 50 м від джерела викиду, знижуючись до допустимого значення на відстані близько 500 м, в той же час при поперечному розсіюванні вздовж осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) нормативне значення досягається з відривом 30 м.



а)



б)

Рис. 5.17. Поле ізолій концентрацій розсіювання озону на приміагістральній території: а) швидкість вітру до 0,5 м/с; б) при небезпечній швидкості вітру

Необхідно відзначити, що це процес розсіювання максимально можливого викиду озону у разі екстремальної ситуації, представлений (рис.5.17), не враховує

активного швидкого розпаду озону та його взаємодії з домішками повітря. Крім того, установка має датчик концентрації озону і в разі перевищення нормативних показників озонатор відключається.

Таким чином, проведено моделювання процесів розсіювання озону очисною спорудою на міських територіях. Для одиночного джерела викидів озону були розраховані максимальна розрахункова концентрація, яка передбачається для випадків, коли очікується небезпечна швидкість вітру в нижньому шарі атмосфери. Значення максимальної приземної концентрації озону мають екстремальний характер та зі збільшенням швидкості вітру вище знижуються, при цьому відстані розсіювання зростають до 2 км і вище. Отримані просторові профілі розсіювання озону дають можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніші комплекси заходів, що забезпечать необхідну чистоту повітряного басейну, встановити характеристики викиду, поля концентрацій.



## Висновки до розділу 5

1. Незважаючи на різноманітність очисних споруд, захисних матеріалів багато проблем збереження чистого повітря не вирішено та потребують невідкладних дій щодо зниження негативного впливу вихлопів міського автомобільного транспорту на здоров'я населення урбанізованих територій та навколишнє середовище.

2. На підставі проведеного SWOT аналізу можна затверджувати про доцільність використання озонових технологій, які дають хороші перспективи та переваги у розвитку, крім того врахувати зовнішні загрози та використовувати виявлені можливості.

3. Запропоновано та задекларовано спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонових технологій, який забезпечує отримання ефекту з очищення повітря на міських магістралях, примагістральних територій забруднених вихлопними газами транспортних засобів.

4. Розроблено та задекларовано конструкційна модель очисної установки, яка призначена для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилі. З точки зору економічної ефективності та можливостей апаратурного оформлення технологічного процесу вигідним є пристрій із поєднаними процесами мокрого пиловловлення та озонування, тобто з механічною та хімічною стадіями очищення.

5. Встановлено, що наявність озону в кислому середовищі знижує швидкість корозії алюмінію в 2-3 рази, за рахунок зростання товщини плівки оксиду алюмінію, знижує не тільки загальну корозію неіржавіючій сталі, а й схильність її до локальних видів корозії.

6. Розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря, що складається з чотирьох стадій, на кожній з яких визначено основні елементи та умови роботи очисних споруд на міських територіях. Головна необхідна умова - це перевищення рівня забруднення

повітряного басейну приміагістральної територій, який змінюється в залежності від трафіку і метеоумов. Достатня умова - це наявність інженерних комунікацій і містобудівні показники.

7. Порівняно з відомими аналогами установка не складна в обслуговуванні за досить ефективного очищення повітря за короткий період. Економічна ефективність від впровадження очищувальних установок у міські системи виявлятиметься, перш за все, у зниженні медичних витрат на лікування вразливих груп населення (дітей, людей похилого віку, а також людей, які страждають на астму, алергію, порушення імунної системи).

8. З метою врахування аварійної ситуації викиду установкою озону проведено моделювання процесу розсіювання озону на території міста, яке дозволяє отримати просторові профілі максимальної концентрації озону вздовж та перпендикулярно вітрового потоку, визначити відстані, де будуть досягатися допустимі його значення та санітарно-захисні зони. Для одиночного джерела викидів озону були розраховані максимальна розрахункова концентрація, яка передбачається для випадків, коли очікується небезпечна швидкість вітру в нижньому шарі атмосфери. Значення максимальної приземної концентрації озону мають екстремальний характер та зі збільшенням швидкості вітру вище знижуються, при цьому відстані розсіювання зростають до 2 км і вище.

9. Отримані просторові профілі розсіювання озону дають можливість оптимально визначити раціональний та економічно найвигідніші комплекси заходів, які забезпечать необхідну чистоту повітряного басейну, допомогти фахівцям, розробляти ефективніші проекти з урахуванням контролю за забрудненням повітря та «розумною» організацією дорожнього руху. Максимальна концентрація вздовж осі ОХ (вітрового потоку) досягається на відстані 50 м від джерела викиду, знижуючись до допустимого значення на відстані близько 500 м, в той же час при поперечному розсіюванні вздовж осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) нормативне значення досягається на відстані 30 м.

10. Економічна ефективність від впровадження очисних хіміко-механічних пристроїв в зонах найбільшого забруднення виражається у показниках підвищення

екологічної безпеки та зниження рівня захворюваності населення урбанізованих територій.

11. Отримані результати дозволяють визначити раціональні та економічно обґрунтовані комплекси заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проектних рішень.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 5, 7, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 27, 28, 31, 33, 36, 38, 41, 41, 43, 44, 45, 52, 53 (за списком, який наведений в анотації).

## РОЗДІЛ 6.

### ОБ'ЄМНО-ПРОСТОРОВА МОДЕЛЬ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ОЧИСНОЇ СПОРУДИ

Мета шостого розділу полягає в тому, щоб розробити об'ємно-просторову модель-композицію спеціальної очисної споруди, що заснована на авторській інтерпретації кожного з елементів, і всієї структури в цілому за принципом геометричного структурування.

Інструментарій сучасних версій програм САПФІР-3D та ЛІРА-САПР дозволяє провести ідею архітектора через детальний аналіз напружено деформованого стану та перевірку несучої здатності будівельних конструкцій у програмному комплексі ЛІРА-САПР . до виготовлення проектної документації з дотриманням вимог необхідних нормативних документів у програмі САПФІР-3D [244, 300÷303].

#### 6.1 Концептуальна модель захисної споруди

Концептуальне проектування розглядається як стрижнева основа оновлення всього змісту архітектурної освіти. В якості головного носія концептуального підходу пропонується концепція творчого методу архітектора, розроблена для організації креативного мислення в архітектурному світі.

Принциповим моментом у процесі комп'ютерного проектування об'єктів графічного дизайну має бути розуміння того, що різноманітні за пластичним характером геометричні образи несуть у собі особливу за тектонікою гармонійну узгодженість, яка в синтезі з композиційними та графічними засобами дає можливість отримувати зразки з високими естетичними показниками [241, 302].

Інструментарій сучасних версій програм САПФІР-3D та ЛІРА-САПР дозволяє провести ідею архітектора через детальний аналіз напружено деформованого стану та перевірку несучої здатності будівельних конструкцій у програмному комплексі ЛІРА-САПР, до виготовлення проектної документації з дотриманням вимог необхідних нормативних документів у програмі САПФІР-3D [301, 303]. Основним

методом розрахунку  $\epsilon$  – метод кінцевих елементів МКЕ. Основна ідея МКЕ полягає в тому, що будь-яку безперервну в деякій області величину (наприклад, внутрішнє зусилля в фундаментній балці, переміщення в плиті перекриття та ін.) можна апроксимувати дискретною моделлю, яка створюється з безліч кусочно-безперервних функцій, визначених в кінцевому числі під областей (елементів). Зазвичай такими функціями є поліноми-лінійні, квадратичні, кубічні та інші кусочно-безперервні функції, які будуються за допомогою значень безперервної величини в точках з'єднання елементів у вузлах). Таким чином, щоб визначити невідому безперервну величину, потрібно визначити її значення у вузлах.

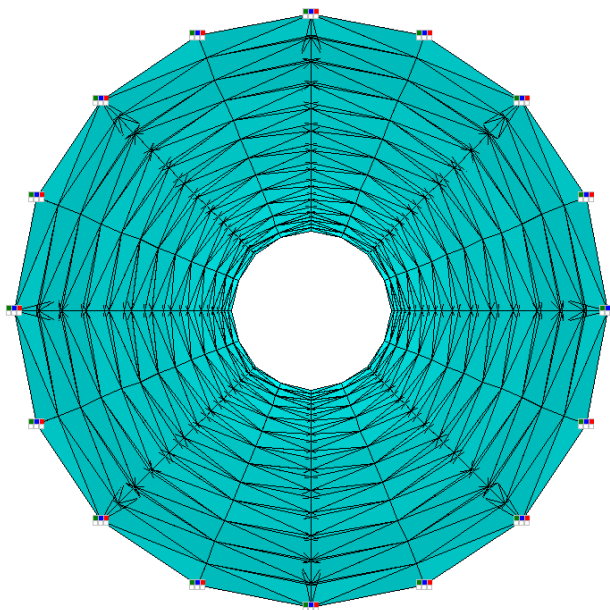


Рис. 6.1. Основа моделі захисної споруди

Основні етапи створення дискретної моделі невідомої величини наступні:

- У досліджуваній області задається кінцеве число точок (вузлів).
- Значення безперервної величини в кожному з вузлів вважаються невідомими, вони повинні бути визначені.
- Досліджувана область розбивається на кінцеве число під областей (елементів), що мають загальні точки (вузли).
- Безперервна величина в кожному елементі апроксимується поліномом, який визначається за допомогою вузлових значень цієї величини: для кожного елемента визначається свій поліном, але його коефіцієнти підбираються так, щоб зберігалася безперервність величини на кожному кордоні елемента.

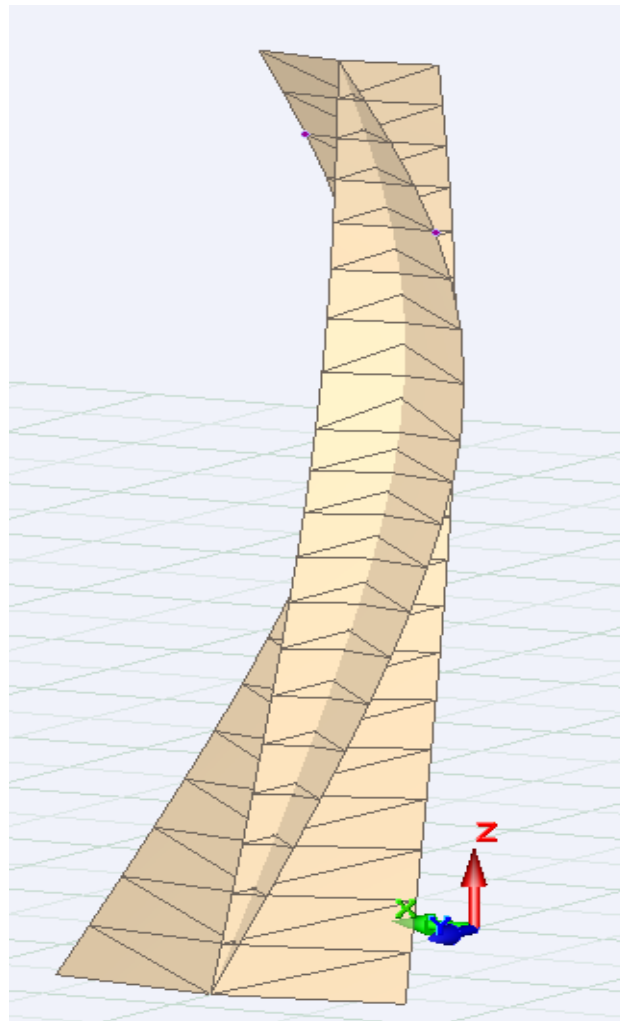


Рис. 6.2. Окремий фрагмент збірної конструкції

Модель конструкції очисної споруди в основі якої є шістнадцятигранник (рис. 6.1), збирається з 16 основних фігурних фрагментів (рис.6.2), кожен з яких розбивається на кінцеві елементи (пластини) [244]. Розбиття області на під області – перший етап у вирішенні завдання МКЕ. Ця операція вимагає інженерних навичок і досвіду. Невдале розбиття призведе до помилкових результатів вирішення завдання. Взагалі, при розбитті області завжди йде пошук золотої середини: з одного боку, елементи повинні бути досить малими, щоб отримати результати необхідної точності; з іншого боку, чим більші елементи, тим менше обчислювальної роботи.

У нашому випадку фрагмент збірної конструкції розбиття йде автоматично за заданими параметрами бібліотеки програми на 116 кінцевих елементів (пластин), тобто всього в концептуальній моделі їх 1856 пластин і число вузлів – 784 (рис.6.3).

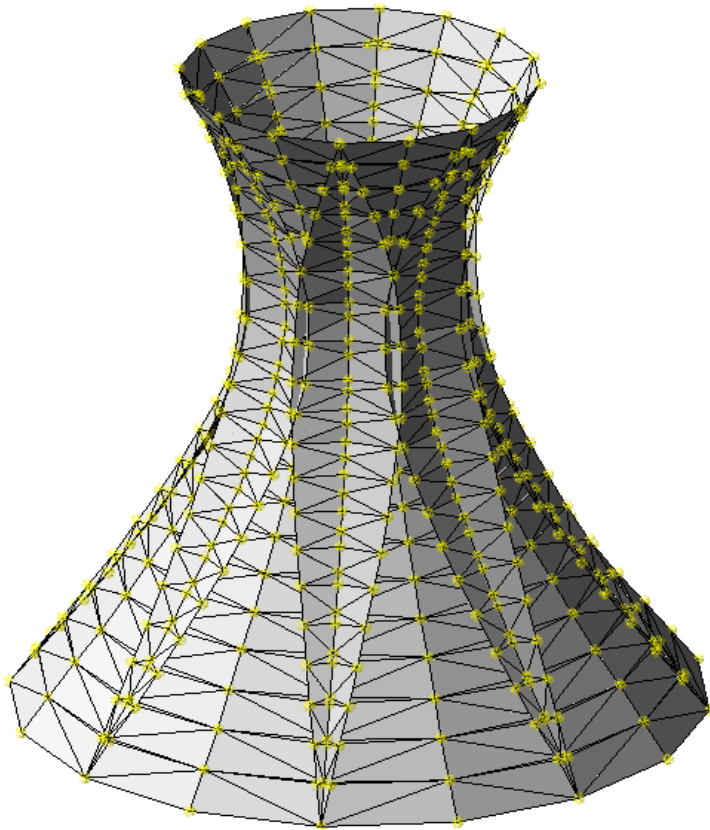


Рис. 6.3. Розрахункова модель очисної споруди з заданими вузлами

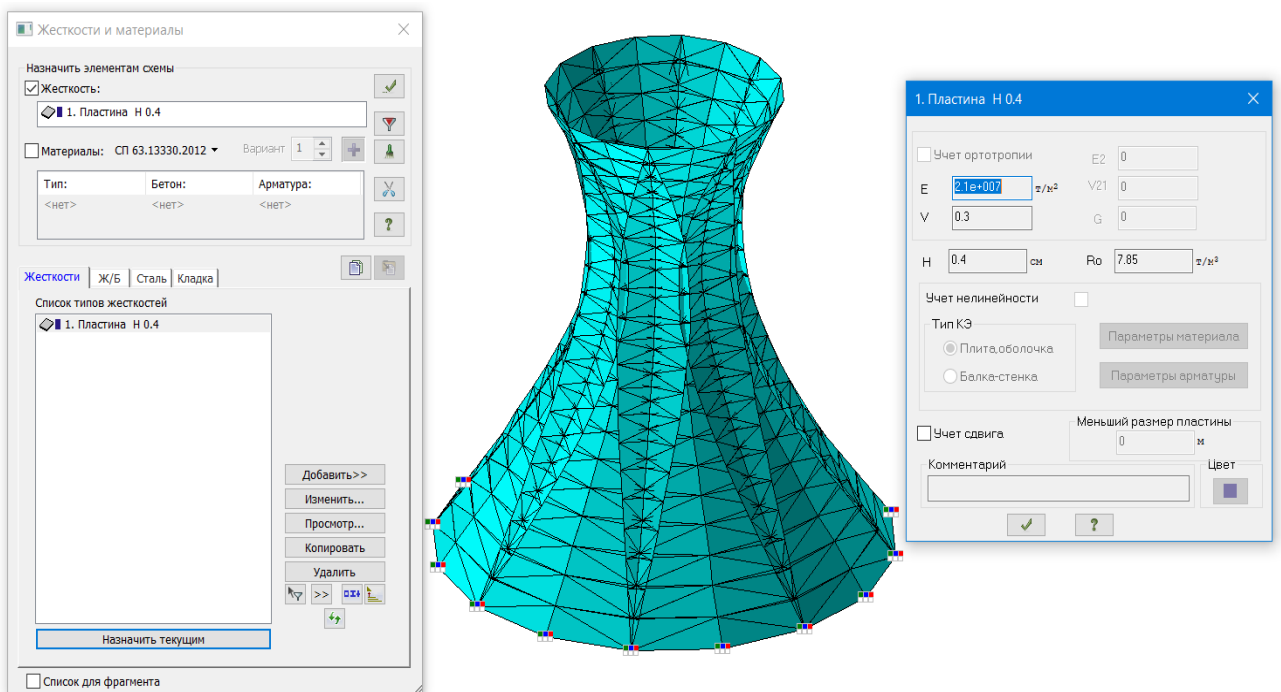


Рис. 6.4. Параметры жорсткості матеріалу для конструкції

У роботі реалізовані підбір і перевірка елементів сталевих конструкцій з металу товщиною 4 мм та їх вузлів за першим і другим граничними станами. Підбір полягає в тому, що для кожного елемента металевих конструкцій, що входять у розрахункову схему споруди, підбирається сталевий поперечний переріз мінімальної площі, здатний нести навантаження, які задані в розрахунковій схемі (рис.6.4).

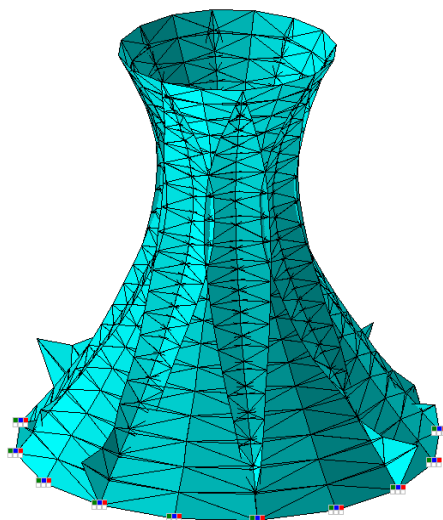
Далі за текстом і в додатках (додатки В, Г, Д) наведено детальний аналіз напружено деформованого стану та перевірка несучої здатності захисної конструкції. Розрахунки моделі споруди проводили за трьома наступними навантаженнями:

- постійне: власна вага очисної споруди (рис. 6.5а,);
- змінне короткочасне навантаження: снігове (рис. 6.5б);
- змінне короткочасне навантаження: вітрове (рис. 6.5в).

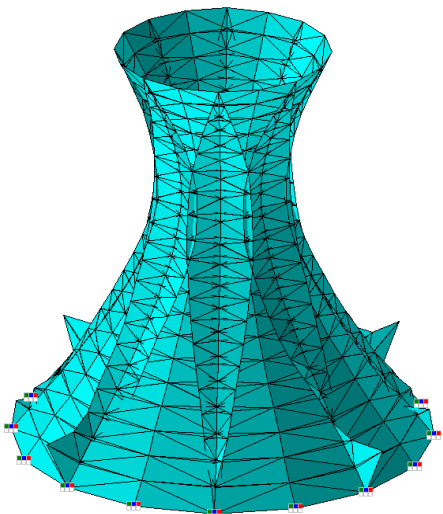
Таким, чином, запропоновано та розраховано об'ємно-просторова концептуальна модель-композиція спеціальної очисної споруди, яка заснована на авторській інтерпретації кожного з елементів, і всієї структури в цілому за принципом геометричного структурування.



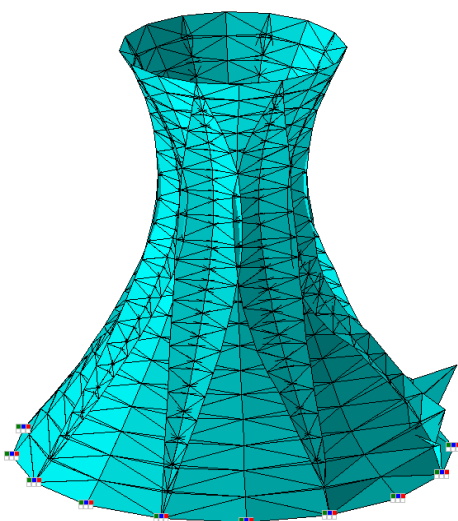
## 6.2 Розрахункові поєднання навантажень (РПН)



а) Власна вага:  
Коефіцієнт запасу  
стійкості – **85,1428**



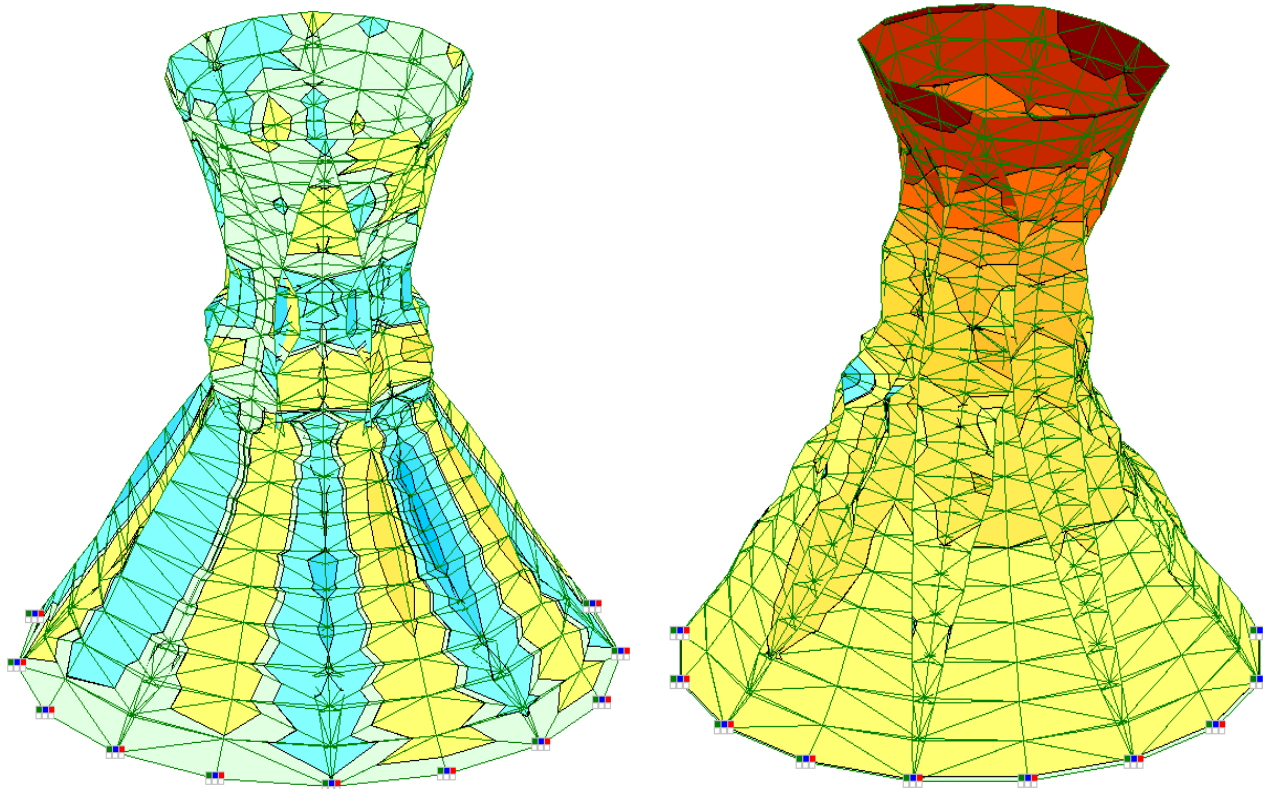
б) Власна вага та сніг:  
Коефіцієнт запасу  
стійкості – **19,7982**



в) Власна вага та вітер  
зліва:  
Коефіцієнт запасу  
стійкості – **36,1024**

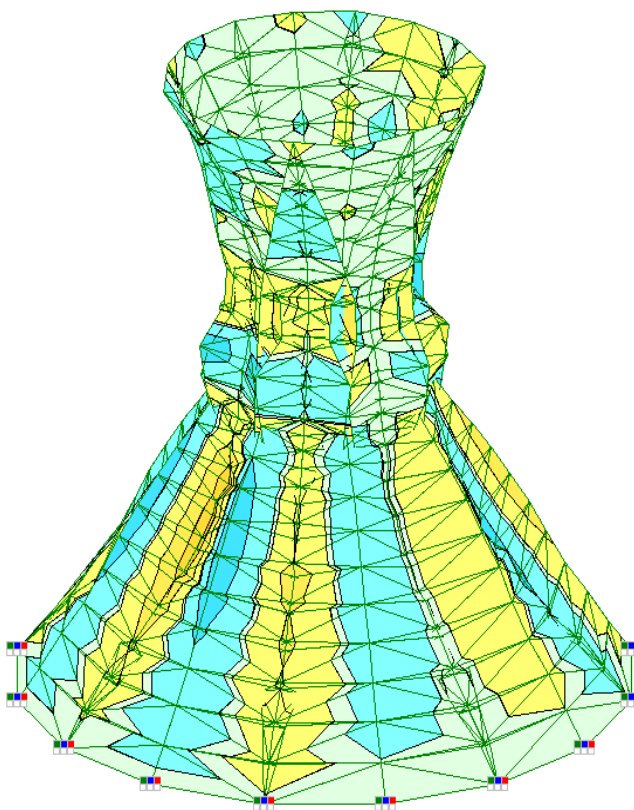
Рис. 6.5 Форми втрати стійкості конструкційної моделі під дією навантажень

### Ізополя переміщень у глобальній системі за осями



а)

б)



в)

Рис. 6.6. Ізополя переміщень по осі X:

а) навантаження – власна вага ( $-0,018 \div 0,018$ ) мм;

б) навантаження – вітер зліва ( $-0,0119 \div 0,0415$ ) мм;

в) навантаження – снігове ( $-0,0594 \div 0,0594$ ) мм

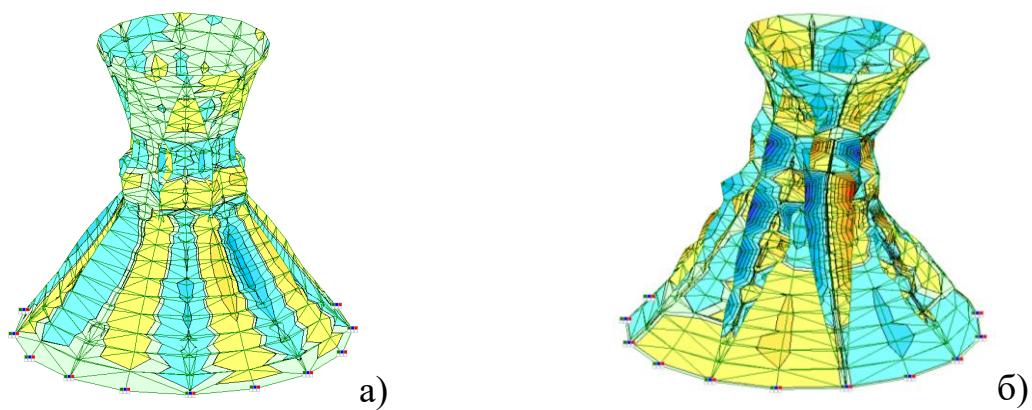


Рис. 6.7 Ізополя переміщень по осі **Y**:

а) навантаження – власна вага ( $-0,018 \div 0,018$ ) мм;

б) навантаження – вітер зліва ( $-0,0102 \div 0,0102$ ) мм;

в) навантаження – снігове ( $-0,0594 \div 0,0594$ ) мм. .

