

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.292-308>

УДК 712.4

Татарченко Галина Олегівна,

д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

tatarchenkogalina@gmail.com,

<http://orcid.org/0000-0003-4685-0337>

ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЗА РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ОКСИДОМ АЗОТУ

Анотація: у статті розглянута проблема будівництва екологічно чистого міста з урахуванням основних принципів його побудови, вмісту, зонування екологічних функцій і при цьому необхідність збереження сталого розвитку. На підставі критерію - інтенсивності руху транспортних засобів - запропоновано зонування території навколо перехресть магістральних доріг міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту. Проведено розрахунок інтенсивності руху транспортних засобів, що є необхідним для досягнення гранично допустимих норм щодо викидів оксиду азоту та визначено співвідношення між ними. Розраховані санітарно-захисні зони - території навколо магістральних вузлів, на яких оксиди азоту шкідливо впливають на навколишнє середовище і здоров'я людини. Запропонована концептуальна модель переходу до чистого повітря урбанізованих територій, згідно з якою, по суті, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування і захисту людини-транспорту-навколишнього середовища.

Ключові слова: територія; зонування, повітряний простір, місто; екологія міст; забруднення, оксиди азоту.

Постановка проблеми. Знання про екологічну структуру і можливості міста необхідні, так як майже трое з чотирьох громадян ЄС проживають у міських районах і очікується, що процес урбанізації триватиме [1]. Зазвичай, при аналізі екологічної обстановки в містах на перше місце ставлять еколого-геохімічну ситуацію і в меншій мірі дослідження зачіпають архітектурно-планувальну структуру, рекреаційні ресурси, рельєф та інші ландшафтно-екологічні умови, що призводить до нерозуміння багатьох процесів розвитку міста [2].

Найбільш істотними факторами, що впливають на величину концентрації забруднюючих речовин на території міста, і належать до постійно діючих, є розміри міста, рельєф місцевості, тип планування і забудови, наявність зелених

насаджень, водойм, розташування промислових джерел, мікрокліматичні особливості міста, наявність організованих і неорганізованих викидів. До змінних факторів можна віднести зміну об'єму викиду забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу; коливання метеорологічних елементів, що визначають ступінь розсіювання домішок; періодично діючі і випадкові джерела забруднення, а також тривалість життя речовин, які викидаються ними, що, в свою чергу, визначається їх фізичними і хімічними властивостями і метеорологічними умовами.

Виникає гостра необхідність не тільки контролю забруднення атмосфери, але і прогнозів екологічно безпечного розвитку розселення в територіальному плануванні, забезпеченні захисту здоров'я населення, зокрема зонування території міста за ступенем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. 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 [1]. Концентрації компонентів автомобільного вихлопу схильні до великих коливань залежно від інтенсивності руху автотранспорту, ширини вулиці, її рельєфу, характеру забудови, а також метеорологічних факторів [3]. 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.

Так, на основі аналізу річних градієнтів концентрацій оксиду вуглецю на окремих станціях Нью-Йорка і всієї національної мережі США пропонується стандартизована система вибору ділянок контролю забруднення повітря. В цьому випадку всі станції діляться на шість типів: А - для контролю забруднення атмосфери в центральній частині міста на відстані 0.5 м від автостради з інтенсивним рухом; В - для контролю забруднення атмосфери в зеленій зоні центральної частини міста на відстані 100 м від автомагістралі; С - для контролю забруднень в житлових районах і приміських зонах; D - станції, суміщені з мезомасштабними метеостанціями; Е - для контролю фонового забруднення; F - для контролю окремих джерел [4].

Якість повітря в зонах перетину автомагістралей є предметом окремих досліджень [5]. При аналізі даних спостережень відзначено, що концентрації поллютантів поблизу вище, ніж на окремих ділянках цих автомагістралей, тому, що на цих ділянках доріг машини перебувають довше та їх двигуни працюють у режимах уповільнення або прискорення, при яких в повітря потрапляють великі концентрації поллютантів, ніж при рівномірно швидкому русі.