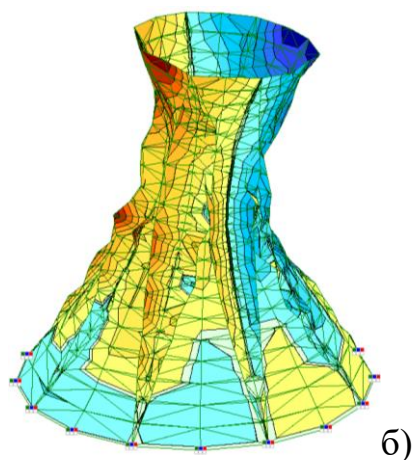
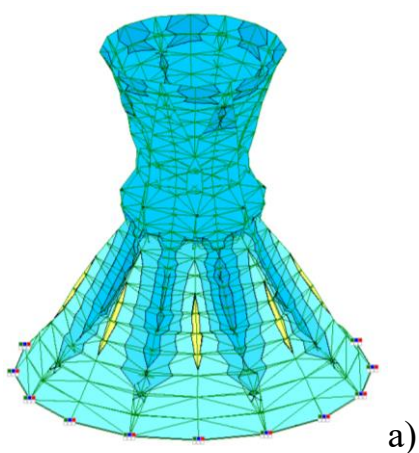
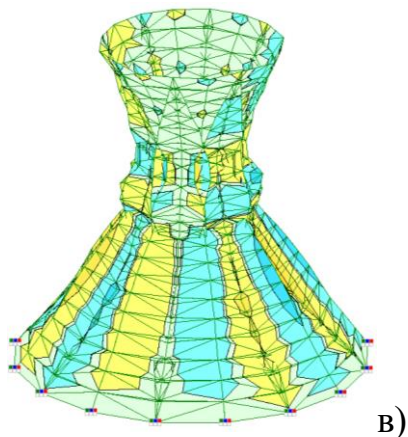
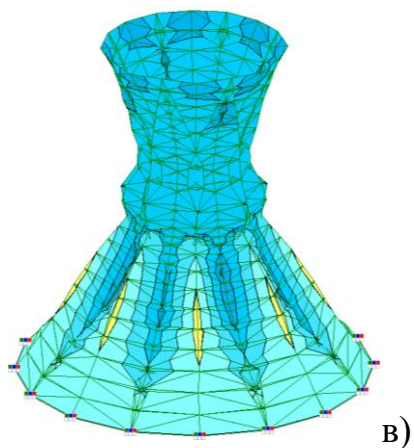


Рис. 6.8 Ізополя переміщень по осі **Z**:

а) навантаження – власна вага ( $-0,0136$  до  $0,0006$ ) мм;

б) навантаження – вітер зліва ( $-0,0133 \div 0,0133$ ) мм;

в) навантаження – снігове ( $-0,045 \div 0,002$ ) мм.





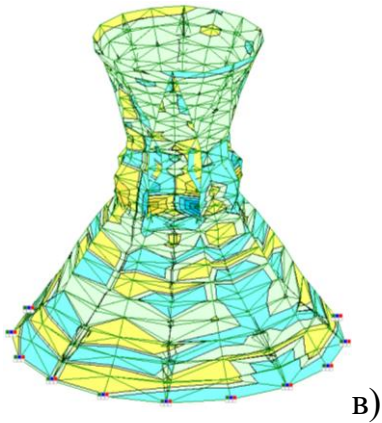
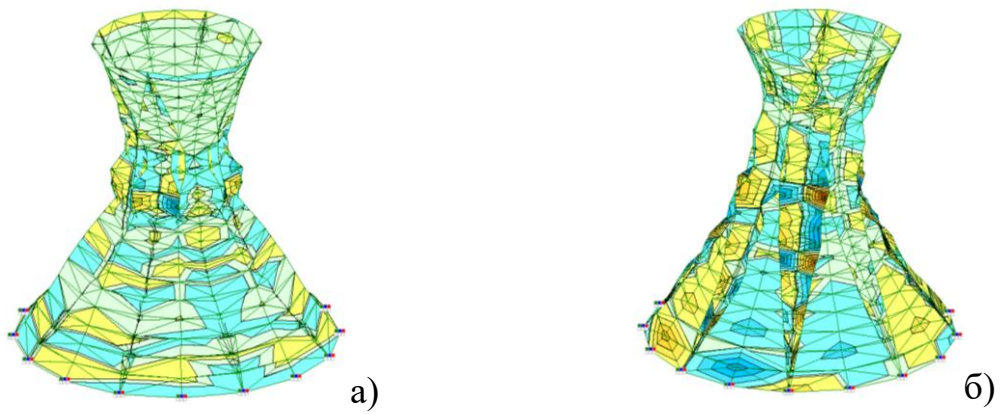


Рис. 6.9 Ізополя переміщень по осі  $U_x$ :

а) навантаження – власна вага  $(-0,464 \div 0,464) \times 10^{-3}$  рад;

б) навантаження – вітер зліва  $(-0,595 \div 0,595) \times 10^{-3}$  рад;

в) навантаження – снігове  $(-1,53 \div 1,53) \times 10^{-3}$  рад.

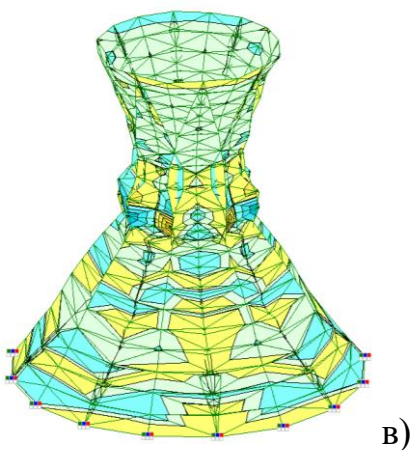
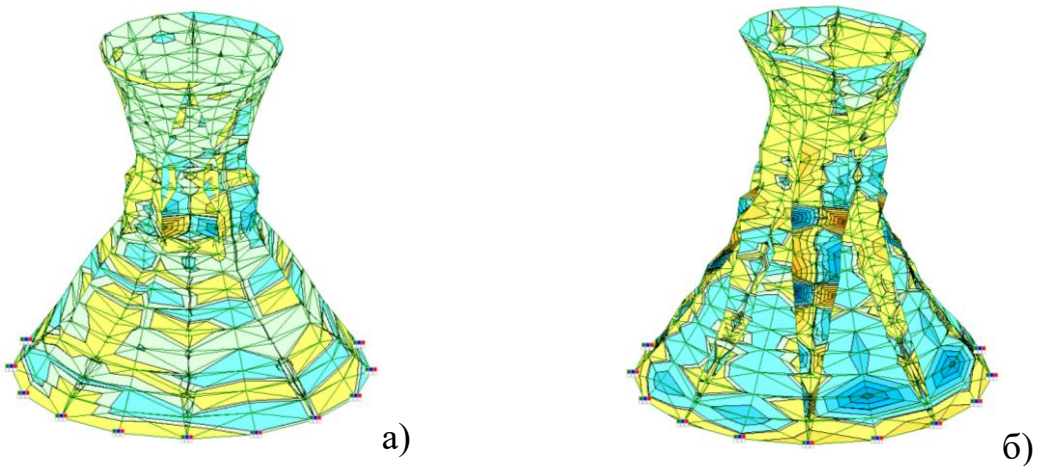


Рис. 6.10 Ізополя переміщень по осі  $U_y$ :

а) навантаження – власна вага  $(-0,464 \div 0,464) \times 10^{-3}$  рад;

б) навантаження – вітер зліва  $(-0,53 \div 0,467) \times 10^{-3}$  рад;

в) навантаження – снігове  $(-1,53 \div 1,53) \times 10^{-3}$  рад.

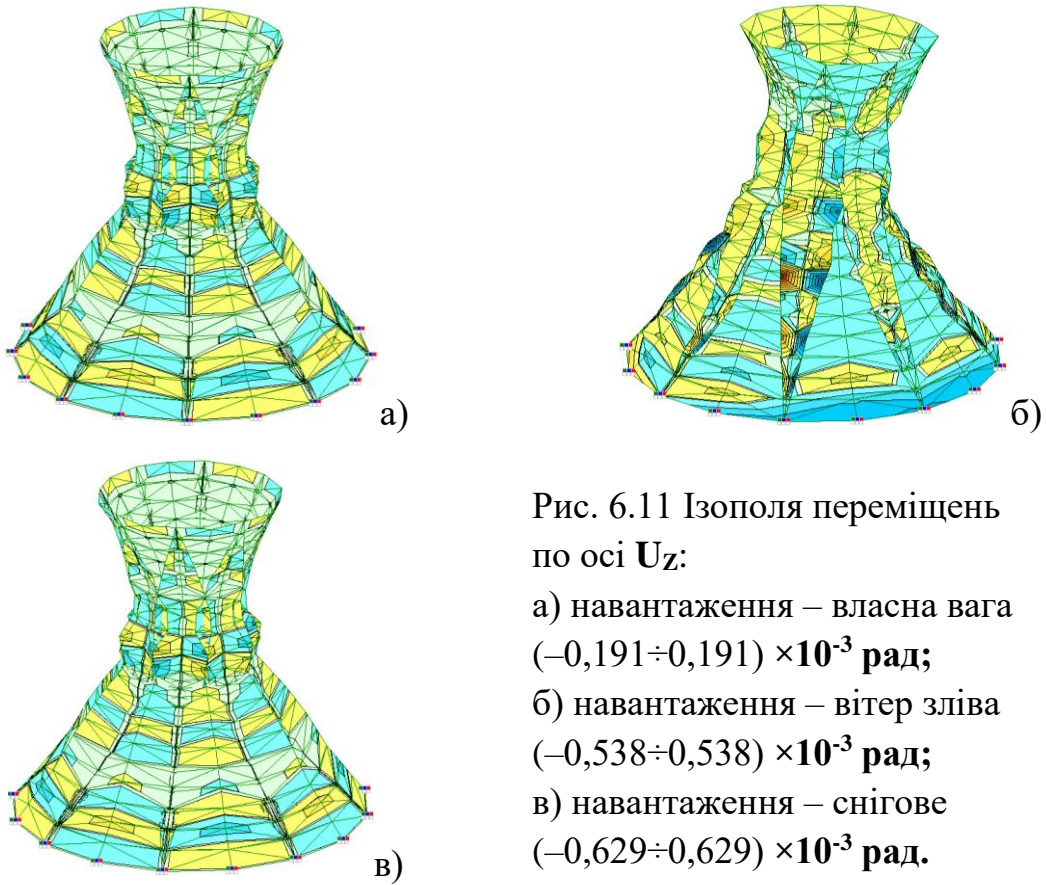


Рис. 6.11 Ізополя переміщень по осі  $U_z$ :

а) навантаження – власна вага  $(-0,191 \div 0,191) \times 10^{-3}$  рад;

б) навантаження – вітер зліва  $(-0,538 \div 0,538) \times 10^{-3}$  рад;

в) навантаження – снігове  $(-0,629 \div 0,629) \times 10^{-3}$  рад.

### Ізополя головних напружень $N_1$

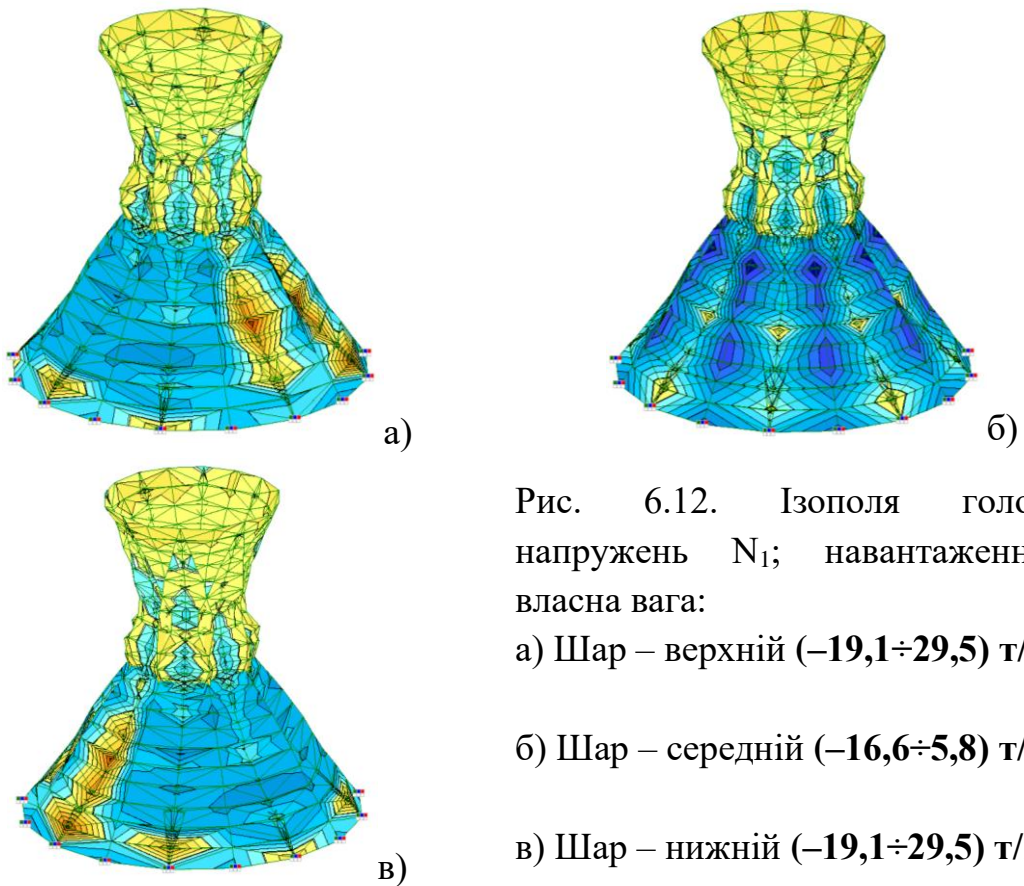


Рис. 6.12. Ізополя головних напружень  $N_1$ ; навантаження – власна вага:

а) Шар – верхній  $(-19,1 \div 29,5)$  т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній  $(-16,6 \div 5,8)$  т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній  $(-19,1 \div 29,5)$  т/м<sup>2</sup>.



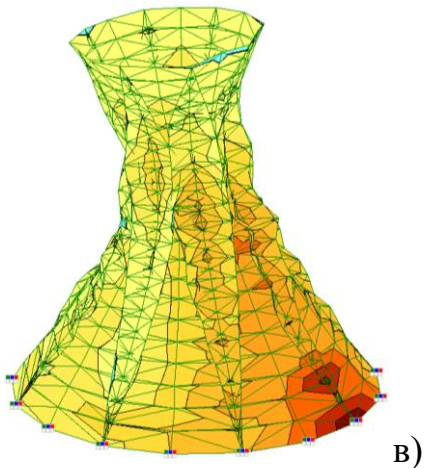
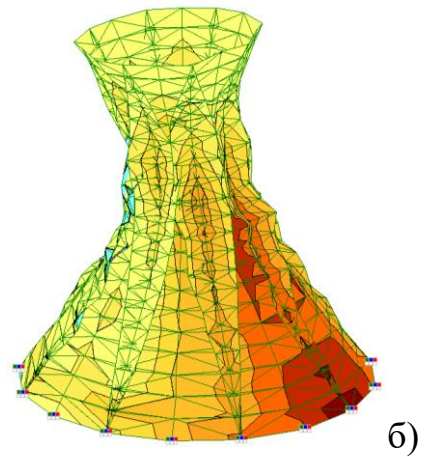
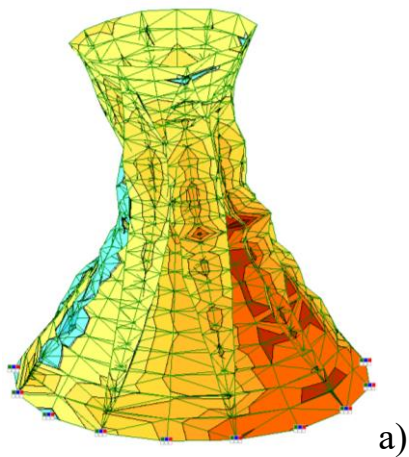


Рис. 6.13. Ізополя головних  
напружень  $N_1$   
навантаження – вітер зліва:

а) Шар – верхній  $(-33,9 \div 103)$  т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній  $(-19 \div 102)$  т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній  $(-28,4 \div 128)$  т/м<sup>2</sup>.

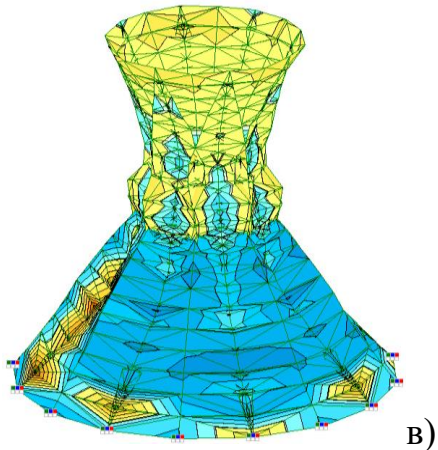
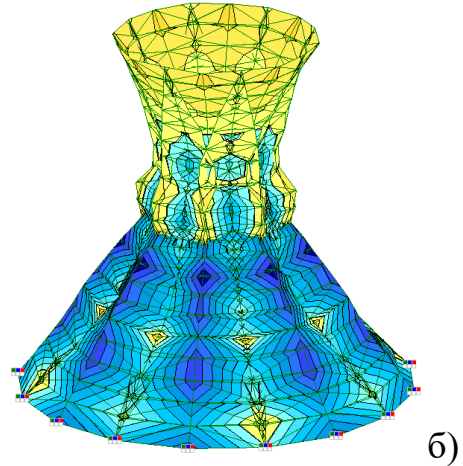
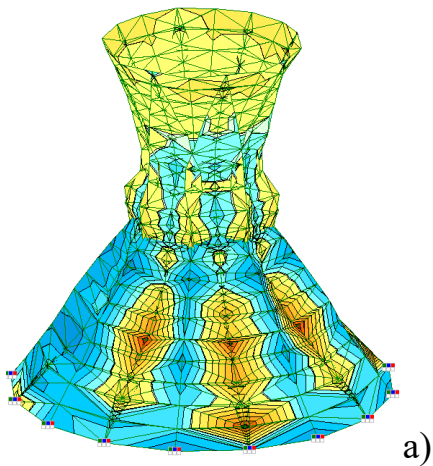


Рис. 6.14. Ізополя головних  
напружень  $N_1$   
навантаження – снігове:

а) Шар – верхній  $(-63,1 \div 97,5)$  т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній  $(-54,7 \div 19,1)$  т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній  $(-63,1 \div 97,5)$  т/м<sup>2</sup>.

### Ізополя еквівалентних напружень $N_e$

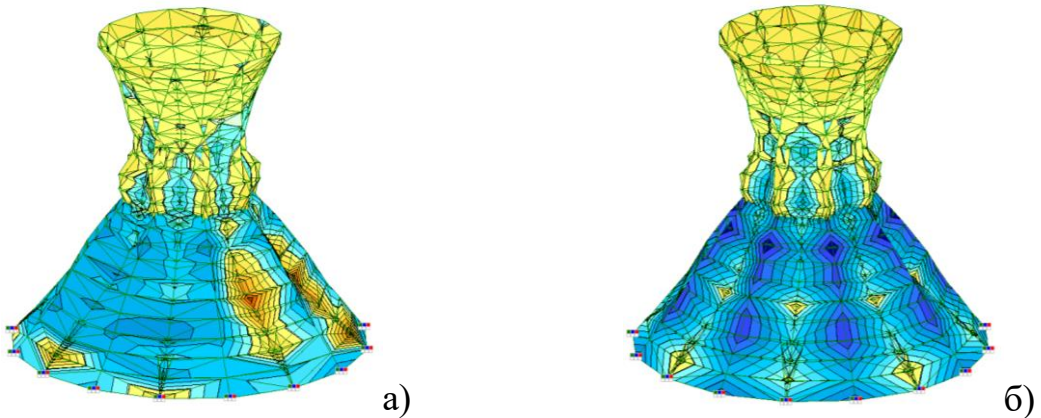


Рис. 6.15. Ізополя еквівалентних напружень  $N_e$

навантаження – власна вага:

а) Шар – верхній ( $-19,1 \div 29,5$ ) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній ( $-16,6 \div 5,8$ ) т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній ( $-19,1 \div 29,5$ ) т/м<sup>2</sup>.

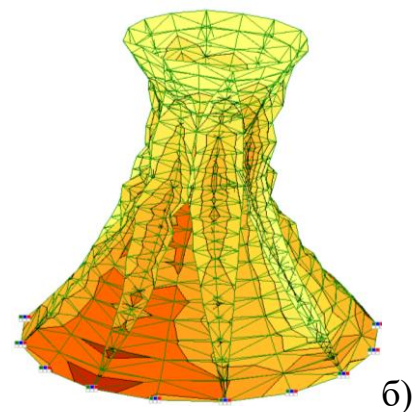
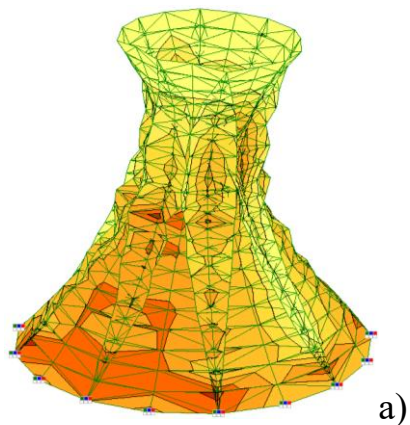
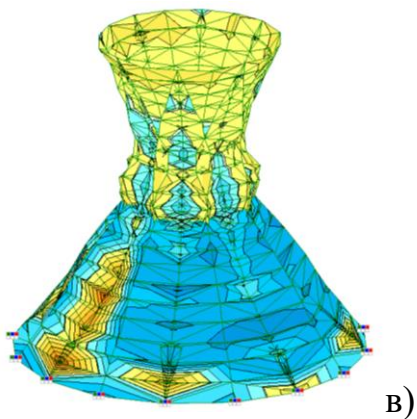


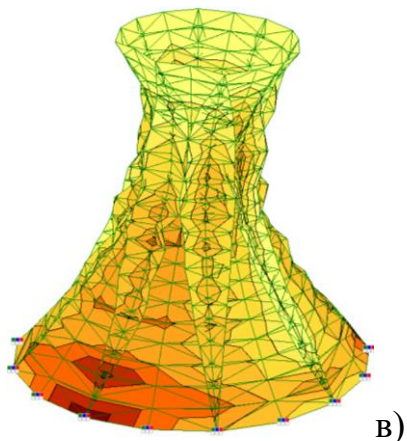
Рис. 6.16. Ізополя еквівалентних напружень  $N_e$

навантаження – вітер зліва:

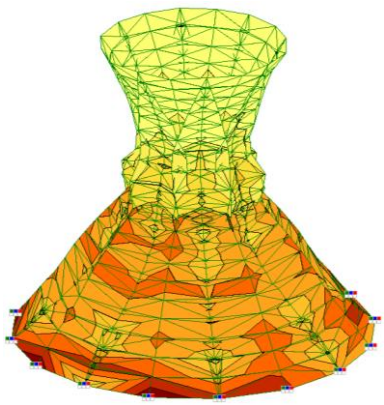
а) Шар – верхній ( $5,47 \div 34$ ) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній ( $2,58 \div 127$ ) т/м<sup>2</sup>;

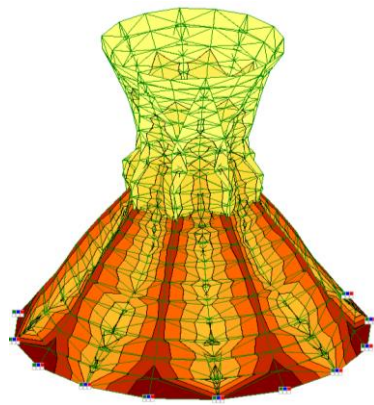
в) Шар – нижній ( $5,47 \div 134$ ) т/м<sup>2</sup>.



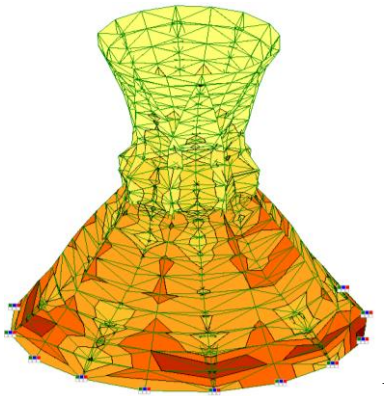




а)



б)



в)

Рис. 6.17. Ізополя еквівалентних  
напружень  $N_e$   
навантаження – снігове:

а) Шар – верхній (12,4÷175) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній (11÷134) т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній (12,4÷175) т/м<sup>2</sup>.

### Ізополя головних напружень $N_3$

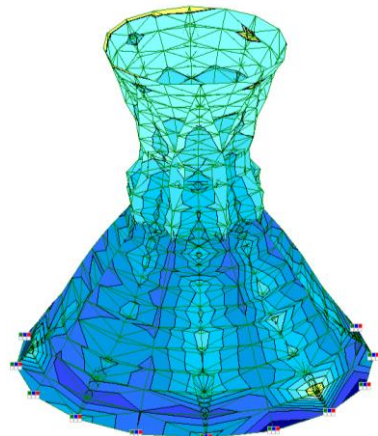
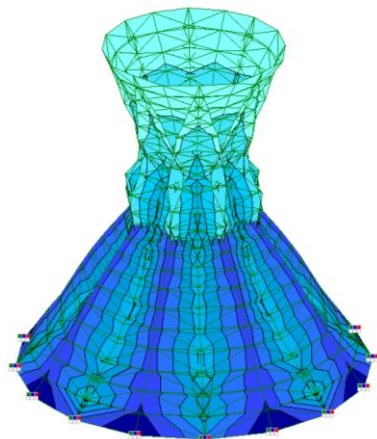
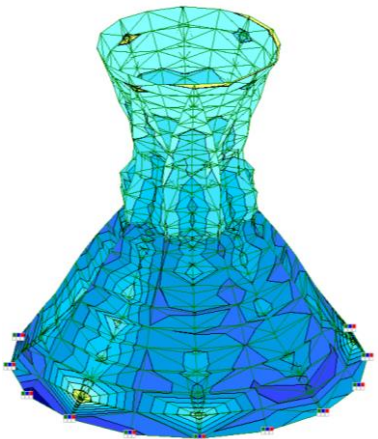


Рис. 6.18. Ізополя головних  
напружень  $N_3$   
навантаження – власна вага:

а) Шар – верхній (–52,9÷8,87) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній (–40,6÷–0,97) т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній (–52,9÷8,87) т/м<sup>2</sup>.



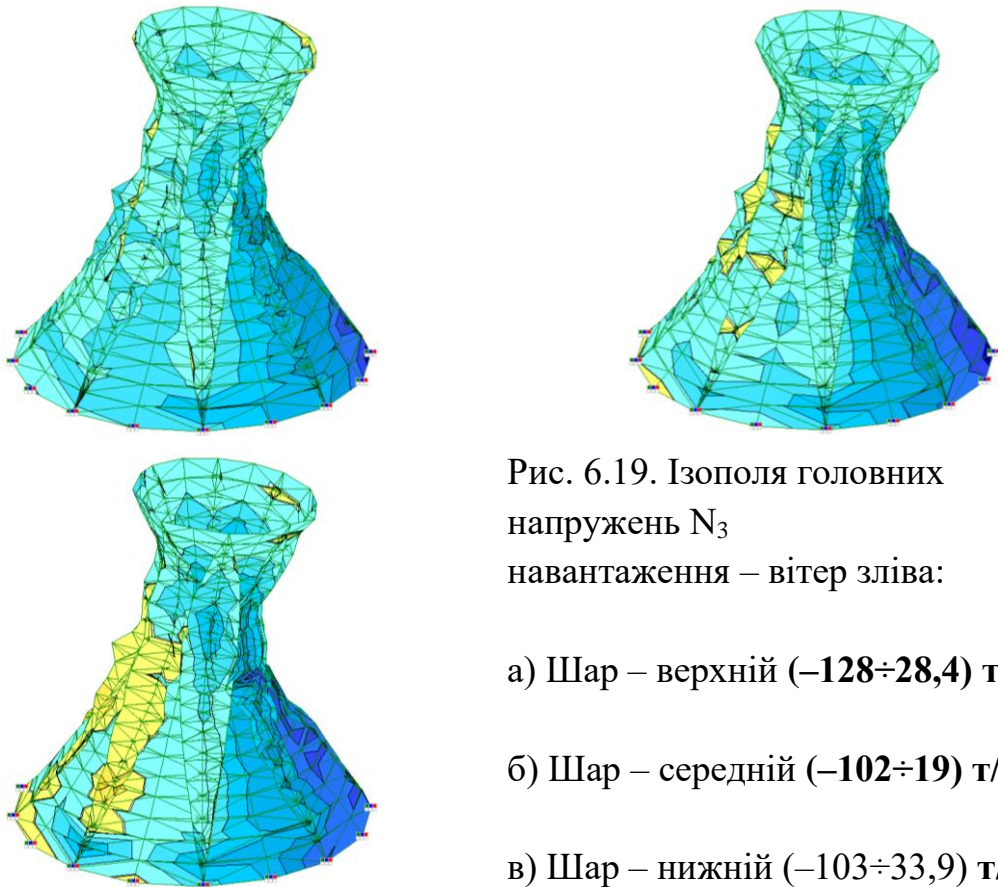


Рис. 6.19. Ізополя головних  
напружень  $N_3$   
навантаження – вітер зліва:

а) Шар – верхній ( $-128 \div 28,4$ ) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній ( $-102 \div 19$ ) т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній ( $-103 \div 33,9$ ) т/м<sup>2</sup>.

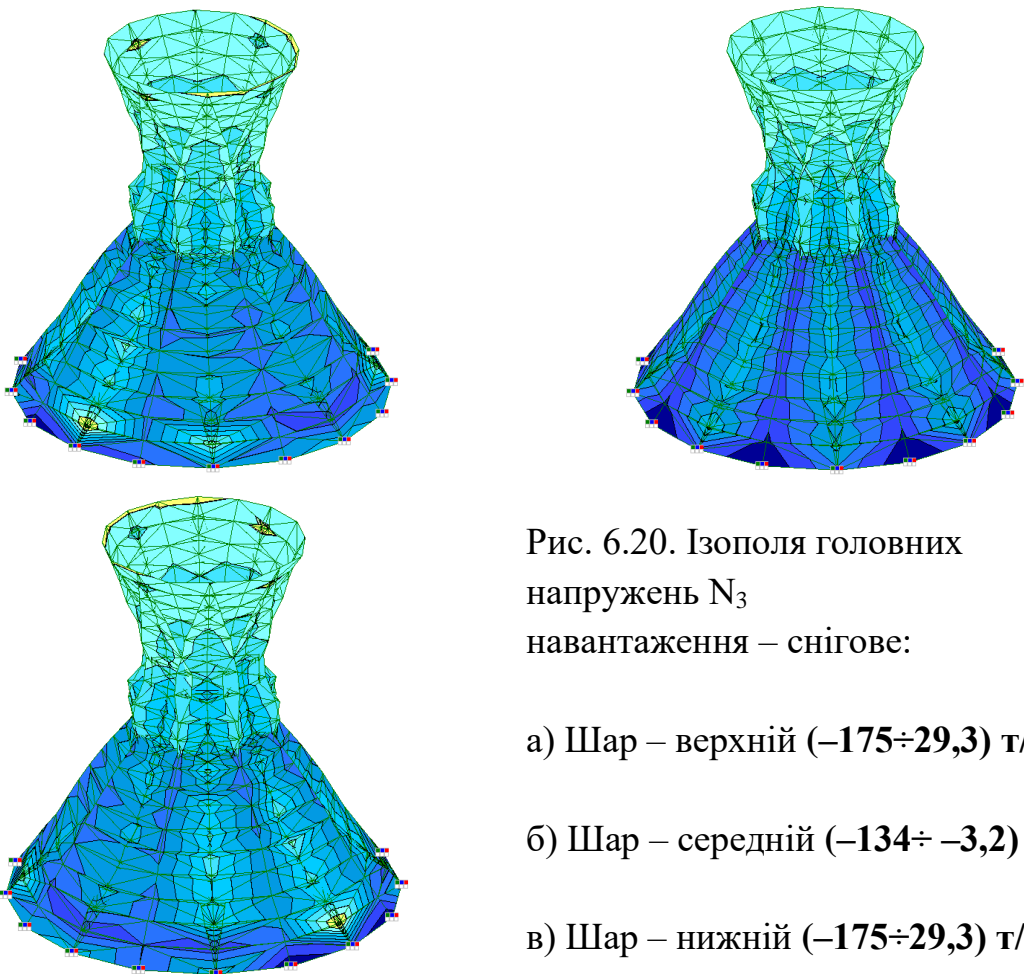


Рис. 6.20. Ізополя головних  
напружень  $N_3$   
навантаження – снігове:

а) Шар – верхній ( $-175 \div 29,3$ ) т/м<sup>2</sup>;

б) Шар – середній ( $-134 \div -3,2$ ) т/м<sup>2</sup>;

в) Шар – нижній ( $-175 \div 29,3$ ) т/м<sup>2</sup>.

Згідно отриманих даних можна визначити, що споруда відповідає сучасним міжнародним вимогам по навантаженню ваги, зливу, снігу та вітру.

Будівництво висотних споруд, як правило, супроводжується деформуванням повітряних потоків, які здатні викликати неприємні відчуття та впливи на людину. Тому сьогодні в світі приділяється певна увага до процесу моделювання та аналізу проходження повітряних потоків як навколо окремих будівель так і в межах цілих мікрорайонів у містах [304].

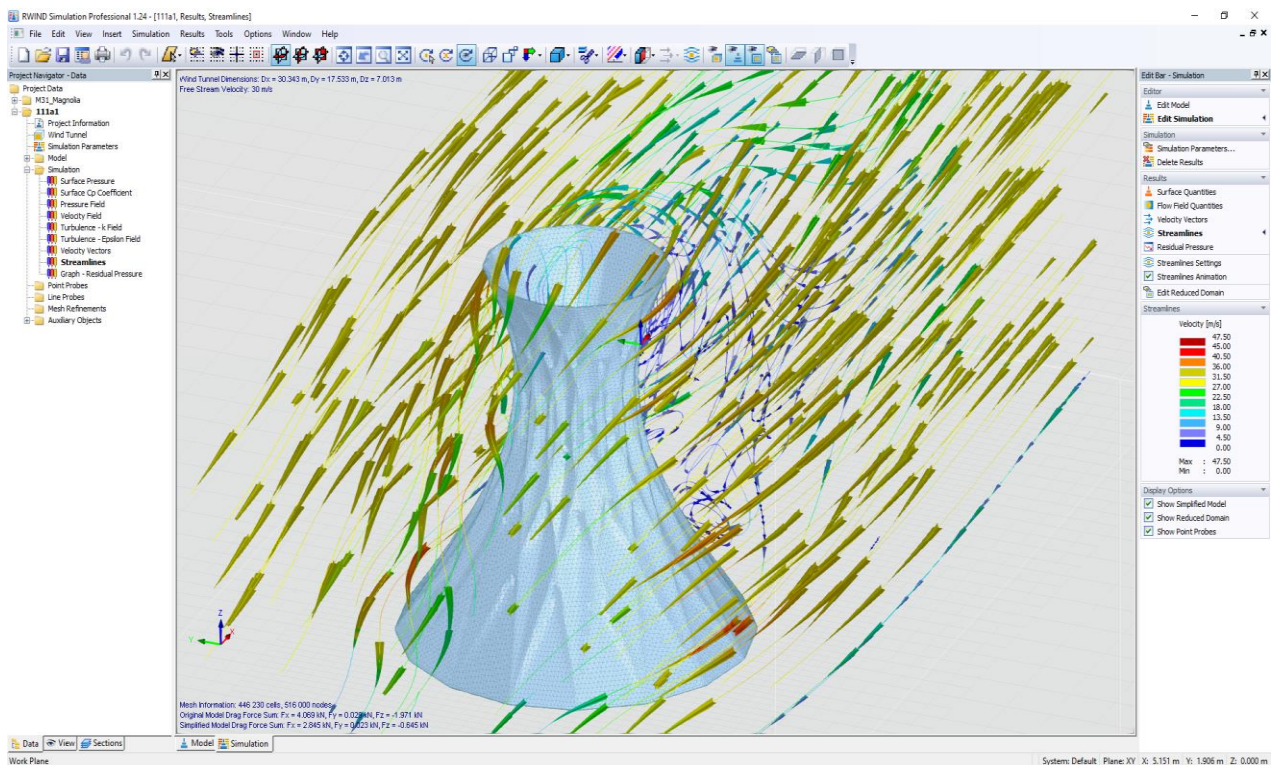


Рис. 6.21 Моделювання вітрового навантаження на очисну споруду «Аеро-вежа».

Аналіз результатів чисельного моделювання вітрового потоку навколо очисної споруди «Аеро-вежа» (рис. 6.21) дає змогу окреслити зони дискомфорту з метою розробки рекомендації по безпечному знаходженню мешканців міста.

### 6.3 Інженерно-технічне обладнання очисної споруди

**Генератор озону.** Генератор озону Faraday A1G – призначений для знезараження води в плавальних басейнах за допомогою інжекції озону в систему

фільтрації. За допомогою даного пристрою відбувається регенерація озону з кисню, що міститься в повітрі. Реакція відбувається шляхом коронного розряду на трубчастий сталевий електрод, що значно збільшує ресурс роботи пристрою, на відміну від систем генерації озону на основі УФ лампи. Озон дезінфікує воду від мікроорганізмів і покращує її якість. Озон діє як на мікроорганізми, так і на мінеральні та хімічні речовини. Використання озону скорочує витрати препаратів які містять хлор до 90%.

Генератор озону встановлюється в контур системи водопідготовки басейну після системи фільтрації. Проходячи через озонатор, вода насичується озоном. Одночасно з знезараженням відбувається знебарвлення, дезодорація і поліпшення смакових якостей води. Не прореагувавши озон швидко перетворюється в кисень.



Рис. 6.22. Фотографії озонатора FARADAY OZONE A1G 1 г/год

Конструкція озонатора Faraday A1G (рис.6.22, табл.6.1) – компактна й легка конструкція, складається з генератора високої напруги й електрода що генерує озон, який за допомогою вбудованого безмастильного повітряного компресора виробляється в необхідній кількості. У систему вбудований витратомір повітря й охолоджувач електрода озонатора з індикатором роботи системи. Це повністю готова конструкція, залишається тільки закріпити на стіні, підключити шланги й подати напругу живлення для вироблення озону.

**Система озонаторної установки.** Система озонаторної установки включає в себе: озонатор (рис.6.22, табл.6.1), фільтр попередньої очистки повітря, перед подачею в озонатор (рис.6.23а, табл.6.2, електрохімічний сенсор (рис.6.23б, табл.6.3),

автоматизована система включення-відключення озонатора при досягненні гранично допустимої концентрації озону, пов'язаної з сенсором.

Таблиця 6.1

### Технічні характеристики озонатора

Найменування	Продуктивність озону, г/год (max)	Концентрація озону, %	Габаритні розміри	Ціна, грн
			a×b×c, мм	
FARADAY OZONE A1G 1 г/ч	≤1	≤2	290×240×460	27414,70

Таблиця 6.2.

### Технічні характеристики фільтра для очистки повітря

Вага, кг	З'єднання	Ціна, грн
0,18	різьбове	131,00

Таблиця 6.3.

### Технічні характеристики електрохімічного сенсору

Діапазон вимірювання, ррт	Робоча температура, °С	Робоча вологість, %	Габаритні розміри, мм	Ціна, грн
0-100	-30...50	15-95	110×85×44	9570,00



а)



б)



Рис.6.23. Фотографії а) фільтр для очистки повітря 1/4 "INTERTOOL PT-1411;  
б) EnergoM-3001-O<sub>3</sub> – електрохімічний сенсор



**Обладнання системи скрубера.** Система скрубера включає себе вертикальний циліндр (скрубер) (рис.6.24, табл.6.4), форсунки для туману (рис.6.25, табл.6.5), обладнання для очищення води та системи туманоутворення - конусний фільтр (рис.6.26, табл.6.6), насос високого тиску (рис.6.27, табл.6.7), вентиляційне обладнання (фільтр грубої очистки (рис.6.28, табл.6.8, каналні вентилятори (рис.6.29,6.30, табл.6.9).

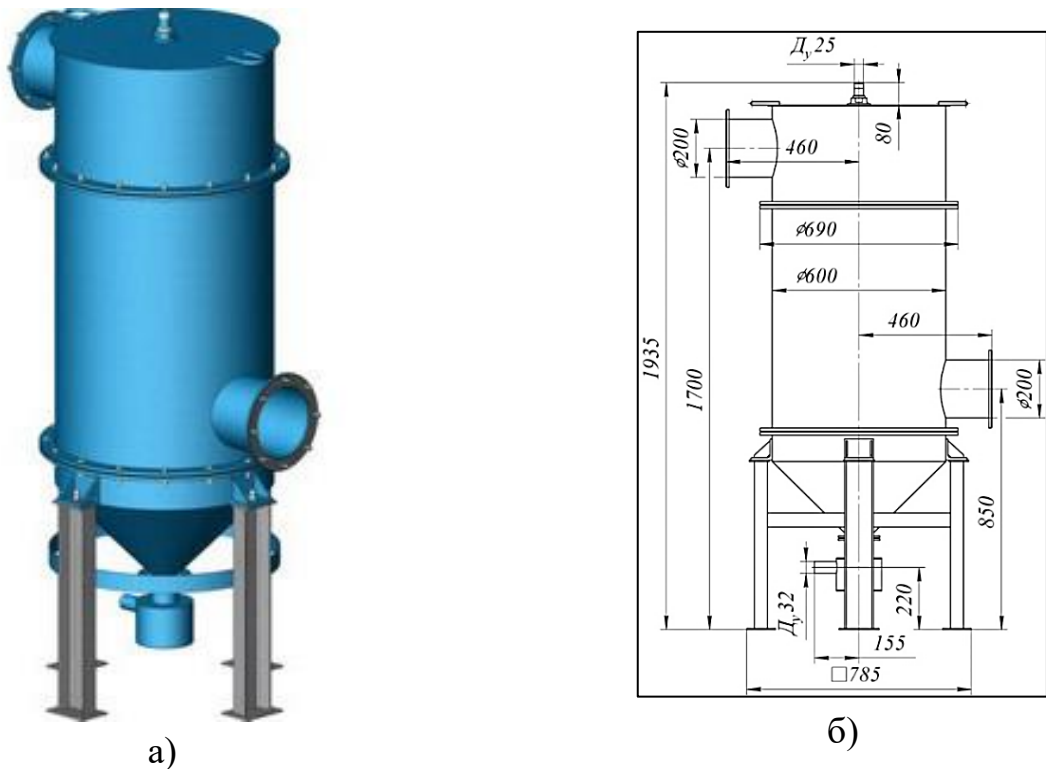


Рис.6.24. Скрубер 600М: а) фотографія; б) схема

Таблиця 6.4

### Технічні характеристики скрубера

Температура газу, що очищується, °С	Маса, кг	Ціна, грн
$\leq 150^{\circ}$	176	23000,00



Рис. 6.25. Фотографія форсунки для туману 10/24" TECNOCOOLING для систем високого тиску

### Технічні характеристики форсунок для туману

Різьба	Отвір, мм	Ціна, грн
10/24 "	0,2	342,00

### Устаткування для очищення води та системи туманоутворення:



Рис. 6.26. Фотографія конусного фільтра ФШ-НП-К-50-16 сітчастий

### Технічна характеристики конусного фільтра

Робочий тиск max, МПа	Мінімальний розмір уловлювальних частинок, мкм	Ду, мм	Вага, кг	Ціна, грн.
16	0,3	50	6,0	2200,00



Рис. 6.27. Фотографія насосу високого тиску (ТесноCooling Premium) на 1л, робочий тиск 70 бар

## Технічні характеристики насосу високого тиску

Найменування	Продуктивність		Ел. потужність, кВт	Кількість форсунок		Габаритні розміри а×b×с, мм	Вага, кг	Ціна, грн
	л/хв	л/год		0,15 мм, шт.	0,2 мм, шт.			
Premium 1 л/хв	1	60	0,550	14-21	8-12	270×300×400	25	20200,65

## Вентиляційне обладнання:



Рис. 6.28. Фотографія фільтру грубої очистки в рулонах G2

Таблиця 6.9

## Характеристика фільтру грубої очистки

Щільність, г/м <sup>2</sup>	Товщина, мм	Вловлювання пилу, %	Пило поглинання, г/м <sup>2</sup>	Ціна, грн./кв.м
150	10	78	410	125,00

Таким чином, загальна вартість технічного обладнання складає 117724,62 грн.(табл.6.11).

**Технічні характеристики вентиляторів**

Обладнання	Споживана потужність, Вт	Витрати повітря, м <sup>3</sup> /год.	Діаметр, мм	Ціна, грн
вентилятор Soler&Palau TD-800/200 N	95	880	200	6993,00
вентилятор Ruck EL 250 D2 01	382	2390	250	11210,27

Таблиця 6.11

**Вартість технічного обладнання**

№ з/п	Найменування	Кількість, шт.	Ціна, грн.
1	Скрубер 600М	1	23000,00
2	Форсунки для туману 10/24" TECNOCOOLING	7	342,00
3	Конусний фільтр ФШ-НП-К-50-16	1	2200,00
4	Насос високого тиску (TecnoCooling Premium) на 1л	1	20200,65
5	Фільтр грубої очистки в рулонах G2	5 м <sup>2</sup>	125,00
6	Канальний вентилятор Soler&Palau TD-800/200 N	3	6993,00
7	Канальний вентилятор Ruck EL 250 D2 01	1	11210,27
8	Озонатор FARADAY OZONE A1G 1 г/год.	1	27414,70
9	Фільтр для очистки повітря 1/4 "INTERTOOL PT-1411	1	131,00
10	EnergoM-3001-O <sub>3</sub>	1	9570,00
Разом:			117724,62



## Висновки до розділу 6

1. Запропоновано та розраховано об'ємно-просторова концептуальна модель-композиція спеціальної очисної споруди, яка заснована на авторській інтерпретації кожного з елементів, і всієї структури в цілому за принципом геометричного структурування.

2. Проведені розрахунки об'ємно-просторової концептуальної моделі-композиції спеціальної очисної споруди за трьома видами навантаження на конструкцію, а саме

- постійним – власна вага конструкції;
- тимчасовим – снігове навантаження
- миттєвим – вітер зліва (справа)

показують задовільні характеристики обраної конструкції й дозволяють рекомендувати її до використання.

3. Представлені обладнання спеціальної очисної споруди та їх техніко-економічні показники які також дозволяють рекомендувати її до використання.

4. Отримані практичні результати пропонуються до використання при плануванні або реконструкції міських магістралей щодо нормалізації повітряного простору.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора 5, 10, 23, 27, 28, 26, 46 (за списком, який наведений в анотації).

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі отриманні теоретичні і практичних результати щодо вирішення науково-прикладної проблеми відновлення й збереження нормативного стану повітряного простору примагістральної території та забезпечення сталого розвитку міст з урахуванням основних принципів його планування, побудови та екологічних вимог.

2. На базі наукових досліджень запропонована концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій «людина ↔ довкілля ↔ транспорт», згідно з якою, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження і захисту системної цілісності цих об'єктів, в рамках якої розроблена інфологічна модель збереження чистого повітря урбанізованих територій «населення ↔ повітряний простір ↔ примагістральні території», що дозволяє визначити основні конструктивні елементи та зв'язки між ними та є базою в формуванні теоретичних засад.

3. Сформульовані основні умови сталої роботи автотранспорту та збереження чистого повітря урбанізованих територій: оптимізація дорожньої мережі та контроль у використанні транспортних засобів; міське планування з високою щільністю забудови та розумні стратегії комунікації; розвиток міст, орієнтований на громадський транспорт та заохочення пішохідного та велосипедного руху; удосконалення громадського транспорту та просування екологічних транспортних засобів, що дозволяє визначити основні шляхи у містобудуванні.

4. Встановлено, що забруднюючі гази в основному стеляться вздовж траси на десятки та сотні кілометрів, також поступово поширюючись перпендикулярно до дороги. Дальність поширення автомобільних викидів залежить від погоди, напряму та швидкості вітру, рельєфу місцевості, присутності водойм, температури повітря. Все це є специфічними умовами розсіювання забруднюючих речовин, які значно впливають на міський клімат, створюючи контрастні мікрокліматичні зони. Інтенсивність самоочищення

атмосфери на міській території визначається, з одного боку, швидкістю вітрового потоку, що набігає, а, з іншого боку, властивостями території, що формує вітровий потік.