За даними спостережень за розподілом деяких домішок серед міської забудови було отримано, що поблизу великих автомагістралей в денний час на рівні 10 - 12-го поверхів житлових будинків і на висоті 1.5 – 2 м концентрації забруднень близькі між собою [6]. Значення реєстрованих концентрацій на нижніх рівнях міського каньйону значно вище, ніж значення на верхніх рівнях.

На думку багатьох дослідників факт зниження концентрації кисню супроводжується зростанням концентрацій діоксиду вуглецю та оксидів азоту. Цей є свідченням порушення відновлювальних властивостей навколишнього середовища.

Для зниження шкоди природному середовищу через евтрофікації водойм, підкислення ґрунтів, утворення приземного озону і виснаження стратосферного озонового шару Європейська економічна комісія ООН підписала Софійську угоду і Гетеборзький протокол [7] 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. Багато вчених працюють над пропозиціями щодо захисту і контролю атмосферного повітря - це і використання наночасток в якості компонента будівельних матеріалів [8], і розробка систем зі штучних і електростатичних фільтрів [9], і використання біотехнологій, тонкої фільтрації, опромінення, іонізації повітря. Більшість аналізаторів домішок у повітрі - це оптичні лічильники часточок [10].

Авторами [11] запропонований спосіб очищення повітряного простору шляхом пропускання забрудненого повітря крізь спеціальну очисну споруду. Це скруббер із суміщеними процесами мокрого пиловловлювання і озонування, який характеризується високою ефективністю очищення від дрібнодисперсного пилу.

На основі викладеного можна прийти до висновку, що ступінь загазованості повітря міст знаходиться в складній залежності від чисельних факторів, що стосуються як джерел, так і планувальної ситуації, організації руху, метеорологічних умов та інших, тому виникає необхідність вводити універсальні критерії, за допомогою яких можна давати оцінку рівня забруднення атмосферного повітря.

Метою публікації є зонування території міста за рівнем забруднення атмосферного повітря оксидами азоту на підставі критерію - інтенсивності руху транспортних засобів на прикладі Солом'янського району м. Києва.

Основна частина. Раніше [12] 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.

Таблиця 1 – Інтенсивність руху транспортних засобів у межах основних вузлів-перехресть у Солом'янському районі м. Києві

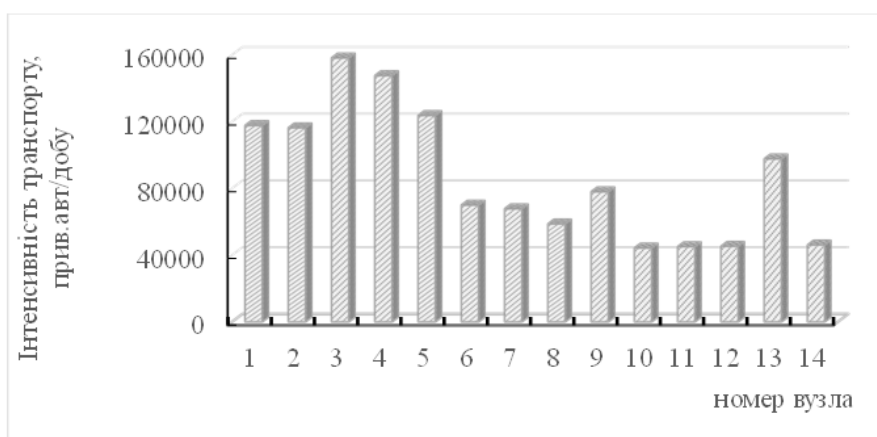
Номер вузла	Вузол	Інтенсивність, прив. од./добу	Номер вузла	Вузол	Інтенсивність, прив. од./добу
1	Кільцева дорога - Повітрофлотський проспект	117700	8	вул. Головка - просп. В. Лобановського	58700
2	просп. Любомира Гузара - бульв. Вацлава Гавела	116300	9	вул. Брожка - вул. Кайсарова - просп. В. Лобановського	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

На підставі даної ідеї запропоновано провести зонування території навколо перехресть магістральних доріг міста:

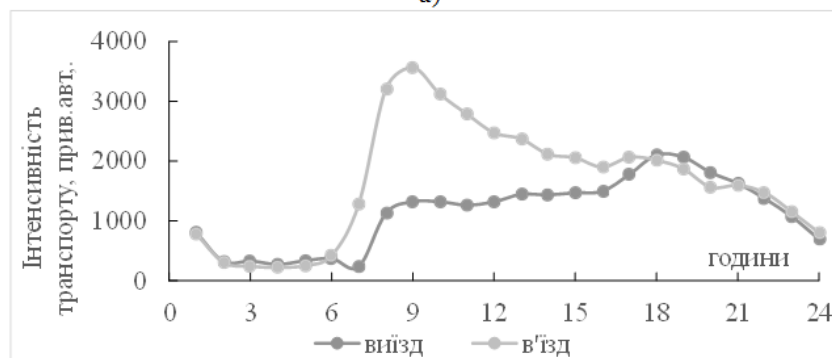
- зони безпечні, де вміст оксидів азоту менш середньодобових гранично-допустимих концентрацій ($ГДК_{сд}=0,04 \text{ мг/м}^3$) [13];

- 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 в них (табл.1, рис.1а). Згідно табл.1 і рис. 1а максимальна кількість транспортних засобів приходить на вузли 3, 4, 5, мінімальна - 10, 11, 12, причому навантаження відрізняється практично в три рази.



а)



б)

Рис.1 Інтенсивність руху транспортних засобів у Солом'янському районі м. Києва: а) у вузлах-перехрестях за добу; б) в'їзду-виїзду у вузли протягом доби.

Відповідно до кількості автотранспортних викидів забруднення атмосферного повітря в різних вузлах буде змінюватися. 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. 1б). 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 (1) [14]:

$$C(x)_i = \frac{M_i}{\pi \cdot u \cdot \sin \alpha \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left[-\frac{H^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right]} \quad (1)$$

де M_i - масові викиди NO_x

u - швидкість вітру, 1,25м/с;

α - напрям вітру відносно осі дороги, 90^0 ;

σ_y та σ_z - дисперсії розподілу домішок в атмосфері відносно осей Y та Z (табл.2);

H – висота викиду, 0,5м.

Таблиця 2 - 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

Для визначення дисперсії розподілу домішок в атмосфері у розрахунках використовували швидкість приземного вітру < 2м/с, час доби - день та сильну сонячну радіацію, що відповідає класу стійкості А за формулами (2, 3):

$$\sigma_y = 0,14 \cdot x^{1,004} \quad (2)$$

$$\sigma_z = 0,43 \cdot x^{0,9} \quad (3)$$

Отримані результати представлені на карті Солом'янського району в вузлах перетину доріг (рис.2). Висота стовпчика пропорційна кількості викидів оксидів азоту і відповідає трафіку. Як видно з рис. 2, 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.