5. З метою підвищення якості повітря приміагістральних територій запропоновано дотримуватися принципу рівноваги між необхідним обсягом повітряного басейну та максимальною інтенсивністю запланованого автомобільного трафіку. Співвідношення кількості викидів забруднюючих речовин до кількості повітря має перевищувати 1/1000. Принцип рівноваги покладено в основу методології нормалізації повітря та методів прогнозування, збереження його складу та захисту від викидів токсичних компонентів автотранспорту. При неможливості виконання цих умов необхідно вводити додаткові обмежувальні заходи або очисні споруди.

6. Запропоновано параметр проникності території, який запроваджено для оцінки продувності міської забудови щодо вітрового потоку, використовувати як коефіцієнт забруднення атмосферного повітря від викидів автомобільного транспорту та використовувати його для оцінки потенціалу забруднення міських територій, управління якістю атмосферного повітря. Найбільша площа ділянок підвищеної концентрації токсичних викидів утворюється при замкнутій та фронтальній забудовах приміагістральних територій, проте екранування забруднених повітряних потоків може досягати 95%.

7. Отримані теоретичні та експериментальні результати використання світлових полів завдяки проходженню Лагер-Гаусового пучка крізь подвійний фазовий клин з метою моніторингу та очищення повітря замкненого простору від мікрочастинок та мікроорганізмів. Запропоновано метод контролю чистоти повітря за допомогою лічильника мікрочастинок, який заснований на створенні відповідної тривимірної конфігурації лазерного поля, що дозволяє керувати мікрооб'єктами.

8. Виявлено, що існує "ланцюг територій" з посиленою дегазацією оксидів вуглецю, яка пов'язана з енергією, що виникає в надрах Землі - "холодне

"дихання" і проявляється особливо в місцях, де були або є вугільні виробітки, розвивається нерівномірно - просторово та в часі, з ритмами ендогенної активності Землі. Згідно з отриманими результатами, зміна та поширення забруднення повітряного басейну оксидом вуглецю йде хвилеподібно, пік хвилі концентрації зміщується в середньому зі швидкістю 34 км/год. Середні показники вмісту природних та антропогенних викидів уздовж "ланцюга територій", перевищують у 2-3 рази.

9. Визначено, що на окремих ділянках примагістральних територій (місцях зупинок громадського транспорту, на перехрестях, транспортних вузлах, місцях концентрації транспорту під час пікового навантаження) дані стаціонарних вимірювальних постів спостережень, дистанційного зондування та розрахункові за чинними методами значно відрізняються тому необхідний додатковий контроль. При вирішенні питань розміщення таких місць слід враховувати напрямок та швидкість руху вітру, у зв'язку із збільшенням зони забруднення вдвічі-втричі.

10. На основі аналізу фактичної середньодобової інтенсивності руху автотранспорту на магістральних мережах і розрахунків потужності емісії й концентрації забруднюючих речовин атмосферного повітря токсичними компонентами відпрацьованих автомобільних газів виявлено, що найбільш небезпечним для житлової забудови є оксиди азоту, особливо у дощову погоду, коли їх фактичний вміст перевищує гранично допустиму концентрацію у 7-10 разів та створює велику шкоду здоров'ю громадян і навколишньому середовищу.

11. Представлено практичні шляхи щодо досягнення стійкого міського повітряного басейну з точки зору його забруднення: створення зон малих викидів - Low Emission Zone (LEZ); створення зелених зон; заохочення активних видів транспорту; перерозподіл суспільного простору; просування громадського транспорту; створення очисних споруд; вдосконалення транспортної політики - податки та технологічне управління дорогами.

12. Розроблено модель забруднення оксидами азоту примагістральних територій міста, а саме, залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності

транспортних засобів, яка може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря. Запропоновано зонування приміагістральних територій міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту: зони безпечні, низької безпеки та небезпечні. Визначено співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів на міській магістралі та відстані, де досягаються гранично допустимі норми щодо викидів оксиду азоту, що дозволяє розраховувати санітарно-захисні зони – території навколо магістральних вузлів.

13. Запропоновано та задекларовано спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонових технологій, який забезпечує отримання ефекту з очищення повітря на міських магістралях, приміагістральних територіях.

14. Розроблено та задекларовано конструкційну модель очисної установки, яка призначена для очищення повітряного простору урбанізованих територій від забруднень автотранспорту, насамперед від оксидів азоту, вуглеводнів, сажі та пилу. З точки зору економічної ефективності та можливостей апаратурного оформлення технологічного процесу вигідним є пристрій із поєднаними процесами мокрого пиловловлення та озонування, тобто з механічною та хімічною стадіями очищення. Розроблена принципіальна схема-модель технологічного процесу очищення забрудненого повітря, що складається з чотирьох стадій, на кожній з яких визначено основні елементи та умови роботи очисних споруд на міських територіях.

15. З метою врахування аварійної ситуації викиду установкою озону проведено моделювання процесу розсіювання озону на території міста, яке дозволяє отримати просторові профілі максимальної концентрації озону вздовж та перпендикулярно вітрового потоку, визначити відстані, де будуть досягатися допустимі його значення та санітарно-захисні зони. Максимальна концентрація озону вздовж осі ОХ (вітрового потоку) буде досягатися на відстані 50 м від джерела викиду, знижуючись до допустимого значення на відстані близько 500

м, в той же час при поперечному розсіюванні вздовж осі ОУ (перпендикулярно вітровому потоку) нормативне значення досягається з відривом 30 м.

16. Запропоновано та розраховано об'ємно-просторову концептуальну модель спеціальної очисної споруди, яка заснована на авторській інтерпретації кожного з елементів, і всієї структури в цілому за принципом геометричного структурування. Проведені розрахунки об'ємно-просторової концептуальної моделі-композиції спеціальної очисної споруди за трьома видами навантаження на конструкцію, а саме: власна вага очисної споруди; змінне короткочасне навантаження: вітрове; змінне короткочасне навантаження: снігове, які показують задовільні характеристики обраної конструкції й дозволяють рекомендувати її до використання. Представлено обладнання спеціальної очисної споруди та її техніко-економічні показники, які також дозволяють рекомендувати її до використання.

17. Отримані просторові профілі дозволяють визначити раціональні та економічно вигідні комплекси заходів, які можуть забезпечити необхідну чистоту повітряного басейну, допомогти фахівцям розробляти ефективніші проекти з урахуванням контролю за забрудненням повітря та «розумною» організацією дорожнього руху. Економічна ефективність від впровадження очищувальних установок у міській системі виявлятиметься, перш за все, у підвищенні екологічної безпеки населення, зниження захворюваності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бердяев Н.А. Человек и машина. Вопросы философии: 1989. 162 с.
2. Лук'янов А.М., Плешкановська А.М. Интеллектуальне місто – стандарт майбутнього чи інноваційний розвиток міських територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2017. №65. С.336-341. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6653>
3. Бочко В.С., Кежун Л.А., Наумов И.В. Интеллектуальная и инновационная активность территории. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика». 2008. 225 с.
4. Callender J. Sustainable Urban Development. *International Encyclopedia of Housing and Home*. 2012. P. 129-133. DOI:10.1016/B978-0-08-047163-1.00601-9.
5. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Чередниченко П.П. I Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2017, 64. С. URL.: 396-404. <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2017/201764.pdf>
6. Демин Н.М., Татарченко Г.О., Чередниченко П.П. II Всеукраинская научно-практическая интернет-конференция "Развитие строительства и жилищно-коммунального хозяйства в современных условиях". *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2018, №67. С.26-28. URL.: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2018/201867.pdf>
7. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Осетрін М.М., Чередниченко П.П. III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*: Київ. 2019, 70. С.13-26. URL.: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201970.pdf>
8. Pleshkanovska A. Innovation-Based City as a Result of the Evolutions of a Smart City Spatial Organization. *Science and Innovation*. 2021. Vol. 17(6). P. 110–122.

9. Стукаленко Н.М. Ноосферная концепция как основа развития современного экологического образования. *Успехи современного естествознания*. 2012, № 11-2. С. 67-67; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=31172>
10. Семененко М.В., Шилова Т.А. К вопросу транспортной комфортности проживания в современных украинских городах. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №50. С.626-631. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp50>
11. Worldometers. URL: <https://www.worldometers.info/uk>
12. Населення Європи 2020. URL: <https://nrv.org.ua/naselennya-yevropy-u-2021>.
13. Laura Ehrnsperger, Otto Klemm Air pollution in an urban street canyon: Novel insights from highly resolved traffic information and meteorology. *Atmospheric Environment*, 2022. Vol. 13. Article 100156. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15830>
14. Reasons Why Access to Transport is so Important. URL: <https://epicentrk.ua/shop/svetilnik-tochechnyy-maxus-3-step-1-max-01-3-sdl-12-c-12-vt-3000-3500-4100-k-belyy.html>
15. Габрель М.М., Габрель М.М. Феномен циклічності та життєвий цикл у розвитку урбанізованих систем. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. № 78. С. 91–114.
16. Габрель М.М. Невизначеності й ризики в урбаністиці. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №68. С.92-107. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6012>
17. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сучасні містобудівні проблеми сталого розвитку регіонів. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: монографія. Сєверодонецьк, 2017. С. 145–153. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf2017.pdf).



18. Владимиров С.А., Владимиров С.А. Об основных направлениях развития мировой транспортной системы и логистики. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015, № 12-9. С. 1672-1680. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8218>

19. Довкілля України. Статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ. 2021. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/07/Arch\\_dov\\_zb.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_dov_zb.htm).

20. Перспективы развития транспорта МТФ 2019. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/edd9d55b-ru/index.html?itemId=/content/component/edd9d55b>

21. Чередніченко П.П. Проблеми аудиту та моніторингу ефективності роботи вулично-дорожньої мережі міст. *Містобудування та територіальне планування*. 2015. №56. С.120-123. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7611>

22. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Концептуальні засади сталого розвитку регіону у контексті містобудування. *Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: монографія*. Сєверодонецьк, 2017. С. 6–16. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf2017.pdf).

23. Yijun, Song Ecological City and Urban Sustainable Development. *Procedia Engineering*. 2011, Vol. 21. P. 142-146. URL.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811048314>

24. Дубова С.В. Транспортные приоритеты городского развития. *Містобудування та територіальне планування*. 2015. №56. С.71-73. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7598?show=full>

25. Kablak N., Golik J., Kutsyna I., Kis N., Vodovozov Y., Palant O. Development of the city public service model on the basis of integrated transport flow indicators. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. N. 6. P.19-34.

26. Асанбеков К.А., Новопашин Л.А., Денежко Л.В., Корняков Ю.С. Анализ скоростных свойств подвижного состава автомобильного транспорта. *Авиация общего назначения*. 2013, №4. С. 2-7.
27. WHO information. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>.
28. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2013 – the physical science basis: working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge: Cambridge University Press*; 2014. DOI.:10.1017/cbo9781107415324.
29. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: mitigation of climate change: working group III contribution to the IPCC fifth assessment report. *Cambridge: Cambridge University Press*; 2015. DOI.:10.1017/CBO9781107415416
30. National Research Council. Verifying greenhouse gas emissions: methods to support international climate agreements. *Washington, D.C.: National Academies Press*; 2010. 124 p.
31. Duren RM, Miller CE. Commentary: Measuring the carbon emissions of megacities. *Nat Clim Change*. 2012, 2:560–2. URL.: <https://acp.copernicus.org/articles/21/10939/2021/acp-21-10939-2021.pdf>
32. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. 2021. *Pathway to a Healthy Planet for All. EU Action Plan: «Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil»*. Document 52021DC0400. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52021DC0400>
33. Проблема опасного загрязнения воздуха в Украине остро нуждается в решении. URL: <https://bankwatch.org/blog/problema-opasnogo-zagryazneniya-vozduha-v-ukraine-ostro-nuzhdaetsya-v-reshenii?lang>.
34. Забруднення міст. URL: <https://www.meteorprog.ua/ru/news/53744-smog-v-irane-ezednevno-pogibaet-pochti-200-celovek.html>
35. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського

URL: [http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/index.php?fn=k\\_zabrud&f=kyiv](http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv)

36. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

37. Трофимович В.В., Рейцен Е.А., Журавская Н.Е. Источники образования формальдегида в составе фотохимического смога на урбанизованных территориях. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. №52. С.427-437. URL:

38. Кищун В.А. Инфраструктура та ринок дорожніх транспортних засобів (ДТЗ): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. 224 с.

39. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. Підручник. 6-те вид. К.: Либідь, 2006. 400 с. URL: <http://tpl.org.ua/bydova%20avtomobula.pdf>

40. Автомобільна промисловість Японії. URL: <https://uadoc.zavantag.com/text/12203/index-1.html>

41. Emissions in the automotive sector URL: [https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive-industry/environmental-protection/emissions-automotive-sector\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive-industry/environmental-protection/emissions-automotive-sector_en).

42. У ЄС посилили норми викидів вуглекислого газу для нових автомобілів з 2030 року. URL: <https://www.unian.ua/ecology/reduction/10380747-u-yes-posilili-normi-vikidiv-vuglekislogo-gazu-dlya-novih-avtomobiliv-z-2030-roku.html>

43. Вплив змін клімату на роботу транспортної системи України на основі сценаріїв. URL: <http://umhs.org.ua/?p=657>

44. Солуха І.Б. Особливості екологічних стандартів Євро при оцінці забруднення атмосферного повітря на прилеглих територіях міських вулиць і доріг населених пунктів України. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. №51. С.571-583. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/8086>

45. Екологічні пріоритети українців у 13 вражаючих графіках. URL:

<https://undpukraine.medium.com>.

46. Amsterdam Declaration (2002). URL: <https://humanists.international>.
47. Габрель М.М., Лисяк Н.М., Габрель Т.М. Трансформації простору міст – обласних центрів України пострадянського періоду. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. №80. С. 91–114.
48. Габрель М.М. Урбаністична діяльність та управління містом як системою-процесом. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №69. С.57-67. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201969.pdf>
49. Татарченко Г.О. Екологічні аспекти урбанізованих територій. Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства». (Рівне, 21-22 квітня 2021). Рівне: 2021. С. 1-3. URL.: <https://www.facebook.com/MBG.NUWGP>
50. Дьомін М.М., Габрель М.М. Урбаністично-комунікаційні взаємозв'язки у вирішенні транспортних проблем великих міст. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №69. С.103-122. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201969.pdf>
51. Приймаченко О.В. Вплив магістральних вулиць на екологічний стан міжмагістральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №48. С.355-358. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp48>
52. Приймаченко О.В. Аналіз впливу екологічних навантажень на екологічну ситуацію у м. Києві. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №50. С.568-575. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp50>
53. Knyazev D.K. Environmental risks from automobile transport in a metropolis. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2019, V.14. Issue 10. С. 1299–1308. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1299-1308
54. European Commission. (2020). Circular economy action plan. For a cleaner and more competitive Europe. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-170854112#>

55. Петруня О.М. Екологічна оцінка впливу діяльності АЗК на оточуюче середовище міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №48. С.342-345. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp48>
56. Загрязнение воздуха в мир: качество воздуха карте в режиме реального времени. URL: <https://aqicn.org/map/world/>.
57. Солуха І.Б. Дослідження питання діоксинів у навколишньому середовищі. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №50. С.667-678. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp50>
58. Качество воздуха в Киеве. URL: <https://www.iqair.com/ru/ukraine/kyiv/kyiv-c>.
59. Krzyzanowski, M., Apte, JS, Bonjour, SP, et al. Air Pollution in the Mega-cities. *Curr Envir Health Rpt*. 2014, 1.-191. DOI:10.1007/s40572-014-0019-7
60. Влияние выхлопных газов на организм людей. URL: <https://otravlenye.ru/vidy/himicheskie/vliyanie-vyhlopnyh-gazov-na-organizm-lyudej.html>
61. Вяткин М. Ф., Куимова М. В. О влиянии выхлопных газов автомобилей на здоровье человека. *Молодой ученый*. 2015, №10. С. 87-88. URL.: <https://moluch.ru/archive/90/19172/>
62. Загрязнение окружающей среды выхлопными газами. URL: <http://yabrukova.21310s16.edusite.ru/p65aa1.html>
63. Тупикин, Е.И. Общая биология с основами экологии и природоохранной деятельности: Учебн. пособие для нач. проф. Образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. с. URL.: <http://psbatishev.narod.ru/library/19943.htm>.
64. Kohl L, Richard Nielsen Gas Purification. *Hardcover*. 1997. 2624. p.-. ISBN: 9780884152200 eBook.
65. Справочник химика. Окислительные методы очистки. URL: <https://chem21.info/info/1908105>
66. Pimneva L. A., Zagorskaya A. A. & Agibalov A. I. Catalytic purification of gas emission using complex metaloxide CuOMnO<sub>2</sub>. *Conference Series: Materials*

*Science and Engineering*. 2018, V.451. 012222 DOI: 10.1088/1757-899x/451/1/012222

67. Очищення газів у фільтрах. URL: <https://studfile.net/preview/9835118/page:4/>

68. Очищення, знезараження, знешкодження та дезодорування газоповітряних викидів. URL: <http://um.co.ua/4/4-13/4-138913.html>

69. Середній вік автомобілів в Україні. URL: <https://freeins.com.ua/news/srednij-vozzrast-avtomobilej-v-ukraine-uvelichilsya-do-19-6-let/>

70. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0379-96/conv/print>

71. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. К.: Мінрегіонбуд України, 2019. 185 с.

72. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Білошицька Н.І. Просторове планування території Східноукраїнського національного Університету імені Володимира Даля. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2019, № 7 (255). С. 7-14. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-255-7-7-13.

73. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С. Формування міських просторів малих та середніх міст. *Збірник наукових праць. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*. 2020. 1 (54). С. 81-86. DOI.: 10.26906/znp.2020.54.2277

74. Банах А.В. Концептуальні основи теорії взаємодії природної та антропогенної систем в контексті регіональної політики і сталого розвитку міських територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №66. С.22-26. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2018/201868.pdf>

75. Габрель М.М. Зміст урбаністичних та задач просторового планування, підходи й методи їх вирішення. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №66. С.64-77. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/6010/201868-65-78.pdf?sequence=1>

76. Банах А.В. Проблематика взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №68. С.22-26. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6007>
77. Банах А.В., Полтавець М.О. Аналіз взаємного впливу параметрів природної та антропогенної містобудівних систем. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. №69. С.8-14. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201969.pdf>
78. Морозов А. Е. Стародубцева Н. И. Метеорологические условия и загрязнение атмосферы. Навчальний посібник. УГЛТУ: 2020. 128 с. URL: [https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9800/1/Morozov\\_20.pdf](https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9800/1/Morozov_20.pdf)
79. Анохин А.А. Урбанизация как фактор состояния окружающей среды. *География и окружающая среда*. СПб: Наука, 2003. С. 417- 426.
80. Татарченко Г.О., Дьомін М.М. Концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ. 2022, 62. С.350-362. <https://doi.org/10.32347/2077-3425.2022.62.350-362>.
81. Tatarchenko H., Kravchenko I. Towards Clean Air of Urbanized Territories. *Heliyon*. 2022. P.1-12. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4031260> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.403126006-1>).
82. Новости ООН. Глобальное потепление связано с деятельностью человека и происходит с беспрецедентной скоростью URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/08/1407862>.
83. Осетрін М.М., Тарасюк В.П. Факторний аналіз витрат паливно-мастильних матеріалів транспортного потоку на перетинах міських магістралей. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №50. С.452-455. URL:<http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp50>
84. Катушков В.О. Особливості визначення площі міського кварталу фотограмметричним методом. *Сучасні проблеми архітектури і містобудування*. 2022. Вип. 62. С. 343-348.
85. Почукаев М.И., Панов Ю.В., Зенченко В.А., Молчанинов В.И.

Исследование степени влияния погодных условий на расход компримированного природного газа автобусами. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2014. № 4 (40). С. 14-19.

86. Бобров Е.А. Социально-экологические проблемы крупных городов и пути их решения. *Научные ведомости | Серия Естественные науки*. 2011. № 15 (110). Выпуск 16. С.199-208.

87. Державні будівельні норми України. Вулиці та дороги населених пунктів. ДБН В.2.3.-5:2018. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=77079](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77079)

88. Nasrin Akhter<sup>1</sup>, Md. Eabad Ali<sup>1</sup>, Mohammad Matiur Rahman, Md. Nur Hossain, and Md. Mamu Molla Simulation of air pollution dispersion in Dhaka city street canyon. *AIP Advances*. 2021, V.11, Issue 6. P.1-12. DOI:10.1063/5.0033948.

89. Типи забудови житлових кварталів. <https://helpiks.org/6-13856.html>.

90. Тасейко О.В. Михайлюта С.В. Моделирование пространственного распределения загрязнителей от автотранспорта в условиях городской застройки. *География и природные ресурсы*. 2004, Специальный выпуск. С. 180–185.

91. Татарченко Г.О. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. *Містобудування та територіальне планування*. 2022, №79. С. 381-395. DOI:10.32 347/2076-815x.2022.79.381-395.

92. Badach, J.; Voordeckers, D.; Nyka, L.; van Acker, M. A framework for Air Quality Management Zones-Useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. *Build. Environ.* 2020, 174, P.106743. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320301013>

93. Tella A., Balogun, A.L. GIS-based air quality modelling: Spatial prediction of PM<sub>10</sub> for Selangor State, Malaysia using machine learning algorithms. *Environ. Sci. Pollut.* 2021. P.1–17. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34533750/>

94. Серебровский Ф.Л. Аэрация жилой застройки. М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. 112 с. URL.: [https://www.studmed.ruserebrovskiy-f-l-aeraciya-zhiloy-zastroyki\\_bf510911012.htm](https://www.studmed.ruserebrovskiy-f-l-aeraciya-zhiloy-zastroyki_bf510911012.htm)



95. Реттер Э. И., Серебровский Ф. Л. Аэродинамическая характеристика жилых зданий. URL.: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4050](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4050)
96. Татарченко Г.О., Бездоля А.Г. Типологія забудови як фактор впливу на рівень забруднення повітряного басейну та зміну режиму аерації в місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. (Сєвєродонецьк 4-5. листопада 2020). Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.43-45.
97. Вовк И. Г. Геометрическое моделирование линейных объектов в прикладной геоинформатике. *Вестник СГГА*. 2013, Вып. 5 (21). С. 57–62
98. Мостовенко А. Геометрическое моделирование физического поля с линейным источником энергии. Містобудування та територіальне планування. Київ. 2020. № 73. С. 205-212. DOI.: 10.32347/2076-815x.2020.73.205-212
99. Татарченко Г.О. Просторове моделювання забруднень повітря приміагістральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022, №80. С. 389–402. DOI:10.32347/2076-815x.2022.80.389-402
100. Крашенинников И.А. Перспективы анализа «пористости» городской ткани. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. №3(40). С. 215-226. <http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/16krasheninnikov/index.php>
101. ДБН В.2.3-5:2018 "Вулиці та дороги населених пунктів" URL: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/zmina-1-dbn-v.2.3-5-2018\\_30.05.22-2\\_removed.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/06/zmina-1-dbn-v.2.3-5-2018_30.05.22-2_removed.pdf)
102. Demin N., Mikhailic O. Water Areas of Kiev: Losses, Gains and Ways of Revival. *Urban and Regional Planning*. 2020. Vol. 5(4). P. 109-113.
103. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. Наказ Державного комітету статистики України №452 від 13.11.2008. URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/55978\\_\\_538642](https://zakononline.com.ua/documents/show/55978__538642)
104. Рельєф Києву. URL: <https://geomap.com.ua/ru-gk/210.html>
105. Топографічна карта Києва. URL: <https://topographicmap.com/maps>.

106. Клімат Києва. Повторюваність напрямку вітру за рік. URL: <https://meteorpost.com/weather/climate-normals/kyiv/>

107. Marco Túllio Vilhena, Tiziano Tirabassi, Bardo Bodmann. Air Pollution Steady-State Advection-Diffusion Equation: The General Three-Dimensional Solution Daniela Buske. *Journal of Environmental Protection*/ 2012. Vol.3. P 29-131. DOI.: 10.4236/jep.2012.329131.

108. Davidson Martins Moreira, M. T. Vilhena, J.C. Carvalho, Gervásio A. Degrazia Analytical solution of the advection–diffusion equation with nonlocal closure of the turbulent diffusion. *Environmental Modelling and Software*. 2005. Vol.20(10). P. 1347–1351.

109. Khaled Sadek Mohamed Essa, Aziz Nazer Mina, Hany Saleh Hamdy, Fawzia Mubarak & Ayman Ali khalifa. Studying the variation of eddy diffusivity on the behavior of advection-diffusion equation. *Journal of Astronomy and Geophysics*. 2018 P. 10-14. DOI: 10.1016/j.nrjag.2018.02.003.

110. Pérez Guerrero J.S., Oliveira-Júnior J.F., Heilbron Filho, Ulke A.G. A unified analytical solution of the steady-state atmospheric diffusion equation. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 55. P. 201-212. DOI.: 10.1016/j.atmosenv.2012.03.015

111. Pimentel L. C. G., Pérez Guerrero J. S., Ulke A. G., Duda F. P. and Heilbron P. F. L. Filho. Assessment of the unified analytical solution of the steady-state atmospheric diffusion equation for stable conditions. *Published*. 2014. Vol.470. P. 20140021-20140021. DOI:10.1098/rspa.2014.0021.