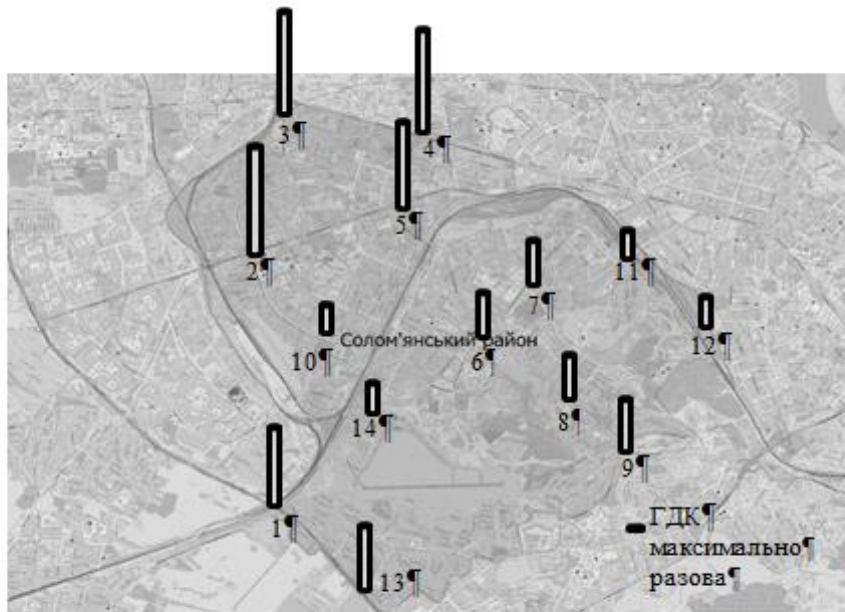


Рис.2. Діаграма концентрацій оксидів азоту, розрахованих за формулою 1 для вузлів 1-14.

Проведено розрахунок інтенсивності руху транспортних засобів, який необхідний для досягнення гранично допустимих норм щодо викидів оксиду азоту та визначено співвідношення між ними (табл. 3.).

Таблиця 3. - Співвідношення між інтенсивністю руху транспортних засобів і гранично допустимих концентрацій оксиду азоту

Інтенсивність руху I прив.авт/год		
Умови	$\alpha=90^0$, $u= 1,25\text{м/с}$	$\alpha = 45^0$, $u= 4 \text{ м/с}$
ГДК _{с.д} = 0,04 мг/м ³	550	850
ГДК _{мр} = 0,4 мг/м ³	5250	8500

Як видно з таблиці 3 при зміні кута вітру відносно осі дороги до 45^0 і збільшення швидкості приземного вітру відбувається зростання чисельності автотранспорту, яке необхідно для забруднення простору до гранично-

допустимих концентрацій. Між концентраціями поллютантів і швидкістю вітру є зворотна кореляція, в основі якої лежить розведення газів повітряними масами. Відповідно до таблиці 3 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. При порівнянні з ГДК_{мр}, то можна виділити зону небезпечну - 1-5 вузли і зону низької безпеки - 6-14 вузли.

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 [12].

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 [15] 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.

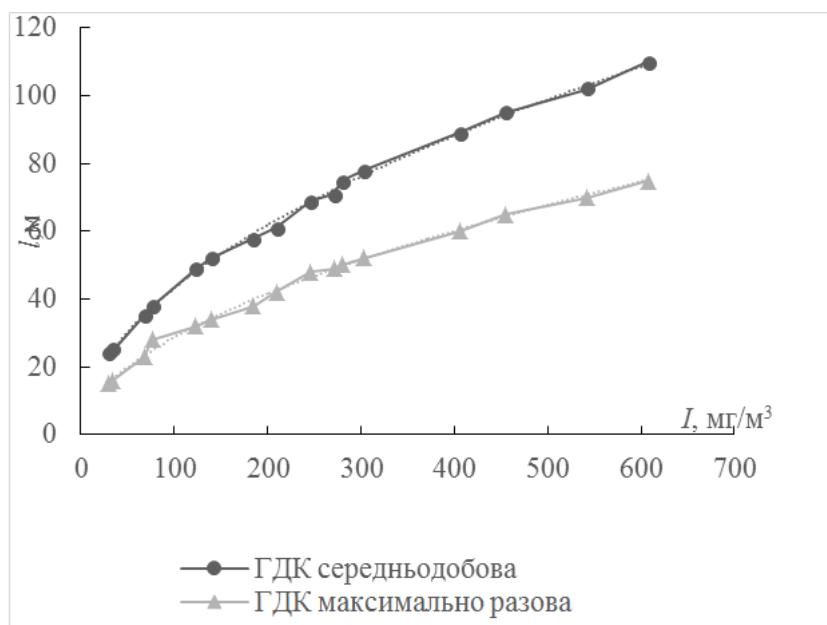


Рис. 3 Залежність відстані, де досягається ГДК від концентрації оксидів азоту.

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.3).

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 [16] 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):

$$l=L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (4)$$

де L_0 – розрахунковий розмір ділянки місцевості в даному напрямі, де концентрація шкідливих речовин перевищує рівень ГДК;

P_0 – середньорічна повторюваність напрямків вітрів залежно від кількості румбів;

P – середньорічна повторюваність напрямків вітрів одного румба за круговою розою вітрів.

За метеорологічними даними про напрямки вітру в Києві [17] приведена середньорічна повторюваність напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів у м. Київ (табл.4).

Таблиця 4. - Середньорічна повторюваність напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів у м. Київ

Р, %	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
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

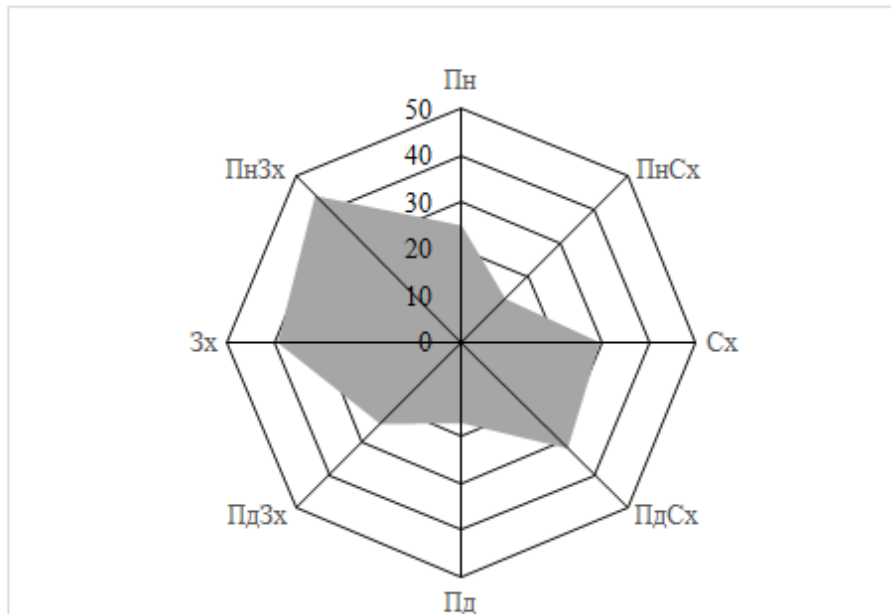
За восьмирумбовою розою вітрів:

$$P_0 = \frac{100}{8} = 12,5\%$$

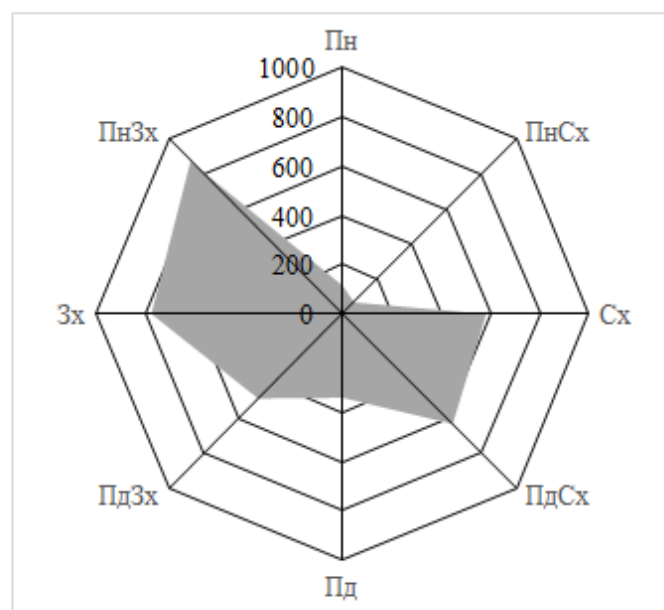
Для розрахунків санітарно-захисної зони за оксидом азоту використовували дві відстані при максимальному и мінімальному трафіку $L_0 = 110$ м , 24 м за середньодобовою ГДК (рис. 4). Тут слід зазначити переважний північно-західний напрямок вітрів, що призводить до збільшення території забруднення, що слід враховувати при визначенні зон посиленого моніторингу

та місць розміщення очисних споруд. 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.