112. Xiaomeng Dong, Zhijian Zhang, Dong Liu, Zhaofei Tian & Guangliang Chen. Numerical Investigation of the Effect of Grids and Turbulence Models on Critical Heat Flux in a Vertical Pipe. *Original research, article Front. Energy Res*. 2018. Vol. 6(58). P. 1-11. DOI:10.3389/fenrg.2018.00058

113. Carlo Cintolesi & Etienne Mémin. Stochastic Modelling of Turbulent Flows for Numerical Simulations Classical and Modern Topics in Fluid Dynamics and Transport. *Phenomena*. 2020. 5(3). P. 108-120. DOI:10.3390/fluids5030108

114. Applied C.D. Argyropoulos & N.C. Markatos. Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows. *Mathematical Modelling*. 2015. 39(2). P. 693-732. DOI:10.1016/j.apm.2014.07.001
115. Juan M. Gimenez, Sergio R. Idelsohn, Eugenio Oñate & Rainald Löhner. A Multiscale Approach for the Numerical Simulation of Turbulent Flows with Droplets. *Arch Comput Methods Eng*. 2021. P. 1–20. DOI:10.1007/s11831-021-09614-6
116. Laín S. & Grillo C. A. Evaluation of lagrangian particle dispersion models in turbulent flows. *Chemical Engineering Communications*. 2007. Vol. 195, Issue 3. P. 189-208. DOI:10.1080/00986440701569010
117. Rajib Pokhrel, Pokhara, Incheon. Comparison of Gaussian Plume Model and Lagrangian Particle Model for the Application of Coastal Air Quality Modelling American. *Journal of Environmental and Resource Economics*. 2019. Vol.4, Issue 4. P. 152-158. URL: <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal>
118. Pisso. I., Patra. P., Takigawa, M. et al. Assessing Lagrangian inverse modelling of urban anthropogenic CO<sub>2</sub> fluxes using in situ aircraft and ground-based measurements in the Tokyo area. *Carbon Balance Manage*. 2019. Vol. 6, article id. 14. DOI.:10.1186/s13021-019-0118-8.
119. Patra PK, Law RM, Peters W, Rödenbeck C, Takigawa M, Aulagnier C, Baker I, Bergmann DJ, Bousquet P, Brandt J, Bruhwiler L, Cameron-Smith PJ, Christensen JH, Delage F, Denning AS, Fan S, Geels C, Houweling S, Imasu R, Karstens U, Kawa SR, Kleist J, Krol MC, Lin S-J, Lokupitiya R, Maki T, Maksyutov S, Niwa Y, Onishi R, Parazoo N, Pieterse G, Rivier L, Satoh M, Serrar S, Taguchi S, Vautard R, Vermeulen AT, Zhu Z. TransCom model simulations of hourly atmospheric CO<sub>2</sub>: analysis of synoptic-scale variations for the period 2002–2003. *Glob Biogeochem Cycle*. 2008. Vol.22 P. 4013. DOI.: 10.1029/2007GB003081
120. Feng S, Lauvaux T, Newman S, Rao P, Ahmadov R, Deng A, Díaz-Isaac LI, Duren RM, Fischer ML, Gerbig C, Gurney KR, Huang J, Jeong S, Li Z, Miller CE, O’Keeffe D, Patarasuk R, Sander SP, Song Y, Wong KW, Yung YL. Los Angeles megacity: a high-resolution land–atmosphere modelling system for urban CO<sub>2</sub>

emissions. *Atmos Chem Phys*. 2016. Vol.16. P. 9019–45. DOI:10.5194/acp-16-9019-2016

121. ГСТУ 218-02071168-096-2003. Охорона навколишнього середовища. Автомобільні дороги загального користування. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз. URL.: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=46180](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=46180)

122. Sailaubek D. A., Rubtsova O. A. & Kukulin V. I. Charged particle scattering problem with a complex-range Gaussian basis. *The European Physical Journal*. 2018. Vol. 54, Issue 7, article id. 126. 11 pp. DOI.:10.1140/epja/i2018-12563-9

123. Ghosh Subhroshekhar, Rigollet Philippe. Gaussian determinantal processes: A new model for directionality in data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. 117 (24). P. 13207-13213. DOI: 10.1073/pnas.1917151117

124. Petersen W. User's guide for HIWAY-2, a highway air pollution model. EPA600/8-80-018. *North California: EPA*. 1980. 69 p. URL.: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101HIV7.PDF?Dockey=9101HIV7.PDF>

125. Benson P. CALINE4 — a dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways. FHWA/CA/TL-84/15. *California Department of Transportation*. Sacramento.1984. .277 p. URL.: <https://trid.trb.org/view/215944>

126. Benson P. A review of the development and application of CALINE3 and 4 models. *Atmospheric Environment*. 1992. P. 379 -390. DOI.:10.1016/0957-1272(92)90013-I

127. Chock D.P. A simple line-source model for dispersion near roadway. *Atmospheric Environment*. 1978. Vol. 12. P. 823 - 829. DOI.:10.1016/0004-6981(78)90019-7

128. Luhar A. General Finite Line Source Model for Vehicular Pollution Dispersion. *Atmospheric Environment*. 1989. Vol. 23. C. 555-562. URL.: <http://worldcat.org/issn/13522310>

129. Kono H. A micro-scale dispersion model for motor vehicle exhaust gas in urban area - OMG volume--source model. *Atmospheric Environment*. 1990. Vol. 24B:2. P. 243 - 251. DOI.:10.1016/0957-1272(90)90029-T
130. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки здоровья человека. *Региональные публикации ВОЗ, Европейская серия*. 2001. № 85. 293 с. URL.: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/276778>
131. Csanady, G. T. Crosswind Shear Effects on Atmospheric Diffusion *Atmospheric Environment*. 1972. Vol. 6. P. 221 - 232. DOI.:10.1016/S0004-6981(72)80150-1
132. Jaakko Kukkonen A dispersion modelling system for urban air pollution. *FMI Publications on Air Quality*. Helsinki: 1997. Vol. 30. P. 115. DOI.: 10.13140/2.1.4386.6244.
133. Qin Y., Kot S.C. Dispersion of Vehicular Emission in Street Canyon. Guangzhou City, South China (PRC). *Atmospheric Environment*. 1993. Vol. 27B, №3. P.283-291. DOI.:10.13140/2.1.4386.6244
134. Xian-Xiang Li, Dennis Y. C., Leung, Chun-Ho Liu &K. M. Lam. Physical Modeling of Flow Field inside Urban Street Canyons. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2008. Vol. 47, Issue 7. P. 2058–2067. DOI: 10.1175/2007JAMC1815.1
135. Yamartino R.J., Wiegand G. Development and evaluation of simple models for flow, turbulence and pollutant concentration fields within in urban area street canyon. *Atmospheric Environment*. 1986. Vol. 35. P. 2137 - 2156. DOI.:10.1016/0004-6981(86)90307-0
136. Ferens H.C., Sliggers C.J., Hout K.D. The CAR model: The Dutch method to determine city street air quality. *Atmospheric Environment*. 1993. Vol.27B, № 4. P. 389-399. DOI.:10.1016/0957-1272(93)90016-Y
137. Berkowicz R., Hertel O. Modelling from traffic in a street canyon.. *National Environmental Research Institute*. Roskilde: 1997. 51 p. URL.: [https://www.academia.edu/10920637/Modelling\\_traffic\\_pollution\\_in\\_streets](https://www.academia.edu/10920637/Modelling_traffic_pollution_in_streets)

138. Schattanek G., Kahng E, Stratou T., Braverman T.N. Cal3qhc Version 2.0 Modeling Methodology for Predicting Pollutant Concentrations Near Roadway Intersections, Revised USEPA. 1995. 98 p. URL.: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000F7MN.PDF?Dockey=2000F7MN.PDF>

139. Berkowicz R., Palmgren F., Hertel O. Using measurements of air pollution in streets for evaluation of urban air quality - meteorological analysis and model calculations. *Sci. Total Environ.* 1996. Vol. 189/190. P. 259 -265. DOI.:10.1016/0048-9697(96)05217-5

140. New Modified Urban Canyon Models for Satellite Signal Propagation Prediction. *IEEE Access*, 2019. Vol. 7. P.25298.-25307. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2900958

141. Palmgren F., Berkowicz R., Hertel O., Vignati E. Effects of reduction of NO<sub>x</sub> on NO<sub>2</sub> levels in urban streets. *Sci. Total Environ.* 1996. Vol. 189/190. P. 409-415. DOI.:10.1016/0048-9697(96)05238-2

142. Bower J.S., Broughton G.F.J., Stedman J.R., Williams M.L. A winter NO<sub>2</sub> smog episode in the U.K. *Atmospheric Environment.* 1994. Vol. 28. P. 461-475. URL.: <http://worldcat.org/issn/13522310>

143. Derwent R.G. [and oth.]. Analysis and interrelation of air quality data from an urban roadside location in Central London over the period from July 1991 to July 1992. *Atmospheric Environment.* 1995. Vol. 29. P. 923 - 946. DOI.:10.1016/1352-2310(94)00219-B

144. Hov O., Larsen S. Street canyon concentration of nitrogen dioxide in Oslo. Measurements and model calculations. *Environ Sci. Technol.* 1984. Vol. 18. P. 82-87. DOI.: 10.1021/es00120a006

145. Air pollution episodes: modelling tools for improved smog management. *Anglia Polytechnic University, Cambridge, UK*, 2000. Vol. 42 P.10. URL.: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/42/3879>

146. Glen, W.G., Zelenka Nip., Graham Re. Relating meteorological variables and trends in motor vehicle emissions to monthly urban carbon monoxide

concentrations. *Atmospheric Environment*. 1996. Vol. 39. P. 4225-4232. DOI: 10.1016/1352-2310(96)00130-6

147. Kostas Karatzas, Nikos Katsifarakis, Cezary Orłowski & Arkadiusz Sarzyński. Revisiting urban air quality forecasting: a regression approach. *Vietnam Journal of Computer Science*. 2018, Vol.5, P. 177-184. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40595-018-0113-0>

148. Comrie, A.C., Diem K. Climatology and forecast modelling of ambient carbon monoxide in Phoenix, Arizona. *Atmospheric Environment*. 1999. Vol. 33. P. 5023 -5036. DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00314-3

149. Sharma P., Khare M., Chakrabarsi S.P. Application of extreme value theory for predicting violations of air quality standard for an urban road intersection. *Transp. Res. D4*. 1999. P. 201 - 216. DOI: 10.1016/S1361-9209(99)00006-1

150. Sharma, P., Khare M. Real-time prediction of extreme ambient carbon monoxide concentrations due to vehicular exhaust emissions using univariate linear stochastic models. *Transportation Research. D5*.2000. P. 59 - 69. DOI:10.1016/S1361-9209(99)00024-3

151. Kamal Jyoti Maji, Anil Kumar Dikshit & Ashok Deshpande. Can fuzzy set theory bring complex issues in sizing air quality monitoring network into focus? 2017. Vol.8, P.2118–2128. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13198-014-0327-1>

152. Xiuming Liu, Edith Ngai, Dave Zachariah. Scalable belief updating for urban air quality modeling and prediction. *ACM/IMS Transportation Data Science*. 2020. Vol. 2, №.1-19. P. DOI: 10.1145/3402903

153. Татарченко Г.О., Дьомин М.М., Білошицький М.В. Татарченко Г.О., Дьомин М.М., Білошицький М.В. Пристрій для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 147495, Україна: B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006. 1). № u202008025; заявл. 15.12.2020; опубл.12.05.2021, Бюл. № 19/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257/>.

154. Martin Gerardo Rodriguez, Birmania Heredia Rivera, Melvin Rodriguez Heredia, Birmania Rodriguez Heredia & Rodolfo Gonzalez Segovia. A study of dust airborne particles collected by vehicular traffic from the atmosphere of southern megalopolis Mexico City. *Environmental Systems Research*. 2019. Vol. 8, №16. P. 1-17. DOI.: 10.1186/s40068-019-0143-3
155. Harris S. J., & Maricq M. M. Signature Size Distributions for Diesel and Gasoline Engine Exhaust Particulate Matter. *J. Aerosol Sci.* 2001. Vol. 32 (6). P.749–764. DOI.: 10.1016/S0021-8502(00)00111-7
156. Cherniha R., Pliukhin O. New conditional symmetries and exact solutions of reaction-diffusion-convection equations with exponential nonlinearities. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2013. Vol. 403(1). P.23-37. DOI.: 10.1016/j.jmaa.2013.02.010
157. Cherniha R., Serov M. Nonlinear systems of the burgers-type equations: Lie and Q-conditional symmetries, ansätze and solutions. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2003. Vol. 282(1). P.305-328. DOI.: 10.1016/S0022-247X(03)00155-0
158. ДСТУ ISO 14644-2:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря. URL.: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti\\_primischennya\\_ta\\_povyazan-3-465688.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti_primischennya_ta_povyazan-3-465688.pdf)
159. ДСТУ ISO 14644-2:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 2. Вимоги контролю та моніторингу для підтвердження відповідності ДСТУ ISO 14644-1 (ISO 14644-2:2000, IDT) URL.: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti\\_primischennya\\_ta\\_povyazan-3-465688.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti_primischennya_ta_povyazan-3-465688.pdf)
160. ДСТУ ISO 14644-2:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 3. Метрологія та методи випробовування. ДСТУ ISO 14644-1 (ISO 14644-2:2000, IDT) URL.: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti\\_primischennya\\_ta\\_povyazan-3-465688.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti_primischennya_ta_povyazan-3-465688.pdf)



161. ДСТУ ISO 14644-2:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 4. Проектування, будівництво та введення в експлуатацію. ДСТУ ISO 14644-1 (ISO 14644-2:2000, IDT) URL.: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti\\_primischennya\\_ta\\_povyazan-3-465688.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti_primischennya_ta_povyazan-3-465688.pdf)

162. ДСТУ ISO 14644-2:2009. Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 5. Експлуатація. ДСТУ ISO 14644-1 (ISO 14644-2:2000, IDT) URL.: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti\\_primischennya\\_ta\\_povyazan-3-465688.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/chisti_primischennya_ta_povyazan-3-465688.pdf)

163. Whyte W.: Cleanroom Design. *John Wiley & Sons*. New York. 1999. 323 p. URL.: <https://www.bol.com/nl/nl/p/cleanroom-design/1001004001721657/>

164. Terrence D. Lewis, Aidita N James, Micah J Hill, Ryan J Heitmann. Clean room technology and IVF outcomes. *United States: A Practical Guide*. 2016. Chapter 25. 14 p. DOI.: 10.1201/9781315372464-26

165. Татарченко Г.О., Кравченко І. В., Писаренко М. В., Поркуян С. Л. Дослідження забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автотранспорту в міському середовищі. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. Сєверодонецьк. 2019, № 8 (256). С. 99-104. DOI.:10.33216/1998-7927-2019-256-8-99-104.

166. Panu Karjalainen, Sampo Saari, Heino Kuuluvainen, Tapio Kalliohaka, Aimo Taipale, Topi Rönkkö. Performance of ventilation filtration technologies on characteristic traffic related aerosol down to nanocluster size. *Aerosol Science and Technology*. 2017. Vol. 51, Issue 12. P. 1398–1408. URL.: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02786826.2017.1356904>

167. Tsygankov A. V., Lysev V. I., Dolgovskaia O. V., Hildayati A. The selection of a filter for cleanrooms. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. P. 11–16. DOI.:10.17586/1606-4313-2019-18-1-11-16

168. Kim S. J., Chase G., Jana S. C.: The role of mesopores in achieving high efficiency airborne nanoparticle filtration using aerogel monoliths. *Separation and*

*Purification Technolog.* 2016. Vol.166. P.48–54. DOI.:10.17586/1606-4313-2019-18-1-11-16

169. Alexandrescu L., Syverud K., Nicosia A., Santachiara G., Fabrizi A., Belosi F. Airborne nanoparticles filtration by means of cellulose nanofibril based materials. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology.* 2015. Vol. 7, P. 29–36. DOI.:10.4236/jbnnb.2016.71004

170. Khoroshun G.M., Tatarchenko G.O., Diomin M. M., Tatarchenko Z.S. Cleanroom air control. Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2020. Vol 181. P. 497-504. DOI.:10.1007/978-3-030-85043-2\_47.

171. Khoroshun G., Luniakin R., Riazantsev A., Ryazantsev O., Skurydina T., Tatarchenko H.: The Development of an Application for Microparticle Counting Using a Neural Network. Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS). 2020.Vol. I. P. 1186-1195. URL.: <http://ceur-ws.org/Vol-2604/paper76.pdf>

172. Khoroshun G. M. Decision support methods in optical research. *Advanced Information Systems.* 2020, Vol. 4(4). P. 1-5. DOI.:10.20998/2522-9052.2020.4.01

173. Татарченко Г.О., Рязанцев О.І., Хорошун Г.М. Інформаційна технологія контролю стану повітря в розумному місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Сєверодонецьк 4-5 листопада 2020). Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.76-78. URL.: [http://filelibsnu.at.ua/conference/v\\_vnpik\\_rbtzhkgvsu\\_2022.pdf](http://filelibsnu.at.ua/conference/v_vnpik_rbtzhkgvsu_2022.pdf)

174. Dennis M. R., O'Holleran K., and Padgett M. J. Singular optics: optical vortices and polarization singularities. *Prog. Opt.* 2009. Vol. 53, P. 293–363. DOI.:10.1016/S0079-6638(08)00205-9

175. Gbur G. J. Singular optics. *CRC Press.* 2016. 543 p. DOI.:10.1201/9781315374260

176. Zhao J., Chremmos I. D., Song D., Christodoulides D. N., Efremidis N. K. and Chen Z., Curved singular beams for three-dimensional particle manipulation. *Scientific Reports*. 2015. Vol.5. P.12086. DOI: 10.1038/srep12086.
177. Desyatnikov Anton S, Fadeyeva Tatyana A and Dennis Mark R. Singular Optics. *Special issue of International Journal of Optics*. 2013. Vol. 15(4). P.0201- 1-106. DOI.: 10.1088/2040-8978/15/4/040201
178. Bekshaev A., Chernykh A., Khoroshun A., Mikhaylovskaya L. Localization and migration of phase singularities in the edge-diffracted optical-vortex beams. *Journal of Optics*. 2016. Vol. 18 (2). P. 024011. URL.: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1511/1511.01275.pdf>
179. Bekshaev A., Chernykh A., Khoroshun A., Mikhaylovskaya L. Singular skeleton evolution and topological reactions in edge-diffracted circular optical-vortex beams. *Optics Commun.* 2017. Vol.397. P. 72–83. DOI.: 10.1016/j.optcom.2017.03.062
180. Angelsky O. V., Zenkova C. Yu., Gorsky M. P. Search for Methods of Restoring Spatial Phase Distribution of Complex Optical Fields. *The Open Optics Journal*. 2014. Vol.8. P. 3-13. DOI.: 10.2174/1874328501408010003
181. Larkin K. G., Bone D. J., Oldfield M. A. Natural demodulation of two-dimensional fringe patterns. I. General background of the spiral phase quadrature transform. *Journal Optics Society*. 2001.Vol. 18(8). P. 1862-1870. DOI.: 10.1364/JOSAA.18.001862
182. Wang W., Yokozeiki T., Ishijima R., Wada A., Miyamoto Y., Takeda M., and Hanson S. Optical vortex metrology for nanometric speckle displacement measurement. *Optics Express*. 2006. Vol. 14, P.120–127. DOI.: 10.1364/OPEX.14.000120
183. Dennis M. R., Götte J. B. Topological Aberration of Optical Vortex Beams: Determining Dielectric Interfaces by Optical Singularity Shifts. *Physical review letters*. 2012. Vol. 109 (18). P.183903. DOI.: 10.1103/PhysRevLett.109.183903

184. Dienerowitz M., Mazilu M. & Dholakia K. Optical manipulation of nanoparticles: a review. *Journal of Nanophotonics*. 2008. Vol. 2(1). P. 021875. DOI.: 10.1117/1.2992045
185. Shvedov V. G., Desyatnikov A. S., Rode A. V., Krolikowski W., and Kivshar Yu. S., Optical guiding of absorbing nanoclusters in air. *Optics Express*. 2009. Vol. 17(7). P. 5743–5757. DOI.: 10.1364/OE.17.005743
186. Shvedov V. G., Rode A. V., Izdebskaya Y. V., Desyatnikov, A. S., Krolikowski W., Kivshar, Y. S. Giant optical manipulation. *Physical review letters*. 2010. Vol. 105(11). P.118103. DOI.: 10.1103/PhysRevLett.105.118103
187. Liu F, Zhang Z, Wei Y, Zhang Q, Cheng T, Wu X. Photophoretic trapping of multiple particles in tapered-ring optical field. *Optics Express*. 2014. Vol. 22(19). P.23716-23. DOI.: 10.1364/OE.22.023716
188. Porfirev A.P., Shipilov A.S. Laser trapping based on photophoretic forces using a spatial light modulator. *CEUR Workshop Proceedings*. 2016. Vol. 1638. P. 111-116. DOI.: 10.18287/1613-0073-2016-1638-111-116.
189. Masajada J., Leniec M., Drobczyński S., Thienpont H., Kress B. Micro-step localization using double charge optical vortex interferometer. *Optics Express* 2009. Vol. 17 (18). P. 16144-16159. DOI.: 10.1364/OE.17.016144
190. Izdebskaya Ya., Shvedov V., Kurabtzev D., Alexeyev A., Volyar A. The optical vortex generation by optical wedge. *Proc. SPIE 4607*. 2001. P.78-82. DOI.: 10.1117/12.455173
191. Vyas S., Senthilkumaran P. Vortices from wavefront tilts. *Optics and Lasers*. 2010. Vol. 48. P. 834–840. DOI.: 10.1016/j.optlaseng.2010.04.008
192. Khoroshun A. N. Optimal linear phase mask for the singular beam synthesis from a Gaussian beam and the scheme of its experimental realization. *Journal of Modern Optics*. 2010. Vol. 57. P. 1542–1549. DOI.: 10.1080/09500340.2010.511288
193. Khoroshun A. N., Chernykh A. V., Tsimbaluk A. N., Kirichenko J. A., Yezhov P. V., Kuzmenko A. V., Kim J. T. Properties of an Axial Optical Vortex

Generated with the use of a Gaussian Beam and Two Ramps. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2016. Vol. 16 (2). P. 2105-2107. DOI.: 10.1166/jnn.2016.12029

194. Gorshkov V. N.; Kononenko A. N.; Soskin M. S. Topology of optical vortices spontaneous birth. *Proc. SPIE 4607*. 2002. P. 12. DOI.: 10.1117/12.455181

195. Khoroshun A. V. Chernyk A. Ya., Tatarchenko G.O., Bekshaev A., Akhmerov A. Laguerre-Gaussian beam transformations by the double-phase-ramp converter: Singular skeleton formation and its sensitivity to small misalignment. *Proceeding of SPIE*. 2018. Vol. 10612. P. 1-9. DOI.: 10.1117/12.2303901

196. Khoroshun G.M., Chernykh O., Tatarchenko H.O., Sato S., Kozawa Y., Popiolek-Masajada A., Szatkowski M., Lamperska W. Chain of optical vortices synthesized by a Gaussian beam and the double-phase-ramp converter. *OSA Continuum*. 2019. Vol. 2, Issue 2. P. 320-331. DOI.: 10.1364/OSAC.2.000320.

197. Витрищак С.В., Санина Е.В., Сичанова Е.В., Савина Е.Л., Клименко А.В., С.В. Жук, Юркевич В.М. Анализ загрязнения атмосферного воздуха крупных промышленных городов и его влияние на уровень заболеваемости детей и подростков. *Український журнал клінічної та лабораторної медицини*. 2010. том 5, №4. P.167-172. URL.: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.

198. Изменение климата URL.: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

199. The energy performance of buildings directive. *Ec.europa.eu*. 2019. URL.: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/buildings\\_performance\\_factsheet.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/buildings_performance_factsheet.pdf).

200. Шестопапов В.М., Макаренко А.Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И. Вернадского о «Газовом дыхании» Земли. Статья 2. Глубинные процессы дегазации недр. *Геологический журнал*. 2014. № 3 (348). С. 7-25. URL.: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/158553/01-Shestopalov.pdf?sequence=1>

201. Шестопапов В.М., Макаренко А.Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В. И. Вернадского о "Газовом дыхании" Земли. Статья 1. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной

дегазации. *Геологічний журнал*. 2013. № 3. С. 139-179. DOI: 10.30836/igs.1025-6814.2013.3.139179.

202. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат. 1985. 208 с. URL.: [https://www.studmed.ru/budyko-m-i-ronov-a-b-yanshin-a-l-istoriya-atmosfery\\_65deb424b28.html](https://www.studmed.ru/budyko-m-i-ronov-a-b-yanshin-a-l-istoriya-atmosfery_65deb424b28.html)

203. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза. *Геология руд. месторождений*. 2001. Т. 43, № 4. С. 291-307. URL.: <http://deeroil.ru/index.php/bazaznaniy/item/49>

204. Угольные бассейны Германии. URL.: <http://industrial-wood.ru/ugolnye-mestorozhdeniya/14543-ugolnye-basseyny-germanii.html>

205. Горовая А.И., Павличенко А.В., Кулына С.Л. Оценка влияния на окружающую среду процессов отвалообразования (на примере львовско-волынского угольного бассейна Украины). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009. Т.5. Р. 197-207. URL.: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-na-okruzhayuschuyu-sredu-protsessov-otvaloobrazovaniya-na-primere-lvovsko-volynskogo-ugolnogo-basseyna-ukrainy>

206. Стрелина Е. Н., Йоненко А. И., Современные проблемы развития угольной промышленности Украины в контексте энергетической независимости страны. *Ефективна економіка*. 2014. № 4. URL.: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2950>

207. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І., Шпарбер М.Є. Актуальність утворення агломерації «Севродонецьк-Лисичанськ-Рубіжне». Збірник наукових праць III Міжнародної азербайджансько-української науково-практичної конференції «Building Innovations – 2020». (Полтава 1 – 2 червня 2020). Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. С.318-321. URL.: <https://nupp.edu.ua/event/iii-mizhnarodna-ukrainsko-azerbaydzhanska-konferentsiya-building-innovations-2020.html>

208. Землетрясения. URL.: <https://iz.ru/tag/zemletriasenie>

209. Fahey, D.W., S. Doherty, K.A. Hibbard, A. Romanou, and P.C. Taylor. Physical drivers of climate change. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock. *Eds. U.S. Global Change Research Program. Washington. DC. USA. 2017. Vol. I. P. 73-113. DOI: 10.7930/J0513WCR*

210. Солуха І.Б. Визначення, структура, завдання та місце моніторингу в урбоекотологічній оцінці стану навколишнього середовища. *Містобудування та територіальне планування. 2016. №60. С.314-323. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/7189/201660-315-324.pdf?sequence=1>*

211. Смілка В.А. Місце містобудівного моніторингу в складі моніторингових систем. *Містобудування та територіальне планування. 2017. №63. С.342-350. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6746?show=full&locale-attribute=uk>*

212. Матейчик В.П., Никонович С.О. Розробка методики визначення витрат палива та масових викидів забруднюючих речовин транспортним потоком. *Вісник НТУ. 2012. №25. Р. 83-99. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu\\_2011\\_24%282%29\\_\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2011_24%282%29__24)*

213. Tatarchenko H. Modeling of the processes of ozone dispersion by purification facility. *SWorld Journal. 2022. Issue №11 Part 2, P. 26-32. DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-02-028.*

214. Tatarchenko H. Analysis of urban air pollution. Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, security systems, transport development, architecture. monographic series «European Science». Germany, Book 4. Part 4. 2021. Chapter 20. P.188-195. DOI.: 10.30890/2709-2313.2021-04-04-066

215. Дубова С.В., Кадерская Л.В. Исследование на магистральной улично-дорожной сети города. *Містобудування та територіальне планування. 2015. №58. С.174-177. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7535?show=full&locale-attribute=ru>*

216. Дубова С.В. Взаимодействие города и транспорта. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. №48. С.158-161. URL: <http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp48>

217. Каблак Н., Савчук С., Калюжний М. Дослідження та аналіз просторово-часової нестабільності атмосфери на основі оперативного опрацювання GNSS-даних. *Кінематика фізичних небесних тіл*. 2020. Т.36, №4. С. 73-90.

218. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97). URL.: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97>

219. Татарченко Г.О. Використання сучасних технологій у визначенні забруднених територій міста. Сучасні технології в науці та освіті: колективна монографія/ Сєверодонецьк: 2021. 320 с. DOI: 10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320.

220. Гігієнічні регламенти. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL.: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>.

221. Tatarchenko G., Biloshitska N., Sychenko V., Liashuk V. The effect of ozone on wet atmospheric corrosion of aluminium of high-voltage lines. *MATEC Web of Conferences* 294. 05010. 2019. P.1-5 EOT-2019. DOI: 10.1051/mateconf/201929405010 EOT-2019

222. КД 52.9.4.01-09 Охорона природи. Атмосфера. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. – Видання офіційне; Державна гідрометеорологічна служба. Київ. 2010. 78 с. URL.: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=77204](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77204)

223. Солуха І. Б. Методика розрахунку маси викидів автомобільного транспорту в межах перетинів магістралей в різних рівнях. *Містобудування та територіальне планування*. 2015. №57. С.430-435. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7483>



224. Класифікація транспортних засобів. URL.: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/TM012231.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM012231.html).

225. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. Наказ Державного комітету статистики України №452 від 13.11.2008. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>

226. Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. URL.: <https://unece.org/node22/protocol-abate-acidification-eutrophication-and-ground-level-ozone>.

227. Забишний Я. О., Семчук Я. М., Долішній Б. В., Мельник В. М. Дослідження методів оцінки і прогнозування впливу автотранспорту на довкілля. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2016. № 2. С. 146-152. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp\\_2016\\_2\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2016_2_23)

228. Архіпова Г. І., Ткачук І. С., Глушков Є. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2009. № 1. С. 78-83. DOI: 10.18372/2306-1472.38.1667.

229. Ranka Godec, Ivana Jakovljević, Silvije Davila, Krešimir Šega, Ivan Bešlić, Jasmina Rinkovec, Gordana Pehnes. Air pollution levels near crossroads with different traffic density and the estimation of health risk. *Environ Geochem Health* 2021. DOI: 10.1007/s10653-021-00879-1.

230. Keuken, M. P., Moerman, M., Voogt, M., Blom, M., Weijers, E. P., Rockmann, T., & Dusek, U. Source contributions to PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at an urban background and a street location. *Atmospheric Environment*. 2013. Vol. 71. P. 26–35. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.01.032

231. Татарченко Г.О. Аналіз забруднення оксидами азоту повітряного простору території Києва. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №77. С.441-450. DOI:10.32347/2076-815x.2021.77.441-450.

232. Vachon G., Rosant J.-M., Mestayer P., Louka P., Sini J.-F., Delaunay D., Antoine M.-J., Ducroz F., Garreau J., Griffiths R., Jones C., Lorin Y., Molle F., Peneau

J.-P., Tetard Y., Violleau M. Experimental investigation of pollutant dispersion within a street in low wind conditions, the experiment Nantes'99. Proc. 9\* International Scientific Symposium Transport and Air Pollution. Avignon. 2000. P.10. URL.: <https://essaydocs.org/experimental-investigation-of-pollutant-dispersion-within-a-st.html>

233. Vachon G., Rosant J.-M., Mestayer P., Louka P., Sini J.-F. Pollutant dispersion in an urban street canyon in Nantes: experimental study. Proc. Eurotrac 2 Symposium. Garmisch-Partekirchen, Germany 2000., P. 27-30. URL.: <http://www2.dmu.dk/trapos>

234. Осетрін М.М., Беспалов Д.О., Дорош М.І. Основні принципи транспортного моделювання. *Містобудування та територіальне планування*: Київ. 2015. № 57. С. 309-320. URL.: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzypu-stvorennya-transportnoi-modeli-mista/>

235. Тарасюк В.П. Визначення коефіцієнтів приведення транспортних засобів за характеристикою енергетичних витрат. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. №53. С.527-532. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7769>

236. Осетрін М.М., Беспалов Д.О., Дорош М.І., Петрук В.Б., Королевська І.В. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва). *Містобудування та територіальне планування*. 2017. №65. С.418-425. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6867>

237. Тарасюк В.П. Методика визначення транспортних енерговитрат в межах перетинів з примусовим регулюванням руху. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ 2016. №. 8. С. 373-381. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/enef\\_2016\\_8\\_62](http://nbuv.gov.ua/UJRN/enef_2016_8_62)

238. Осетрін М.М., Беспалов Д.О., Дорош М.І., Тарасюк В.П. Транспортне моделювання, як один із методів оцінки ефективності інженерно-планувальних елементів розв'язок в різних рівнях. *Містобудування та*

*територіальне планування*. 2019. №70. С.417-430. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6023>

239. Осетрін М.М., Солуха І.Б. Екологічна складова, як умова обґрунтування інженерно-планувального рішення перетину магістралей в різних рівнях (на прикладі Московської площі в м. Києві). *Містобудування та територіальне планування*. 2011. №42. С.242-248. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/8325/201142-244-250.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

240. Осетрін М.М., Солуха І.Б. Екологічні проблеми крупних міст України (на прикладі м. Києва). *Містобудування та територіальне планування*. 2012. №45. С.66-81. URL: [http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp45\\_2](http://www.mtp.in.ua/zbirnyk/issues/mtp45_2)

241. Михайленко В.Є., Яковлев М.І. Основи композиції (геометричні аспекти художнього формотворення): Навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів. К.: Каравела. 2004. – 304 с. URL.: <http://caravela.kiev.ua/pages/view/227>

242. ДСТУ UN/ECE R 24-03, ДСТУ UN/ECE R83-02ABC, ДСТУ UN/ECE R 83-03. Єдині розпорядження, що стосуються: 1. Офіційного затвердження двигунів із запаленням від стиснення щодо димності відпрацьованих газів; 2. Офіційне затвердження колісних транспортних засобів щодо встановлення на них двигунів із запаленням від стиснення, офіційно затверджених за типом конструкції; 3. Офіційне затвердження транспортних засобів з двигунами із запаленням від стиснення щодо димності відпрацьованих газів; 4. Вимірювання потужності двигунів із запаленням від стиснення. URL.: <http://online.budstandart.com>.

243. Kourdounouli Christina, Jönsson, Anna Maria Urban ecosystem conditions and ecosystem services – a comparison between large urban zones and city cores in the EU. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2020. Vol. 63, № 5. P. 798-817. DOI: 10.1080/09640568.2019.1613966

244. Татарченко Г.О., Черних О.А. Сучасні ВІМ-технології у вирішенні проблем екоурбаністики. *Modern engineering and innovative technologies. Heutiges*

*Ingenieurwesen und innovative Technologien*. 2021, Issue №16. Part 3. P. 88-93. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-16-03-121

245. Prusov D. Scientific substantiation of engineering preparation measures due to the influence of construction in the dense building conditions. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. Vol.104. P. 229-241.

246. Tatarchenko G. O. Zoning criterion for the main territory of the city according to the degree of atmospheric air pollution. The 4 th International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (Stockholm January 10-12, 2022) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2022. P.345-348. URL.: <https://sci-conf.com.ua/x-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modern-science-innovations-and-prospects-25-27-iyunya-2022-goda-stokgolmshvetsiya-arhiv/>

247. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/REG1404.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG1404.html)

248. Tatarchenko G. City pollution from natural and anthropogenic emissions of carbon monoxide. *Modern engineering and innovative technologies* 2021, Issue №15. Part 1. P. 90-98. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-15-01-115.

249. Татарченко Г. О Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. №61. С.292-308. DOI.: 10.32347/2077-3455.2021.61.292-308

250. Tkachenko I., Lytvynenko T., Prusov D., Hasenko L. Features of Streets and Urban Roads Greening in Ukraine and other Countries of the World. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2021. Vol.49, No.2. P. 170-181.

251. Білошицька Н. І., Татарченко Г. О., Білошицький М. В. Зелені насадження міста Сєверодонецька. *Наукові вісті Далівського університету*. 2019. № 16. P.1-8. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2019\\_16\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_4).

252. Сингаївська О.І., Биваліна М.В. Основні напрямки вирішення проблем у сфері благоустрою та озеленення міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. Вип. 81. С. 313-336.

253. Топал С.С., Сингаївська О.І. Визначення функціонально-планувальної організації зони житлової забудови в комплексних нормативних документах. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. №79. С.396-405. DOI:10.32347/2076-815x.2022.79.396-405.

254. Байдіков І.А., Пащенко В.М. Ландшафтний каркас як просторова й структурна основа екомережі. *Український географічний журнал*. 2004. № 4. С. 11-18. URL.: [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ\\_2014\\_2\\_51-57.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ_2014_2_51-57.pdf)

255. Лобода Ю.М. Теоретико-методичні основи концепції екологічного каркасу. URL.: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/26678/1/Loboda.pdf>.

256. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І. Формування зеленого каркаса – важлива умова містобудування. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. №75. С.361-370. DOI:10.32347/2076-815x.2020.75.361-370.

257. Головне управління статистики в Луганській області. URL.: <http://lg.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 01.02.2019).

258. Соціально-економічний паспорт міста Сєверодонецька Луганської області за 2019 рік. URL.: <https://sed-rada.gov.ua/nashe-misto/socialno-ekonomichniy-pasport-mista-sievierodonecka-luganskoyi-oblasti>

259. Соціально-економічний паспорт міста Лисичанська Луганської області за 2019 рік. URL.: <http://lis.gov.ua/lisichansk-today/ekonomicheskij-potentsial-2015.html>

260. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. – К.: Мінрегіон України, 2019. 187 с. URL.: [http://dipromisto.gov.ua/files/NMD/DBN\\_B.2.2-12\\_2018.pdf](http://dipromisto.gov.ua/files/NMD/DBN_B.2.2-12_2018.pdf)

261. Соціально-економічний паспорт міста Рубіжне Луганської області за 2018 рік. URL.: <https://rmr.gov.ua/upload/pdf/6b47bd71e74674f828df26f75d1f8fc4.pdf>

262. Лященко А., Карпенко О., Черін А. Інфраструктура геопросторових даних та геоінформаційне забезпечення сталого розвитку територіальних

громад. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. Вип. 78. С. 343-355.

263. О последствиях лесных пожаров 2020 г. и вопросах лесовосстановления. URL.: <https://sd.ua/news/13173>

264. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є., Прибудинкові території: тенденції організації та їх проблеми. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. Северодонецьк. 2019. № 7 (251). С. 39-48. URL.: <http://hdl.handle.net/123456789/4840>

265. Biloshytska Nataliia, Tatarchenko Halyna, Biloshytskyi Mykola, Tatarchenko Zakhar. Creating urban spaces and medium-sized cities. *Academic journal industrial machine building civil engineering*. 2020. Vol. 1 (53). С. 81-86. DOI.:10.26906/znp.2020.55.2277

266. Татарченко Г.О. Формування рекреаційних сфер міського простору. Сучасні технології в науці та освіті: матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції. (Северодонецьк 5–7 березня 2019). Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. С.75-76. URL.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl\\_tezkh\\_1\\_such.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl_tezkh_1_such.pdf)

267. Татарченко Г.О., Кузьмінов О.Ю., Бойко Н.І Слабкі та сильні сторони житлово-комунального господарства, енергоефективності та екології м. Северодонецька. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття». (Одеса 15 - 16 жовтня 2020) Одеса: 2020. С.21-24. URL.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/.pdf>

268. Pleshkanovska A. Assessing the Level of Greening in a Major City: Subjective and Objective Evaluation on the Example of the City of Kyiv. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. Poland, Torun, 2020. Vol. 48. P. 155-164.

269. Коваленко М.Г. Аналіз нормативних показників зелених насаджень міст. *Містобудування та територіальне планування*. 2015. №57. С.213-217. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/7412/201557-214-218.pdf?sequence=1>

270. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є.

Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Ч.1. Навчальний посібник. Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. 204 с. ISBN 978-617-11-0139-5. DOI.: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0139-5)-2019-204.

271. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Ч.2. Навчальний посібник. Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. 176 с. ISBN 978-617-11-0147-0. DOI.: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0147-0)-2019-176.

272. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 3. Навчальний посібник. Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2020. 182 с. ISBN 978-617-11-0166-1. DOI.: 10.33216/ TutorialSNU(978-617-11-0166-1 )-2020-182.

273. Elkamhawy, Aya; Jang, Choon-Man. Performance Evaluation of Hybrid Air Purification System with Vegetation Soil and Electrostatic Precipitator Filters. *Sustainability*,(2020. 12, №. 13: 5428. <https://doi.org/10.3390/su12135428>.

274. Татарченко Г.О., Дьомін М.М, Тарасюк В.П. Модель забруднення оксидами азоту примагістральних територій міста. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2021, №78. С. 478-492. DOI: 10.32347/2076-815x.2021.78.478-492

275. Smog Free Tower - унікальна архітектурна новинка. URL.: <https://dominant-wood.com.ua/ua/news/279-smog-free-tower-unikalna-arhitekturna-novinka>.

276. Climeworks.com. URL.: <https://www.climeworks.com/our-products/>.

277. Дамьянович А. Механизм и кинетика реакций кислородного электрода. Современные проблемы электрохимии. М.: Изд."Мир". 1971. с.345-446.

278. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. М.: Изд-во МГУ. 1998. 480с. URL.: <https://istina.msu.ru/publications/book/8612401/>

279. Fischer F., Tropsch H. Notiz über Farbe und Oxydations wert einiger Ozonlösungen. *Chem.Ber.* 1917. Vol.1. P.765-767. URL.: [https://www.a600708.us.archive.org/view\\_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-](https://www.a600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/28/items/crossref-pre-1923-scholarly-)

works/10.1002%252Fcbcr.19150480219.zip&file=10.1002%252Fcbcr. 19170500  
1124. Pdf.

280. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. [et al]. Gaussian 92/DFT. Revision G.2. Pittsburgh: Gaussian Inc. 1993. URL.: <https://gaussian.com/glossary/g92dft/>

281. Захаров И.И., Тюпало Н.Ф. Анионрадикальная и протонированная форма молекулярного озона. Неэмпирические расчеты с учетом электронной корреляции. *Журнал структурной химии*. 1993. Т.34, №2. С.28-32. URL.: [http://filelibsnu.at.ua/naukovi/vestnik\\_3\\_2015.pdf](http://filelibsnu.at.ua/naukovi/vestnik_3_2015.pdf)

282. Татарченко Г.О. Теория озono-кислородной деполяризации: монографія. Северодонецк: СНУ ім. В. Даля, 2019. 135 с. ISBN 978-617-11-0119-7.

283. Тюпало Н.Ф., Дмитрук А.Ф. Растворимость озона и влияние растворителей на озонолитические реакции гетаренов. Эффекты сольватации. *Докл. АН УССР. сер. Б*. 1986. №11. С. 51-54.

284. Тюпало Н.Ф., Бернашевский Н.В., Степанян А.А. [и др.] Растворимость озона в серной кислоте. *Журнал Прикладная химия*. 1979. № 3. С.700-702.

285. Озоновые технологи. URL: <http://ozonplus.dp.ua/>

286. Украинская ассоциация озонотерапевтов и производителей медоборудования. URL: <http://medozone.com.ua/primeneniye-ozona-v-s-h-i-promyshlennosti/56-primenenie-ozonnyh-tehnologiy-v-promyshlennosti.html>

287. Каталитическое дожигание оксида углерода (II) озонem. URL.: <https://www.dissercat.com/content/kataliticheskoe-dozhiganie-okside-ugleroda-ii-ozonem>

288. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки. URL.: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=50198](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=50198)

289. Bates David V. Ambient ozone and mortality. *Epidemiology*. 2005. № 16 (4). P. 427–429. DOI.: 10.1097/01.ede.0000165793.71278.ec



290. Alexandros Gryparis, Bertil Forsberg et al. Acute Effects of Ozone on Mortality from the «Air Pollution and Health: A European Project. *Approach*» *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004. Vol.170. P. 1080-1087. DOI.: 10.1164/rccm.200403-333OC.

291. Kieseewetter, G., Borken-Kleefeld, J., Schoepp, W., Heyes, C., Bertok, I., Thunis, P., Bessagnet, B., Terrenoire, E., et al.. Modelling compliance with NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> air quality limit values in the GAINS model. *TSAP*, DG-Environment of the European Commission, Belgium. 2013. Vol.9. URL: <https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/TSAP-Report-.pdf>.

292. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 149164, Україна: B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006.1). № u202103141; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632077>.

293. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. Україна: 149165, B01D 53/00, B01D 53/56 (2006.01), B01D 53/78, B01J 19/26 (2006.1). № u202103142; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL.: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632078/>.

294. Татарченко Г.О., Дьомин М.М., Білошицький М.В. Пристрій для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 147495, Україна: B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006. 1). № u202008025; заявл. 15.12.2020; опубл.12.05.2021, Бюл. № 19/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257/>.

295. Egorova, G.V., Voblikova, V.A., Sabitova, L.V. et al. Ozone Solubility in Water. *Univ. Chem. Bull.* 2015. Vol. 70, 207-210 DOI:10.3103/S0027131415050053.

296. Татарченко Г.О., Карпюк Л.В., Білошицька Н.І. Комп'ютерна графіка у будівництві: навч. посіб. Сєверодонецьк: СЧУ ім. В. Даля, 2020. 180 с. ISBN 978-617-11-0160-9/ DOI.: 10.33216/.

297. Татарченко Г.О. Модель конструкції очисної споруди. The XI

International Science Conference «Theoretical approaches of Fundamental Sciences. Theory, Practice and prospects», (Geneva April 26 – 28, 2021). Geneva, Switzerland: 2021. C.31-33. URL.: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/04/XI-Conference-Theoretical-approaches-of-Fundamental-Sciences.-Theory-Practice-and-prospects-1.pdf>

298. Татарченко Г.О. Влияние озона на локальную коррозию нержавеющей стали. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, Спец. випуск №10. Львів. 2014. Т.2. С.89-93.

299. Татарченко Г.О. Об'єкти захисту повітря територій міст. *Вісник НУВГП*. Рівне. 2021. № 2(94). С. 126-135. DOI:10.31713/vt2202114

300. Tatarchenko G.O., Chernih O.A., Sokolenko V.M., Tatarchenko Z.S. Modern Information Technologies in System Architecture—Urban Planning—Building Constructions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. P. 483-490 DOI: 10.1007/978-3-030-42939-3\_48. Q4 (Web of Science).

301. ТОВ "ЛІРА-САПР" URL.: <https://www.liraland.ua/>.

302. Татарченко Г.О., Татарченко З.С., Паніна Н.І, Білошицька Н.І. 3D-моделювання будівельних об'єктів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. 2021. № 16. С.194-204. DOI.:10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-24

303. Багатофункціональний програмний комплекс ЛІРА-САПР // LIRALAND Group. URL.: <https://www.liraland.ua/sapfir/>

304. Wind Simulation (Wind Tunnel). Dlubal Software GmbH: RWIND Simulation URL: <https://www.dlubal.com/en/products/stand-alone-structural-analysis-software/rwind-simulation/>.

305. Gisch D. L., Bodmann B. E. J., Vilhena M. T. de. A Sesquilinear Model Analysis for Pollutant Dispersion by the Copenhagen Experiment American. *Journal of Environmental Engineering* 2018. Vol. 8(4). P.145-149. DOI.: 10.5923/j.ajee.20180804.10

306. Татарченко Г.О. Транспортне планування в сучасних тенденціях розвитку простору міста Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Міжнародної

науково-практичної конференції "Транспорт і логістика: проблеми та рішення" (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса: 2019. С.31-33. URL.: <https://files.duit.edu.ua/uploads.pdf>

307. Piddubnyi S.V., Tatarchenko H.O., Sokolenko V.M. Express Method for the Evaluation of the Frost Resistance of Silicate Building. *Materials Materials Science*. 2020, Vol. 56, P.240–246. DOI.: 10.1007/s11003-020-00422-0 (Scopus).

308. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Концептуальні засади сталого розвитку регіону у контексті містобудування. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія. – Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 6-16. ISBN 978-617-11-0118-0. URL.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf2017.pdf)

309. Закон України "Про охорону атмосферного повітря". URL.: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>

310. Аераційний режим території, заходи щодо вітрозахисту і провітрювання. <https://studfile.net/preview/5025798/page:5/>

311. Вдовина Е.В. Предпосылки учета влияния воздухообмена при проектировании жилых кварталов в нормативной документации. *Архитектура и дизайн*. 2022. № 1. С. 1 - 25. DOI: 10.7256/2585-7789.2022.1.38141 EDN: BCCWZL URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=38141](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=38141)

312. Nehr Korn T, Henderson J, Leidner M, Mountain M, Eluszkiewicz J, McKain K, Wofsy S. WRF simulations of the urban circulation in the Salt Lake City Area for CO<sub>2</sub> modeling. *J Appl Meteorol Clim*. 2013. Vol. 52 P. 323–40. DOI: 10.1175/jamc-d-12-061.1

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації*

1. Tatarchenko H. Analysis of urban air pollution. Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, security systems, transport development, architecture. monographic series «European Science». Germany, Book 4. Part 4. 2021. Chapter 20. P.188-195. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-04-066.
2. Татарченко Г.О. Використання сучасних технологій у визначенні забруднених територій міста. Сучасні технології в науці та освіті: монографія / під. заг. ред. О. Б. Целіщева, Г. О. Татарченко, Г. М. Хорошун. Сєверодонецьк, 2021. С. 47-51. DOI: 10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320.
3. Khoroshun, A. V. Chernykh, A. Ya., Tatarchenko G.O., Bekshaev, A. A. Akhmerov. Laguerre-Gaussian beam transformations by the double-phase-ramp converter: Singular skeleton formation and its sensitivity to small misalignment *Proceeding of SPIE, USA*. 2018. Vol. 10612.P. 1-9. DOI:10.1117/12.2303901 (Scopus).
4. Khoroshun G.M., Chernykh O., Tatarchenko H.O., Sato S., Kozawa Y., Popiolek-Masajada A., Szatkowski M., Lamperska W. Chain of optical vortices synthesized by a Gaussian beam and the double-phase-ramp converter. *OSA Continuum*. 2019. Vol. 2. P. 320-331 DOI:10.1364/OSAC.2.000320 (Scopus, Q2).
5. Tatarchenko G.O., Chernih O.A., Sokolenko V.M., Tatarchenko Z.S. Modern Information Technologies in System Architecture—Urban Planning—Building Constructions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2019. P. 483-490 DOI:10.1007/978-3-030-42939-3\_48. (Web of Science, Q4).