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 .



а)



б)

Рис.4 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 .

Облік щільності забудови і проникності території при моделюванні розсіювання забруднювачів дозволяє отримати результати, добре узгоджуються з даними натурних спостережень.

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.

Виходячи з проведених досліджень пропонується концептуальна модель переходу до чистого повітря урбанізованих територій, згідно з якою, по суті, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування і захисту:

- людини, яка прагне комфортно 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;
- навколишнього середовища, стан якого під антропогенним впливом погіршується на фоні посилення природних катаклізмів.

Для реалізації концептуальної моделі необхідно: виявлення наявних екологічних проблем у стані навколишнього середовища; прогноз по стану навколишнього середовища всіма компонентами відповідно до перспектив економічного і соціального розвитку району; розробка схеми інженерно-екологічного зонування території району та виявлення проблемних ситуацій, що виникають в тій чи іншій його частині; розробка заходів з охорони навколишнього середовища.

Висновки. Розглянута проблема будівництва екологічно чистого міста з урахуванням основних принципів його побудови, змісту, зонування екологічних функцій і при цьому необхідність збереження сталого розвитку. На підставі критерію - інтенсивності руху транспортних засобів - 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.

Розраховані санітарно-захисні зони-території навколо магістральних вузлів, на яких оксиди азоту шкідливо 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.

Запропоновано концептуальну модель переходу до чистого повітря урбанізованих територій, згідно з якою, по суті, необхідно вирішити триєдине завдання співіснування і захисту людини-транспорту-навколишнього середовища.

Список джерел

1. 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](https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1613966)
2. Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Fomina N V., Ermakova Yu I. Urban Health Approach to the Study and development of large cities. *Geography and Natural Resources*. Elsevier. 2020. Vol. 41, P. 203-210. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1875372841030014>
3. 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>
4. Criteria for EUROAIRNET. The EEA Air Quality Monitoring and Information Network: Technical Report No. 12. - *Copenhagen: European Environmental Agency*. 1999. 216 p.: URL: https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf
5. Vachon G., Rosant J.-M., Mestayer P., Louka P., Sini J.-F. Pollutant dispersion in an urban street canyon in Nantes: experimental. *Garmisch-Partekirchen Proc. Eurotrac 2 Symposium 2000, Germany, 27-30 March 2000*. URL: https://www.researchgate.net/publication/242267794_Measurement_of_dynamic_and_thermal_fields_in_a_street_canyon_URBCAP_Nantes_'99
6. Godec R., Jakovljević I, Davila S., Šega K., Bešlić I., Rinkovec J., Pehnec G. Air pollution levels near crossroads with different traffic density and the estimation of health risk. *Environ Geochem Health* 2021 Mar 24. DOI: [10.1007/s10653-021-00879-1](https://doi.org/10.1007/s10653-021-00879-1).
7. Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. URL: <https://unece.org/node22/protocol-abate-acidification-eutrophication-and-ground-level-ozone>.
8. Januszkiewicz K., Kowalsk, K. G. Air Purification in Highly-Urbanized Areas with Use TiO₂: New Approach to Design the Urban Public Space to Benefit Human Condition. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. 603, 052071. DOI: [10.1088/1757-899X/603/5/052071](https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052071)

9. Elkamhawy, Aya; Jang, Choon-Man. Performance Evaluation of Hybrid Air Purification System with Vegetation Soil and Electrostatic Precipitator Filters. *Sustainability*, 2020. Vol. 12, №. 13: 5428. DOI:[10.3390/su12135428](https://doi.org/10.3390/su12135428).

10. Khoroshun G., Tatarchenko H., Diomin M., Tatarchenko Z. Cleanroom Air Control. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer*, 2021. Vol 181. P.497-504. DOI:[10.1007/978-3-030-85043-2_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_47)

11. Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Татарченко З.С., Білошицька Н.І. Спосіб очищення забрудненого повітря урбанізованих територій. Патент України, UA 147495. 2020, 15 грудня. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, правонаступник.