6. Khoroshun G., Luniakin R., Riazantsev A., Ryazantsev O., Skurydina T., Tatarchenko H.: The Development of an Application for Microparticle Counting Using a Neural Network. *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS)*. 2020. Vol. I. P. 1186-1195. URL.: <https://dblp.org/rec/conf/colins/KhoroshunLRRST20.html> (Scopus, Q4).
7. Tatarchenko G., Biloshitska N., Sychenko V., Liashuk V. The effect of ozone on wet atmospheric corrosion of aluminium of high-voltage lines. *MATEC Web of Conferences 294. 05010*. 2019. P.1-5 EOT-2019. DOI:10.1051/mateconf/201929405010 EOT-2019 (Web of Science).
8. Khoroshun G.M., Tatarchenko H.O., Diomin M. M., Tatarchenko Z.S. Cleanroom air control. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020. Vol 181. P. 497-504. DOI:10.1007/978-3-030-85043-2\_47. (Web of Science, Q4).
9. Tatarchenko H., Kravchenko I. Towards Clean Air of Urbanized Territories. *Heliyon*. 2022. P.1-12. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4031260> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.403126006-1>). (Scopus).
10. Tatarchenko G. City pollution from natural and anthropogenic emissions of carbon monoxide. *Modern engineering and innovative technologie*. 2021. Issue №15. Part 1. P. 90–98. DOI:10.30890/2567-5273.2021-15-01-115.
11. Татарченко Г.О., Черних О.А. Сучасні ВІМ-технології у вирішенні проблем екоурбаністики. *Modern engineering and innovative technologies. Heutiges Ingenieurwesen und innovative Technologien*. 2021, Issue №16. Part 3. P. 88–93. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-16-03-121.
12. Tatarchenko H. Modeling of the processes of ozone dispersion by purification facility. *SWorld Journal*. 2022. Issue №11 Part 2, P. 26-32. DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-02-028.
13. Татарченко Г.О. Влияние озона на локальную коррозию нержавеющей стали. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, Спец. випуск №10. 2014. Т.2. С.89-93.
14. Татарченко Г.О., Кравченко І.В., Писаренко М.В., Поркуян С.Л.

- Дослідження забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автотранспорту в міському середовищі. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2019. № 8 (256). С. 99 -104. DOI:10.33216/1998-7927-2019-256-8-99-104.
15. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В, Уваров П.Є. Прибудинкові території: тенденції організації та їх проблеми. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2019. № 7 (251). С. 39–48. URL.: <http://hdl.handle.net/123456789/4840>.
  16. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В. Зелені насадження міста Северодонецька. *Наукові вісті Далівського університету. Технічні науки*. Северодонецьк, 2019. № 16. С. 1–4. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2019\\_16\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_4).
  17. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І. Формування зеленого каркаса – важлива умова містобудування. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. №75. С.361-370. DOI:10.32347/2076-815x.2020.75.361-370.
  18. Татарченко Г.О. Аналіз забруднення оксидами азоту повітряного простору території Києва. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №77. С.441-450. DOI:10.32347/2076-815x.2021.77.441-450.
  19. Татарченко Г.О. Об'єкти захисту повітря територій міст. *Вісник НУВГП*. 2021. № 2(94). С. 126–135. DOI:10.31713/vt2202114.
  20. Татарченко Г.О., Дьомін М.М, Тарасюк В.П. Модель забруднення оксидами азоту примігстральних територій міста. *Містобудування та територіальне планування*. 2021. №78. С. 478–492. DOI:10.32347/2076-815x.2021.78.478-492.
  21. Татарченко Г.О. Зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидом азоту. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. №61. С.292-308. DOI:10.32347/2077-3455.2021.61.292-308.
  22. Biloshytska N., Tatarchenko H., Biloshytskyi M., Tatarchenko Z. Creating urban spaces and medium-sized cities. *Academic journal industrial machine building*

- civil engineering*. 2020. Vol. 1,53. С. 81-86. DOI:10.26906/znp.2020.55.2277.
23. Татарченко Г.О., Татарченко З.С., Паніна Н.І, Білошицька Н.І. 3D-моделювання будівельних об'єктів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. № 16. С.194-204. DOI:10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-24.
24. Татарченко Г.О. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022.№79. С. 381–395. DOI:10.32 347/2076-815x.2022.79.381-395.
25. Татарченко Г.О., Дьомін М.М. Концепція переходу до чистого повітря урбанізованих територій. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ. 2022. №62. С.350-362. DOI:10.32 347/2077-3425.2022.62.350-362
26. Татарченко Г.О. Просторове моделювання забруднень повітря примігстральних територій. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2022. №80. С. 389–402. DOI: DOI:10.32347/2076-815X.2022.80.389-402.

### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

27. Татарченко Г.О. Транспортне планування в сучасних тенденціях розвитку простору міста Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Міжнародної науково-практичної конференції "Транспорт і логістика: проблеми та рішення" (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса: 2019. С.31-33. URL: <https://files.duit.edu.ua/uploads.pdf>.
28. Татарченко Г.О. Формування рекреаційних сфер міського простору. Сучасні технології в науці та освіті: матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції. (Северодонецьк 5–7 березня 2019). Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. С.75-76. URL: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl\\_tezkh\\_1\\_such.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/b1/81/b181a1bd-8ee7-4d92-9006-741c96f31d3d/gl_tezkh_1_such.pdf).

29. Татарченко Г.О., Кузьмінов О.Ю., Бойко Н.І Слабкі та сильні сторони житлово-комунального господарства, енергоефективності та екології м. Северодонецька. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття». (Одеса 15–16 жовтня 2020) Одеса: 2020. С.21-24. URL.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/.pdf>.
30. Татарченко Г.О., Бездоля А.Г. Типологія забудови як фактор впливу на рівень забруднення повітряного басейну та зміну режиму аерації в місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. (Северодонецьк 4–5. листопада 2020). Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.43-45.
31. Татарченко Г.О., Білошицька Н.І., Шпарбер М.Є. Актуальність утворення агломерації «Северодонецьк-Лисичанськ-Рубіжне». Збірник наукових праць III Міжнародної азербайджансько-українсько науково-практичної конференції «Building Innovations – 2020». (Полтава 1–2 червня 2020). Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. С.318-321. URL: <https://nupp.edu.ua/event/iii-mizhnarodna-ukrainsko-azerbaydzhanska-konferentsiya-building-innovations-2020.html>.
32. Татарченко Г.О., Рязанцев О.І., Хорошун Г.М. Інформаційна технологія контролю стану повітря в розумному місті. Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Северодонецьк 4–5. листопада 2020). Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2020. С.76-78. URL: [http://filelibsnu.at.ua/conference/v\\_vnpik\\_rbtzhkgvsu\\_2022.pdf](http://filelibsnu.at.ua/conference/v_vnpik_rbtzhkgvsu_2022.pdf).
33. Татарченко Г.О. Екологічні аспекти урбанізованих територій. Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства». (Рівне, 21–22 квітня 2021). Рівне: 2021. С. 1-3. URL: <https://www.facebook.com/MBG.NUWGP>.
34. Татарченко Г.О. Модель конструкції очисної споруди. The XI International



Science Conference «Theoretical approaches of Fundamental Sciences. Theory, Practice and prospects», (Geneva April 26 – 28, 2021). Geneva, Switzerland: 2021. C.31-33. URL.: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/04/XI-Conference-Theoretical-approaches-of-Fundamental-Sciences.-Theory-Practice-and-prospects-1.pdf>.

35. Tatarchenko G. O. Zoning criterion for the main territory of the city according to the degree of atmospheric air pollution. The 4 th International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (Stockholm January 10-12, 2022) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2022. P.345-348. URL:<https://sci-conf.com.ua/x-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modern-science-innovations-and-prospects-25-27-iyunya-2022-goda-stokgolm-shvetsiya-arhiv/>.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

36. Татарченко Г.О. Теория озono-кислородной деполяризации. Монография. Вид-во СНУ ім. В. Даля, Луганськ. (м. Сєверодонецьк). 2019. 135 с. ISBN 978-617-11-0119-7.
37. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сучасні містобудівні проблеми сталого розвитку регіонів. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія. Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 145–153. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr\\_monograf\\_2017.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-b62c23704388/zsrr_monograf_2017.pdf).
38. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Концептуальні засади сталого розвитку регіону у контексті містобудування Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія. Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 6–16. ISBN 978-617-11-0118-0. UR.: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/90/82/90824f02-3ac5-408b-b2dc-)

- b62c23704388/zsrr\_monograf2017.pdf.
39. Piddubnyi, S.V., Tatarchenko, H.O., Sokolenko, V.M. Express Method for the Evaluation of the Frost Resistance of Silicate Building. *Materials Materials Science*. 2020, Vol. 56, P. 240–246. DOI: 10.1007/s11003-020-00422-0 (Scopus, Q4).
  40. Biloshytskyi, M., Tatarchenko, H., Biloshytska, N., Uvarov, P Operational lifetime increase of the pumping equipment when pumping-out contaminated groundwater. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Vol.15(1). P. 42-49. DOI:10.33271/mining15.01.042 (Scopus, Q2).
  41. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 1: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сєверодонецьк: СЛУ ім. В. Даля, 2019. 204 с. ISBN 978-617-11-0139-5. DOI: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0139-5)-2019-204.
  42. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 2: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сєверодонецьк: СЛУ ім. В. Даля, 2019. 176 с. ISBN 978-617-11-0147-0 DOI: 10.33216/TutorialSNU(978-617-11-0147-0)-2019-176.
  43. Садово-паркове та ландшафтне будівництво від А до Я. Частина 3: навч. посіб. / Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Уваров П.Є. Сєверодонецьк: СЛУ ім. В. Даля, 2020. 182 с. ISBN 978-617-11-0166-1 DOI: 10.33216/ TutorialSNU(978-617-11-0166-1 )-2020-182.
  44. Татарченко Г.О., Карпюк Л.В., Білошицька Н.І. Комп'ютерна графіка у будівництві: навч. посіб. Сєверодонецьк: СЛУ ім. В. Даля, 2020. 180 с. ISBN 978-617-11-0160-9 DOI: 10.33216.
  45. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Чередниченко П.П. I Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*. 2017. №64. С. 396–404. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2017/201764.pdf>.
  46. Демин Н.М., Татарченко Г.О., Чередниченко П.П. II Всеукраинская

- научно-практическая интернет-конференция "Развитие строительства и жилищно-коммунального хозяйства в современных условиях". *Містобудування та територіальне планування*. 2018. №67. С.26-28. URL.: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2018/201867.pdf>.
47. Татарченко Г.О., Дьомін М.М., Осетрін М.М., Чередниченко П.П. III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція "Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах" *Містобудування та територіальне планування*: 2019. №70. С.13-26. URL: <https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/02/2019/201970.pdf>.
48. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Білошицька Н.І. Просторове планування території Східноукраїнського національного Університету імені Володимира Даля. *Вісник СХУ ім. В. Даля*. 2019. № 7 (255). С. 7-14. DOI: 10.33216/1998-7927-2019-255-7-7-13.
49. Білошицька Н.І., Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С. Формування міських просторів малих та середніх міст. *Збірник наукових праць. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*. 2020. №1 (54). С. 81-86. DOI:10.26906/znp.2020.54.2277.
50. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 149164, Україна: B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006.1). № u202103141; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632077>.
51. Татарченко Г.О., Дьомин М.М., Білошицький М.В. Пристрій для мокрої очистки забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. 148723, Україна: B01D 47/06, B01D 45/12 (2006.01).№ u202102201; заявл. 26.04.2021; опубл.08.09.2021, Бюл. № 36/2021. 4 с. URL: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257/>.
52. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С. Білошицька Н.І. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. Україна: 147495, B01D 53/00, B01D 53/78 (2006.01), B01J 19/24 (2006.1). № u202008025; заявл. 15.12.2020; опубл.12.05.2021, Бюл. № 19/2021. 4с.

URL.: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1593257>.

53. Татарченко Г.О. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій: декл. пат. Україна: 149165, B01D 53/00, B01D 53/56 (2006.01), B01D 53/78, B01J 19/26 (2006.1). № u202103142; заявл. 08.06.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42/2021. 4 с. URL.: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1632078>.

**Додаток Б****Відомості про апробацію результатів дисертації*****Міжнародні науково-технічні конференції***

1. «Транспорт і логістика: проблеми та рішення». ІХ Міжнародній науково-практична конференція, Одеса, 2019. Доповідь: «Транспортне планування в сучасних тенденціях розвитку простору міста».
2. «Сучасні технології в освіті та науці». ІІ Міжнародна науково-практична конференція, Сєверодонецьк, 2019. Доповідь: «Формування рекреаційних сфер міського простору».
3. «BUILDING INNOVATIONS – 2020». ІІ Міжнародна азербайджансько-українська науково-практична конференція, Баку-Полтава, 2020. Доповідь: «Актуальність утворення агломерації «Сєверодонецьк-Лисичанськ-Рубіжне»».
4. «Сучасні технології в освіті та науці». ІІІ Міжнародна науково-практична конференція, Сєверодонецьк, 2020. Доповідь: «Вплив урбанізації на навколишнє середовище».
5. «Енергоефективне місто. ХХІ століття». Міжнародна науково-практична конференція, Одеса, 2020. Доповідь: «Слабкі та сильні сторони житлово-комунального господарства, енергоефективності та екології м. Сєверодонецька».
6. «BUILDING INNOVATIONS – 2021». ІІІ Міжнародна азербайджансько-українська науково-практична конференція, Баку-Полтава, 2021. Доповідь: «Cleanroom air control».
7. «Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, security systems, transport development, architecture». International Scientific Symposium, Karlsruhe, Germany, 2021. Доповідь: «City pollution from natural and anthropogenic emissions of carbon monoxide»

8. «Theoretical approaches of Fundamental Sciences. Theory, Practice and prospects» The XI International Science Conference Geneva, Switzerland, 2021. Доповідь: «Модель конструкції очисної споруди».
9. «Сучасні технології в освіті та науці». IV Міжнародна науково-практична конференція, Сєверодонецьк, 2021. Доповідь: «Використання сучасних методів у визначенні забруднених територій міста».
10. «Modern science: innovations and prospects». The 4th International scientific and practical conference Stockholm, Sweden, 2022. Доповідь: «Zoning criterion for the main territory of the city according to the degree of atmospheric air pollution».

### ***Всеукраїнські науково-практичні конференції***

1. «Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах». IV Всеукраїнських науково-практичних інтернет-конференціях Сєверодонецьк, 2019. Доповідь: «Доцільність введення спецкурсу «Організаційно-технологічні основи переробки будівельних відходів» в навчальний процес будівельних спеціальностей».
2. «Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах». IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція Сєверодонецьк, 2020. Доповіді: «Інформаційна технологія контролю стану повітря в розумному місті», «Типологія забудови як фактор впливу на рівень забруднення повітряного басейну та зміну режиму аерації в місті».
3. «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства» Всеукраїнська науково-технічна інтернет-конференція Рівне, 2021. Доповідь: «Екологічні аспекти урбанізованих територій».
4. «Розвиток будівництва та житлово-комунального господарства в сучасних умовах». V Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція Сєверодонецьк, 2021. Доповідь: «Аналіз ефективності зниження енергоспоживання».

## Додаток В

### ПРОТОКОЛ РОЗРАХУНКУ

12:18 Контроль исходных данных основной схемы  
 Количество узлов = 784 (из них количество неудаленных = 784)  
 Количество элементов = 1856 (из них количество неудаленных = 1856)

#### ОСНОВНАЯ СХЕМА

12:18 Оптимизация порядка неизвестных  
 Количество неизвестных = 4648

#### РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКИЕ ЗАГРУЖЕНИЯ

12:18 Формирование матрицы жесткости  
 12:18 Формирование векторов нагрузок  
 12:18 Разложение матрицы жесткости  
 12:18 Вычисление неизвестных  
 12:18 Контроль решения

#### РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

12:18 Расчет на устойчивость для загружений №№1  
 12:18 Итерация №1  
 12:18 Итерация №2  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №3  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №4  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №5  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №6  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №7  
 Найдено форм 3 (из них 3 в заданном диапазоне)  
 12:18 Расчет свободных длин и чувствительности  
 12:18 Расчет на устойчивость для загружений №№1 3  
 12:18 Итерация №1  
 12:18 Итерация №2  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №3  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №4  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №5  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №6  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №7  
 Найдено форм 3 (из них 3 в заданном диапазоне)  
 12:18 Расчет свободных длин и чувствительности  
 12:18 Расчет на устойчивость для загружений №№1 2

12:18 Итерация №1  
 12:18 Итерация №2  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №3  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №4  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №5  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №6  
 Найдено форм 2 (из них 2 в заданном диапазоне)  
 12:18 Расчет свободных длин и чувствительности  
 12:18 Расчет на устойчивость для загружений №№1 2  
 12:18 Итерация №1  
 12:18 Итерация №2  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №3  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №4  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №5  
 Найдено форм 0 (из них 0 в заданном диапазоне)  
 12:18 Итерация №6  
 Найдено форм 2 (из них 2 в заданном диапазоне)  
 12:18 Расчет свободных длин и чувствительности  
 Формирование результатов  
 12:18 Формирование топологии  
 12:18 Формирование перемещений  
 12:18 Вычисление и формирование усилий в элементах  
 12:18 Вычисление и формирование реакций в элементах  
 12:18 Вычисление и формирование эпюр усилий в стержнях  
 12:18 Вычисление и формирование эпюр прогибов в стержнях  
 12:18 Формирование форм потери устойчивости  
 Суммарные узловые нагрузки на основную схему:  
 Загружение 1  
 $PX=-4.28153e-019$   $PY=1.81479e-018$   $PZ=1.12529$   $PUX=5.9913e-019$   
 $PUY=-7.28395e-019$   $PUZ=-6.61744e-021$   
 Загружение 2  
 $PX=-1.62896$   $PY=-1.92593e-034$   $PZ=-9.87574e-019$   $PUX=-8.89385e-021$   
 $PUY=0.000526613$   $PUZ=2.10911e-018$   
 Загружение 3  
 $PX=-1.10471e-018$   $PY=4.49249e-018$   $PZ=3.71403$   $PUX=2.09355e-018$   
 $PUY=-1.21967e-018$   $PUZ=2.90109e-020$   
 Расчет успешно завершен  
 Затраченное время = 0 мин

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО УСИЛИЯМ.  
 ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ И ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО  
 НАГРУЖЕНИЯМ.  
 ЗАДАНИЕ ВЫПОЛНЕНО.



## Додаток Г

Таблица Г.1

## ЗУСИЛЛЯ В ЕЛЕМЕНТАХ

ЗАГР	Тип ЭЛЕМ	ЭЛЕМ	NX, т/м2	NY, т/м2	ТХУ, т/м2	МХ, (т*м)/м	МУ, (т*м)/м	МХУ, (т*м)/м	QX, т/м	QY, т/м
1 – СОБСТВЕННЫЙ ВЕС										
1	42	1	-14.1732	-38.3378	-7.77406	0.000009	0.000028	0.000005	0.000154	0.00045
1	42	2	-14.1732	-38.3378	7.77406	0.000009	0.000028	-5E-06	-0.00015	0.00045
1	42	3	-12.4366	-18.6094	-4.82983	0.000002	-1.8E-05	-4E-06	-0.00066	-0.00334
1	42	4	1.19508	-15.3177	-0.09914	-6.6E-05	0	0.000007	0.000482	0.001729
1	42	5	-18.4397	-33.9574	-10.5516	-0.00001	0.000002	0	-0.00015	0.00035
1	42	6	-5.93249	-19.4433	-1.52841	0.000003	-2.7E-05	-4E-06	-0.00027	-0.00032
1	42	7	3.84534	-16.4388	-0.8371	-8.2E-05	-3.7E-05	-5E-06	-0.00305	0.002976
1	42	8	-2.02264	-7.6058	-1.19211	-5.8E-05	-2.4E-05	-7E-06	-0.00121	0.000323
2 – ВЕТЕР СЛЕВА										
2	42	1	-19.6896	-10.678	-32.2425	0.000027	-6E-06	-1.4E-05	0.000416	-0.00042
20	42	2	19.6896	10.678	-32.2425	-2.7E-05	0.000006	-1.4E-05	0.000416	0.000415
2	42	3	-5.50734	2.19535	-22.079	0.000008	0.000023	0	0.000271	-0.00031
2	42	4	-1.03868	-0.26438	-1.14382	0.000014	0	0	-0.00113	-0.00298
2	42	5	-11.2177	-12.8058	-27.2474	0.000028	0	-6E-06	0.000404	0.000101
2	42	6	1.67838	-2.80054	-22.7373	0.000009	0.00001	0.000002	0.000271	-0.00017
2	42	7	-2.70153	-0.91769	-0.78796	0.000007	0	0.000005	0.000515	-0.00028
2	42	8	-0.82303	-1.30334	-1.19889	0.000015	0.000008	0	0.000353	-1.3E-05
3 – СНЕГ										
3	42	1	-46.779	-126.534	-25.6584	0.000029	0.000093	0.000018	0.000508	0.001487
3	42	2	-46.779	-126.534	25.6584	0.000029	0.000093	-1.8E-05	-0.00051	0.001487
3	42	3	-41.0474	-61.4207	-15.9409	0.000005	-0.00006	-1.4E-05	-0.00217	-0.01103
3	42	4	3.94439	-50.5566	-0.32723	-0.00022	0	0.000022	0.00159	0.005707
3	42	5	-60.8606	-112.077	-34.8258	-3.2E-05	0.000005	0.000002	-0.0005	0.001156
3	42	6	-19.5803	-64.173	-5.04457	0.00001	-0.00009	-1.4E-05	-0.00088	-0.00104
3	42	7	12.6916	-54.2568	-2.76287	-0.00027	-0.00012	-1.7E-05	-0.01006	0.009824
3	42	8	-6.67579	-25.1031	-3.93461	-0.00019	-7.8E-05	-2.3E-05	-0.00398	0.001068
1	42	9	-10.6168	-19.1981	-1.67733	0.000004	-9E-06	-3E-06	-0.00036	-0.00079
1	42	10	0.974621	-15.2539	0.730301	-6.4E-05	-2.1E-05	-4E-06	-0.0022	0.001086
1	42	11	-0.75006	-10.174	-1.57956	-2.3E-05	-1.3E-05	-1.1E-05	-0.00044	-0.0002
1	42	12	-11.6821	-19.3733	-11.8671	0.000007	-1.7E-05	-6E-06	-0.00099	-0.00473
1	42	13	8.5804	-17.2128	6.26482	-8.5E-05	-2.3E-05	0.000012	0.00044	0.000763
1	42	14	-16.2069	-38.8896	-4.40068	-1.1E-05	0.000012	0.000003	-0.00031	0.000596
1	42	15	-13.6436	-18.9618	-3.01548	-1.8E-05	-6.8E-05	-7E-06	-0.00016	-0.00142
1	42	16	-3.04511	-15.4964	-3.8682	-3.5E-05	-1E-06	0	0.00142	0.010244
2	42	9	1.08572	-4.50766	-22.7108	0.000004	0.000013	0.000003	0.000393	0.00007
2	42	10	-0.59795	-0.26399	-0.58341	0.000015	0.000002	0.000006	0.000921	-0.00029
2	42	11	-1.95476	2.14164	-1.33399	0.00002	0.00001	0.000003	0.000394	0.000138
2	42	12	-1.81732	2.51242	-17.862	0.000011	0.000014	-2E-06	0.000233	-0.00055
2	42	13	-5.94028	-0.17534	-5.95036	0.00001	0.000003	0	-0.00043	-0.00134
2	42	14	-7.91702	-14.8764	-22.4662	0.000024	-3E-06	-7E-06	0.000356	0.000093
2	42	15	-5.68931	2.65776	-22.3651	0.000006	0.000039	0.000001	0.000232	-0.00014
2	42	16	-0.68443	-0.19525	-0.0154	0.000023	-6E-06	-3E-06	-0.00132	-0.00653
3	42	9	-35.041	-63.3639	-5.53607	0.000013	-2.9E-05	-8E-06	-0.00117	-0.0026
3	42	10	3.21675	-50.3459	2.41037	-0.00021	-6.9E-05	-1.5E-05	-0.00728	0.003583
3	42	11	-2.47559	-33.5797	-5.21338	-7.7E-05	-4.3E-05	-3.6E-05	-0.00146	-0.00066
3	42	12	-38.5571	-63.942	-39.1679	0.000023	-5.8E-05	-1.9E-05	-0.00327	-0.01563
3	42	13	28.3197	-56.8114	20.6771	-0.00028	-7.7E-05	0.000039	0.001454	0.002517
3	42	14	-53.4912	-128.356	-14.5245	-3.5E-05	0.000039	0.00001	-0.00104	0.001966
3	42	15	-45.0312	-62.584	-9.95266	-5.8E-05	-0.00022	-2.5E-05	-0.00053	-0.00469