12. Татарченко Г.О. Аналіз забруднення оксидами азоту повітряного простору території Києва. Київ: КНУБА *Науково-технічний збірник "Містобудування та територіальне планування"* Випуск №77(2021)-, С. 441-450. DOI:[10.32347/2076-815x.2021.77.441-450](https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.441-450).

13. 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>

14. 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>

15. 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

16. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG1404.html

17. Клімат Києва. Повторюваність напрямку вітру за рік. URL: <https://meteopost.com/weather/climate-normals/kyiv/>

References

1. Kourdounouli Christina, Jönsson, Anna Maria (2020) Urban ecosystem conditions and ecosystem services – a comparison between large urban zones and city cores in the EU. *Journal of Environmental Planning and Management*. Vol. 63, № 5. P. 798-817. DOI: [10.1080/09640568.2019.1613966](https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1613966). (in English)

2. Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Fomina N V., Ermakova Yu I. (2020). Urban Health Approach to the Study and development of large cities. *Geography and*

Natural Resources. Elsevier. Vol. 41, P. 203-210. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1875372841030014>. (in English)

3. 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>. (in English)

4. Criteria for EUROAIRNET. The EEA Air Quality Monitoring and Information Network: Technical Report No. 12. - *Copenhagen: European Environmental Agency*. 1999. 216 p.: URL: https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf. (in English)

5. Vachon G., Rosant J.-M., Mestayer P., Louka P., Sini J.-F. (2000). Pollutant dispersion in an urban street canyon in Nantes: experimental. *Garmisch-Partekirchen Proc. Eurotrac 2 Symposium, Germany, 27-30 March 2000*. URL: https://www.researchgate.net/publication/242267794_Measurement_of_dynamic_and_thermal_fields_in_a_street_canyon_URBCAP_Nantes_'99/ (in English)

6. Godec R., Jakovljević I, Davila S., Šega K., Bešlić I., Rinkovec J., Pehnec G. (2021) Air pollution levels near crossroads with different traffic density and the estimation of health risk. *Environ Geochem Health* Mar 24. DOI: [10.1007/s10653-021-00879-1](https://doi.org/10.1007/s10653-021-00879-1). (in English)

7. Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. URL: <https://unece.org/node22/protocol-abate-acidification-eutrophication-and-ground-level-ozone>. (in English)

8. Januszkiewicz K., Kowalsk, K. G. (2019) Air Purification in Highly-Urbanized Areas with Use TiO₂: New Approach to Design the Urban Public Space to Benefit Human Condition. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 603, 052071. DOI: [10.1088/1757-899X/603/5/052071](https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052071). (in English)

9. Elkamhawy, Aya; Jang, Choon-Man. (2020). Performance Evaluation of Hybrid Air Purification System with Vegetation Soil and Electrostatic Precipitator Filters. *Sustainability*, Vol. 12, №. 13: 5428. DOI:[10.3390/su12135428](https://doi.org/10.3390/su12135428). (in English)

10. Khoroshun G., Tatarchenko H., Diomin M., Tatarchenko Z. (2021). Cleanroom Air Control. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, Springer*, Vol 181. P.497-504. DOI:[10.1007/978-3-030-85043-2_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_47). (in English)

11. Tatarchenko G.O., Biloshytskyi M.V., Tatarchenko Z.S., Biloshytska N.I.; (2020) Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, assignee. The method of cleaning polluted air in urbanized areas. [Sposib ochyshchennia zabrudnenoho povitria urbanizovanykh terytorii]. *Ukraine patent*, UA 147495. 2020, Dec. 15. (in Ukrainian)

12. Tatarchenko G.O (2021) Analysis of nitrogen oxide pollution of the airspace of Kyiv. [Analiz zabrudnennia oksydamy azotu povitrianoho prostoru terytorii Kyieva]. *Naukovo-tekhichniy zbirnyk "Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia"* Kyiv: KNUBA, № 77(2021)- S. 441-450. DOI: [10.32347/2076-815x.2021.77.441-450](https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.441-450). (in Ukrainian)