3	42	16	-10.0504	-51.1463	-12.767	-0.00011	-4E-06	-1E-06	0.004688	0.033809
1	42	17	-20.5987	-36.2563	-8.88978	-4E-06	0.000008	0.000001	-4.7E-05	0.000269
1	42	18	-13.1875	-20.1498	-0.82327	0.000021	0.000009	-1E-06	-0.00052	-0.00031
1	42	19	-0.61717	-15.6027	4.25656	-7.8E-05	0.000005	-6E-06	-0.00219	0.002551
1	42	20	-1.14042	-1.0692	2.83761	-0.00006	-0.00001	-3E-06	-0.00078	-0.0007
1	42	21	-12.8333	-19.4737	-1.82117	0.000004	0.000001	0	-0.00061	-0.00164
1	42	22	-1.45854	-15.5728	1.27763	-2.5E-05	-4E-06	-5E-06	-0.00058	-0.00022
1	42	23	5.29576	-16.9881	0.456313	-1.9E-05	-2.6E-05	0.000002	-0.00112	-0.00054
1	42	24	-5.61145	-22.4287	5.87993	-0.00003	-0.0001	-1.1E-05	-0.0015	-0.00893
2	42	17	-12.4719	-15.8744	-27.3701	0.000023	-7E-06	-0.00001	0.000372	-0.00011
2	42	18	0.627939	-3.48025	-20.4066	0.000015	0.00001	0.000004	0.000205	-0.00027
2	42	19	-1.07508	-0.41184	-0.60054	0.000012	-1E-06	0.000005	0.000264	0.000164
2	42	20	1.85847	-5.1872	-1.49436	0.000007	0.000005	0.000006	0.000354	0.000281
2	42	21	-0.16471	-3.97827	-22.5854	-3E-06	0.000013	0.000001	0.00046	0.00021
2	42	22	-0.4205	0.040198	1.01859	0.000026	0.000009	0.000006	0.000591	-0.00025
2	42	23	4.98782	5.1068	-2.15654	0.000038	0.000012	0	0.001772	-5.1E-05
2	42	24	-0.87855	4.53309	-19.0644	0.000004	0.000056	0.000002	0.000133	-3.3E-05
3	42	17	-67.9865	-119.664	-29.3409	-1.5E-05	0.000025	0.000005	-0.00016	0.000887
3	42	18	-43.5258	-66.5051	-2.7172	0.00007	0.000031	-4E-06	-0.00171	-0.00101
3	42	19	-2.03697	-51.4972	14.0488	-0.00026	0.000016	-1.8E-05	-0.00723	0.008418
3	42	20	-3.76399	-3.52891	9.3656	-0.0002	-3.3E-05	-1.2E-05	-0.00257	-0.00231
3	42	21	-42.3566	-64.2734	-6.01082	0.000012	0.000004	0	-0.00203	-0.0054
3	42	22	-4.81394	-51.3983	4.21686	-8.1E-05	-1.4E-05	-1.6E-05	-0.00193	-0.00072
3	42	23	17.4787	-56.0696	1.50607	-6.2E-05	-8.4E-05	0.000006	-0.00369	-0.00179
3	42	24	-18.5207	-74.0265	19.4068	-0.0001	-0.00033	-3.6E-05	-0.00495	-0.02946
1	42	25	-6.3667	-18.0874	-8.89606	-3.8E-05	-2.2E-05	0.000001	-0.00012	0.010384
1	42	26	-15.0423	-40.6294	-4.25216	-3E-06	0	0.000002	0.000079	0.000415
1	42	27	-10.425	-21.7207	-5.44254	0.000008	0.000019	0.000001	-0.00014	-0.00024
1	42	28	-3.12702	-19.551	-4.68913	-2.6E-05	0.000012	-2E-06	-0.00066	-0.00018
1	42	29	4.69871	-22.0599	0.064796	0.000007	0.000018	-0.00001	-0.00091	0.000038
1	42	30	-16.3647	-15.6471	-24.2124	0.000017	0.000055	0.000001	-0.0026	-0.01357
1	42	31	-4.95466	-11.7759	-8.32878	0.000031	0.000079	0.000013	-0.01091	-0.01041
1	42	32	-14.9392	-36.8147	-8.99971	-9E-06	-1.2E-05	-4E-06	-0.00014	-0.0002
2	42	25	-12.554	1.27058	-12.9994	0.000056	0.000008	-3E-06	0.003415	-0.00575
2	42	26	-10.0205	-19.5868	-25.6114	0.000027	-1.3E-05	-0.00001	0.000543	0.000207
2	42	27	1.70616	-3.0741	-23.7868	-0.00001	0.000018	0.000002	0.000558	-4.8E-05
2	42	28	-5.29153	-0.54009	6.03361	0.000063	0.00002	0.000015	0.001543	-0.00011
2	42	29	-27.8409	-5.9527	6.51322	0.000084	0.00003	0.000009	0.001764	0.000166
2	42	30	-10.4791	1.66693	-33.7759	-6E-06	0.000053	0.000008	0.000309	-0.00037
2	42	31	42.4698	-9.80562	39.2434	0.000081	-1E-06	-1.3E-05	0.033181	0.028283
2	42	32	-13.0435	-15.1876	-29.1752	0.000037	0.000007	-9E-06	0.000667	0.00021
3	42	25	-21.0134	-59.6979	-29.3616	-0.00013	-7.2E-05	0.000004	-0.00039	0.034272
3	42	26	-49.6476	-134.098	-14.0343	-1.1E-05	0	0.000007	0.00026	0.001369
3	42	27	-34.4079	-71.6898	-17.9632	0.000027	0.000064	0.000004	-0.00048	-0.0008
3	42	28	-10.3208	-64.5287	-15.4765	-8.7E-05	0.000041	-7E-06	-0.00217	-0.0006
3	42	29	15.5081	-72.8092	0.213861	0.000023	0.000058	-3.3E-05	-0.00299	0.000126
3	42	30	-54.0122	-51.6438	-79.9136	0.000056	0.000183	0.000004	-0.00857	-0.04479
3	42	31	-16.3529	-38.8668	-27.4893	0.000102	0.000261	0.000041	-0.03599	-0.03436
3	42	32	-49.3072	-121.507	-29.7037	-2.9E-05	-3.9E-05	-1.2E-05	-0.00045	-0.00065

## Додаток Д

Таблиця Д.1

## Головні та еквівалентні напруження за зусиллями

ЗАГР	Тип ЭЛЕМ	ЭЛЕМ	Слой	N1, т/м2	N3, т/м2	FI, DG	NE03
1 – СОБСТВЕННЫЙ ВЕС							
1	42	1	I	-9.08309	-29.5097	-17.1006	29.50968
1	42	1	M	-11.8883	-40.6228	-16.3793	40.62277
1	42	1	E	-14.6884	-51.7409	-15.9817	51.74087
1	42	2	I	-9.08309	-29.5097	17.10063	29.50968
1	42	2	M	-11.8883	-40.6228	16.37929	40.62277
1	42	2	E	-14.6884	-51.7409	15.98167	51.74087
1	42	3	I	-9.2621	-28.0096	-21.6704	28.00956
2 – ВЕТЕР СЛЕВА							
2	42	1	I	26.21874	-48.6984	-43.6317	74.91709
2	42	1	M	17.37207	-47.7397	-48.9781	65.1118
2	42	1	E	10.01666	-48.2724	-55.8764	58.28904
2	42	2	I	48.69835	-26.2187	-46.3691	74.91709
2	42	2	M	47.73973	-17.3721	-41.0227	65.1118
2	42	2	E	48.27237	-10.0167	-34.1245	58.28904
2	42	3	I	27.27201	-18.9174	-53.1781	46.18944
3 – СНЕГ							
3	42	1	I	-29.9789	-97.3974	-17.1006	97.39735
3	42	1	M	-39.2375	-134.076	-16.3793	134.0763
3	42	1	E	-48.4795	-170.772	-15.9817	170.7718
3	42	2	I	-29.9789	-97.3974	17.10064	97.39735
3	42	2	M	-39.2375	-134.076	16.37931	134.0763
3	42	2	E	-48.4795	-170.772	15.98167	170.7718
3	42	3	I	-30.5698	-92.4462	-21.6704	92.44615
1	42	3	M	-9.79128	-21.2548	-28.7105	21.25479
1	42	3	E	-9.12027	-15.7002	-50.6505	15.7002
1	42	4	I	-14.7367	-24.0969	74.91796	24.09687
1	42	4	M	1.195676	-15.3184	-0.34411	16.51406
1	42	4	E	26.01079	-15.4227	-3.53531	41.43347
1	42	5	I	-15.9468	-39.5438	-30.7293	39.54379
1	42	5	M	-13.1014	-39.2958	-26.8363	39.29577
2	42	3	M	20.75647	-24.0685	-49.9479	44.82494
2	42	3	E	14.54138	-29.5199	-46.5609	44.06132
2	42	4	I	4.656199	-0.5356	-14.994	5.191802
2	42	4	M	0.556036	-1.8591	-54.3503	2.415136
2	42	4	E	-0.18261	-6.54412	-80.9319	6.544115
2	42	5	I	23.39438	-36.7234	-39.4703	60.11782
2	42	5	M	15.24722	-39.2708	-44.1658	54.51806
3	42	3	M	-32.3163	-70.1519	-28.7105	70.15188
3	42	3	E	-30.1016	-51.8189	-50.6505	51.81885
3	42	4	I	-48.6386	-79.5323	74.91796	79.53225
3	42	4	M	3.946354	-50.5587	-0.34394	54.505
3	42	4	E	85.84916	-50.9029	-3.5353	136.752
3	42	5	I	-52.6327	-130.515	-30.7293	130.5151
3	42	5	M	-43.2414	-129.697	-26.8363	129.6965
1	42	5	E	-10.0594	-39.2443	-23.692	39.24433
1	42	6	I	-4.34905	-30.0807	-7.0773	30.08067

Таблиця Д.2

**Розрахункові поєднання зусиль розрахункові**

ЗАГР	Имя загр	Вид	Об.3	Зн.пер.	Вз.иск.	Соп.3.	К.Н	Длит.	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)
1	Собственный вес	Постоянная (П)	0	+	0	0 0	1.1	1	1	1	0.9	1
2	Ветер слева	Мгновенная (М)	0	+/-	1	0 0	4.76	0	1	0.9	0.5	0.8
3	Снег	Кратковременная (К)	0	+	1	0 0	1	0.35	1	0.9	0.5	0.8

Таблиця Д.3

**Розрахункові поєднання зусиль тривалодіючі**

ЗАГР	Имя загр	Вид	Об.3	Зн.пер.	Вз.иск.	Соп.3.	К.Н	Длит.	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)
1	Собственный вес	Постоянная (П)	0	+	0	0 0	1.1	1	1	1	0.9	1
2	Ветер слева	Мгновенная (М)	0	+/-	1	0 0	4.76	0	1	0.9	0.5	0.8
3	Снег	Кратковременная (К)	0	+	1	0 0	1	0.35	1	0.9	0.5	0.8

Таблиця Д.4

**РПЗ нормативні тривалодіючі**

ЗАГР	Имя загр	Вид	Об.3	Зн.пер.	Вз.иск.	Соп.3.	К.Н	Длит.	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)
1	Собственный вес	Постоянная (П)	0	+	0	0 0	1.1	1	1	1	0.9	1
2	Ветер слева	Мгновенная (М)	0	+/-	1	0 0	4.76	0	1	0.9	0.5	0.8
3	Снег	Кратковременная (К)	0	+	1	0 0	1	0.35	1	0.9	0.5	0.8

Таблиця Д.5

**Переміщення від РПН**

№ загруз.	Вид	1	2	3	4
1	Постоянное(П)	1	1	1	1
2	Мгновенное(М)	0	0	1	-1
3	Кратковременное(К)	0	1	0	0

Таблиця Д.6

**Зусилля від РПН**

№ загруз.	Вид	1	2	3	4
1	Постоянное (П)	1	1	1	1
2	Мгновенное (М)	0	0	1	-1
3	Кратковременное (К)	0	1	0	0

### Форми втрати стійкості за РПН

ЗАГР/СОЧ	УЗЕЛ	UX	UY	UZ
1 - 1	1	-1	-2	-1
1 - 1	2	2	16	12
1 - 1	3	-2	-8	-3
1 - 1	4	0	0	0
1 - 1	5	4	26	18
1 - 1	6	7	21	17
1 - 1	7	-1	26	16
1 - 1	8	0	0	0
1 - 1	9	242	601	333
1 - 1	10	418	997	340
1 - 1	11	-20	-226	-131
1 - 1	12	0	-1	-1
1 - 2	1	0	0	0
1 - 2	2	-2	-11	-8
1 - 2	3	0	0	0
1 - 2	4	0	1	1
1 - 2	5	-2	-16	-11
1 - 2	6	-4	-9	-6
1 - 2	7	0	-9	-7
1 - 2	8	0	0	0
1 - 2	9	-23	-45	-4
1 - 2	10	-79	-274	-113
1 - 2	11	11	102	56
1 - 2	12	0	3	1
1 - 3	1	0	1	0
1 - 3	2	-1	-9	-7
1 - 3	3	2	6	2
1 - 3	4	0	0	0
1 - 3	5	-2	-17	-12
1 - 3	6	-7	-20	-15
1 - 3	7	0	-21	-13
1 - 3	8	0	0	0
1 - 3	9	-234	-575	-325
1 - 3	10	-430	-999	-369
1 - 3	11	15	186	113
1 - 3	12	0	-1	0
1 - 2	13	0	0	0
1 - 2	14	0	0	0
1 - 2	15	0	1	0
1 - 2	16	0	0	0
1 - 2	17	0	0	0
1 - 2	18	0	0	0
1 - 2	19	0	0	0
1 - 2	20	0	0	0
1 - 2	21	0	0	0
1 - 2	22	0	0	0
1 - 2	23	0	0	0
1 - 2	24	0	0	0
1 - 3	13	0	0	0

**Коефіцієнти вільних довжин за РПН**

ЗАГР/СОЧ	ЭЛЕМ	SQ
1-1	1	0.99874
1-1	2	0.998952
1-1	3	0.000046
1-1	4	0.000004
1-1	5	0.000103
1-1	6	0.000004
1-1	7	0.000008
1-2	1	0.061859
1-2	2	0.916885
1-2	3	0.000002
1-2	4	0.000002
1-2	5	0.000042
1-2	6	0.000023
1-2	7	0.000005
1-3	1	0.999603
1-3	2	0.145128
1-3	3	0.000019
1-3	4	0.000001
1-3	5	0.000005
1-3	6	0.000022
1-3	7	0.000004
1-1	8	0.000022
1-1	9	0.00024
1-1	10	0.000024
1-1	11	0.000141
1-1	12	0.000011
1-1	13	0.000006
1-1	14	0.000017
1-2	8	0.000014
1-2	9	0.000089
1-2	10	0.000011
1-2	11	0.000067
1-2	12	0.000016
1-2	13	0.000003
1-2	14	0.000002
1-3	8	0.000008
1-3	9	0.000111
1-3	10	0.000001
1-3	11	0.000057
1-3	12	0.000004
1-3	13	0.000002
1-3	14	0.000005
1-1	15	0.000207
1-1	16	0.000102
1-1	17	0.000254
1-1	18	0.000007
1-1	19	0.000006
1-1	20	0.000001
1-1	21	0.000742

**Додаток Е**  
**Акти впровадження**  
**Додаток Е1**

000012353



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
імені О. М. Бекетова

61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17,  
тел. (057) 706-15-37, факс (057) 706-15-54  
E-mail: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua),  
код ЄДРПОУ 02071151

MINISTRY OF EDUCATION AND  
SCIENCE OF UKRAINE

O.M. BEKETOV NATIONAL UNIVERSITY  
OF URBAN ECONOMY  
IN KHARKIV

17, Marshal's Buzhanova Street, Kharkiv 61002,  
tel. (057) 706-15-37, fax (057) 706-15-54  
E-mail: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua),  
EDRPOU code 02071151

Від 05.09.22 № 570

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**

про впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора технічних наук Татарченко Галини Олегівни на тему «Формування теорії та визначення методології збереження повітряного простору урбанізованих територій»

Довідка, видана Татарченко Г.О., здобувачу наукового ступеня доктора технічних наук, про наступне.

Результати дисертаційного дослідження на тему «Формування теорії та визначення методології збереження повітряного простору урбанізованих територій» впроваджені у навчальний процес кафедри міського будівництва ННІ АДОМ при проведенні лекційних та практичних занять з дисципліни «Реконструкція житлових територій», а також у дипломне проектування кафедри для студентів очної та заочної форми навчання різних курсів зі спеціальності Будівництво та цивільна інженерія. Впровадження відбувалося протягом 2020-2022 рр.

Результати дослідження, що були впроваджені у навчальний процес полягають у розробці таких положень:

– концептуальна модель переходу до стійкого рівноважного стану урбанізованих територій «людина ↔ довкілля ↔ транспорт», згідно з якою, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування, збереження і захисту системної цілісності цих об'єктів, в рамках якої розроблено інфологічна модель збереження чистого повітря урбанізованих територій «населення ↔

повітряний простір↔ приміагістральні території», що дозволяє визначити основні конструктивні елементи та зв'язки між ними та є базою в формуванні теоретичних засад.;

– основні умови сталої роботи автотранспорту та збереження чистого повітря урбанізованих територій: оптимізація дорожньої мережі та контроль у використанні транспортних засобів; міське планування з високою щільністю забудови та розумні стратегії комунікації; розвиток міст, орієнтований на громадський транспорт та заохочення пішохідного та велосипедного руху; удосконалення громадського транспорту та просування екологічних транспортних засобів, що дозволяє визначити основні шляхи у містобудуванні;

– модель забруднення оксидами азоту магістральних територій міста - залежність концентрації оксидів азоту від інтенсивності транспортних засобів, яка може бути критерієм зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря. На підставі критерію запропоновано зонування території навколо перехресть магістральних доріг міст за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту на зони безпечні, низької безпеки та небезпечні.

Результати можуть бути впроваджені у навчальний процес за даною спеціальністю, оскільки мають наукову новизну та практичне значення.

Директор  
Навчально-наукового інституту  
архітектури, дизайну та образотворчого  
мистецтва, Харківського національного інституту  
міського господарства імені О.М. Бекетова, проф.



Т.Д. Рищенко

Завідувач кафедри міського будівництва, проф.

О.В. Завальний





## Додаток Е2



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

просп. Центральний, 59А, м. Сєвєродонецьк, Луганська обл., 93406,  
Фактична адреса: вул. Івана Пала II, 17, м. Київ, 01042; e-mail: uni@snu.edu.ua,  
код ЄДРПОУ 02070714

29.03.2023 № 250/01 На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## ДОВІДКА

Про впровадження результатів дисертаційного дослідження Татарченко Галини Олегівни на тему «Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору приміагістральних територій крупних міст» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Результати дисертаційного дослідження на тему «Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору приміагістральних територій крупних міст» протягом 2020-2022 рр. впроваджені у навчальний процес за освітнім ступенем «магістр» при проведенні лекційних та практичних занять з дисциплін «Енергоєфективність та екосистема міста», а також у дипломне проєктування для здобувачів освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Результати дослідження, що були впроваджені у навчальний процес полягають у розробці методів нормалізації та запобігання забрудненню повітряного середовища приміагістральної території шляхом виявлення максимально небезпечних зон забруднення шкідливими речовинами під час розробки містобудівної документації, зокрема генеральних планів міст та детальних планів приміагістральної території.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень стану повітряного простору приміагістральних територій та принципу рівноваги запропоновано методологію нормалізації повітря та методи прогнозування, збереження його складу та захисту від викидів токсичних компонентів автотранспорту. Сформовано уявлення про найбільш небезпечні викиди автотранспорту, що завдають великої шкоди здоров'ю громадян та навколишньому середовищу – а саме оксидів азоту, коли їх фактичний вміст на приміагістральних територіях перевищує гранично допустимі концентрації на порядок і вище. Змодельовано процесу розсіювання озону на території міста із врахуванням аварійної ситуації викиду, яке дозволяє отримати профілі максимальної концентрації озону вздовж та перпендикулярно вітрового потоку, визначено відстані, де будуть досягатися допустимі його значення та санітарно-захисні зони.

Вважаємо, що основні практичні результати дослідження є вагомим внеском у сучасне містобудування та можуть бути успішно використані в освітньому процесі за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Перший проєктор



Дмитро МАРЧЕНКО

## Додаток ЕЗ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

## КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Повітрофлотський пр. 31, м. Київ-37, 03037, тел. (044)241-55-80, факс (044) 248-32-65  
 E-mail: [knuba\\_admin@ukr.net](mailto:knuba_admin@ukr.net), Web: <http://www.knuba.edu.ua>, код ЄДРПОУ 02070909

18.04.23 № 14-1.9/222

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора технічних наук Татарченко Галини Олегівни на тему «Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст»

Довідка, виdana Татарченко Г.О., здобувачу наукового ступеня доктора технічних наук, про наступне.

Результати дисертаційного дослідження на тему «Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст» впроваджені у навчальний процес при проведенні лекційних та практичних занять з дисципліни «Міська екологія», «Планування та забудова міст», а також у дипломне проєктування для студентів очної та заочної форми навчання за освітньою програмою «Міське будівництво та господарство» зі спеціальності Будівництво та цивільна інженерія. Впровадження відбувалося протягом 2020+2022 рр.

Результати дослідження, що були впроваджені у навчальний процес полягають у визначенні:

- раціональних та економічно обґрунтованих комплексних заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проєктних рішень;
- економічної ефективності від впровадження очисних хіміко-механічних пристроїв в зонах найбільшого забруднення виражається у показниках підвищення екологічної безпеки та зниження рівня захворюваності населення урбанізованих територій;
- вибору шляхів нормалізації повітряного простору при магістральних територіях великих міст різними способами, зокрема: створення зон малих викидів – Low Emission Zone (LEZ); заохочення активних видів транспорту; створення зелених зон; перерозподіл громадського міського простору; просування громадського транспорту; створення очисних споруд; вдосконалення транспортної політики – податки та технологічне управління дорогами.

Отримані практичні результати пропонуються до використання при плануванні або реконструкції міських магістралей щодо нормалізації повітряного простору. Результати можуть бути впроваджені у навчальний процес за даною спеціальністю, оскільки мають наукову новизну та практичне значення.

Проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку  
к.т.н., доцент



*(Handwritten signature)*

О. Ковальчук



## Додаток Е4



«Затверджую»  
Директор ДП «ДІПРОМІСТО»  
імені Ю.М. Білокона

І.І. Шпилевський

30 жовтня 2022 р.

## АКТ

про впровадження результатів наукових досліджень  
доктора технічних наук, професора Татарченко Галини Олегівни

Ми, що нижче підписалися, начальник відділу НМЗМП Економов А.О. та заступник начальника інженерно-планувального відділу Муха В.Г. уклали цей акт про те, що наукові підходи і методичні принципи обґрунтовані в докторській дисертації на тему: «Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст» доктора технічних наук, професора *Татарченко Галини Олегівни*, поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» були використані в науково-дослідних роботах інституту.

Робота виконана на кафедрі міського будівництва КНУБА, науковий консультант Дьомін М.М.

*Розроблена методологія* нормалізації повітря та методи прогнозування, збереження його складу та захисту від викидів токсичних компонентів автотранспорту яка дозволяє проводити оцінки співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів на міських магістралях та відстанями, де досягаються гранично допустимі норми викидів визначають шляхи збереження й відновлення нормативного стану повітряного простору примагістральної території та створюють умови щодо забезпечення сталого розвитку міст з урахуванням основних принципів його планування, побудови та екологічних вимог.

*Практичні результати роботи* – на основі наукового аналізу розроблені спосіб та конструкційна модель установки очищення забрудненого повітряного простору від оксидів азоту, оксидів вуглецю та вуглеводнів з використанням озонних технологій та пропозиції до їх розміщення на примагістральних територіях крупних міст. Галузь застосування управління та інвестиційними та містобудівними процесами.

Актуальність теми підтверджується аналізом стану забруднення території населених пунктів при розробленні містобудівної документації на місцевому рівні – генеральних планів міст, детальних планів територій.

Запропоноване зонування території по ступеню загазованості повітря, з урахуванням рельєфу місцевості та характеру забудови при магістральних територіях, пропозиції щодо прогнозування стану повітря, використання озонних технологій його очищення може бути прийнято для використання при розробленні містобудівної документації, а також як засіб для поліпшення екологічного стану населених пунктів.

Начальник відділу НМЗМП

ДП «ДІПРОМІСТО» імені Ю.М. Білокона

 А.О. Економов

Заступник начальника інженерно-планувального відділу

ДП «ДІПРОМІСТО» імені Ю.М. Білокона

 В.Г. Муха

## Додаток Е5



І Н С Т И Т У Т  
**КДМП**  
КІЇВДОРМІСТПРОЕКТ

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
"ІНСТИТУТ "КІЇВДОРМІСТПРОЕКТ"  
LLC «Institute «Kyivdormistproekt»

м. Київ, 01133, бульвар Л.Українки, 26 тел.: 044-451-71-89  
http:// www.kdmp.com.ua, E-mail: kdmp@kdmp.com.ua

„Затверджую”  
Директор Інституту ТОВ  
"ІНСТИТУТ "КІЇВДОРМІСТПРОЕКТ"  
Воробйов В. В.  
22 2022 р.

## АКТ

про впровадження результатів наукових досліджень  
доктора технічних наук, професора Татарченко Галини Олегівни

Ми, що нижче підписалися, начальник дорожнього відділу Воробйов Я.В. та головний інженер проєктів Халілов Р.І. уклали цей акт про те, що наукові підходи і методичні принципи обґрунтовані в докторській дисертації на тему: „Містобудівні та хіміко-технологічні основи методології нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст” доктора технічних наук, професора *Татарченко Галини Олегівни*, поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» були використані в науково-дослідних роботах інституту. Робота виконана на кафедрі міського будівництва КНУБА, науковий консультант д. арх., проф. Дьомін М.М.

*Визначені та сформульовані Г.О. Татарченко* комплекси заходів, щодо зниження рівня забруднення повітряного простору міст та методи «smart» організації дорожнього руху з урахуванням вірогідного ступеню забруднення ділянок міської території відповідно до варіантів проєктних рішень, шляхи нормалізації повітряного простору примагістральних територій крупних міст різними засобами з урахування інтенсивності транспортного руху на магістралі.

*Практичні результати роботи* розраховані для застосування їх при плануванні чи реконструкції міських магістралей та спрямовані на доведення повітряного простору примагістральних територій до показників нормативних значень. Запропоновані методи та моделі виражаються у показниках підвищення екологічної безпеки, економічної ефективності, зниження рівня захворюваності населення урбанізованих територій та можуть бути використані у процесі містобудівного планування.

Начальник дорожнього відділу  
Інституту ТОВ "ІНСТИТУТ  
"КІЇВДОРМІСТПРОЕКТ"

Головний інженер проєктів  
Інституту ТОВ "ІНСТИТУТ  
"КІЇВДОРМІСТПРОЕКТ"

Я.В. Воробйов

Р.І. Халілов