13. Hygienic regulations. Maximum allowable concentrations of chemicals and biological substances in the air of populated areas. [Hihienichni rehlementy. Hranychno dopustymi kontsentratsii khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosferному povitri naselenykh mist]. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>. (in Ukrainian)

14. Method of calculating emissions of pollutants and greenhouse gases into the air from vehicles. Order of the State Statistics Committee of Ukraine №452 from 13.11.2008. [Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid transportnykh zasobiv. Nakaz Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy №452 vid 13.11.2008] URL:<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>. (in Ukrainian)

15. State building norms of Ukraine. Streets and roads of settlements. DBN B.2.3.-5: 2018. [Derzhavni budivelni normi Ukrainy. Vulytsi ta dorohi naselenykh punktiv. DBN B.2.3.-5:2018]. URL:http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77079. (in Ukrainian)

16. State sanitary rules of planning and development of settlements. [Derzhavni sanitarni pravyla planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv]. URL:http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG1404.html. (in Ukrainian)

17. Climate of Kyiv. Recurrence of wind direction per year. [Klimat Kyieva. Povtorivuvannist napriamku vitru za rik.] URL:<https://meteopost.com/weather/climate-normals/kyiv/> (in Ukrainian)

Аннотация

Татарченко Галина Олеговна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительства, урбанистики и пространственного планирования, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля.

Зонирование территории города по уровню загрязнения атмосферного воздуха оксидами азота

Рассмотрена проблема строительства экологически чистого города с учетом основных принципов его построения, содержания, зонирования экологических функций и при этом необходимости сохранения устойчивого развития. Проведены расчёты концентраций выбросов оксидов азота в четырнадцати узлах – перекрестках магистральных дорог города, определены дисперсии распределения примесей в атмосфере.

На основании критерия - интенсивности движения транспортных средств предложено зонирование территории вокруг перекрестков магистральных дорог города по уровню загрязнения атмосферного воздуха оксидами азота: зоны безопасные, где содержание оксидов азота менее среднесуточных предельно допустимых концентраций ($ГДК_{cc} = 0,04 \text{ мг/м}^3$); зоны низкой безопасности, где содержание оксидов азота менее максимально разовой предельно допустимых концентраций ($ГДК_{mp} = 0,4 \text{ мг/м}^3$); зоны опасные, где уровень выше $ГДК_{mp}$, нужен постоянный мониторинг и специальные очистные сооружения.

Проведен расчет интенсивности движения транспортных средств, которое необходимо для достижения предельно допустимых норм по выбросам оксида азота и определено соотношение между ними. Рассчитаны санитарно-защитные зоны-территории вокруг магистральных узлов, на которой оксиды азота вредно влияют на окружающую среду и здоровье человека. Выявлено, что преимущественное северо-западное направление ветров приводит к увеличению территории загрязнения до 850 м, если магистраль имеет восемь полос.

Предложена концептуальная модель перехода к чистому воздуху урбанизированных территорий, согласно которому, по сути, необходимо решить триединую задачу сосуществования и защиты:

- человека, который стремится комфортно жить, а комфорт требует постоянного прогресса и в то же время сохранять главное свое достояние - здоровье;
- транспорта, который связан с необходимостью быстрого перемещения товаров, услуг, требует устойчивого развития экономики и приводит к изменению климата;
- окружающей среды, состояние которой под антропогенным воздействием ухудшается на фоне усиления природных катаклизмов.

Ключевые слова: территория; воздушное пространство; город; экология городов; загрязнения.

Annotation

Tatarchenko Halyna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction, Urbanism and Spatial Planning Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.

Zoning of the city territory by the level of atmospheric air pollution by nitrogen oxides

The problem of building an ecologically clean city is considered, taking into account the basic principles of its construction, maintenance, zoning of ecological functions and, at the same time, the need to maintain sustainable development. Calculations of the concentration of emissions of nitrogen oxides in fourteen transport nodes - intersections of the main roads of the city were carried out, the dispersion of the distribution of impurities in the atmosphere was determined.

On the basis of the criterion of the traffic intensity of vehicles, the zoning of the territory around the intersections of the main roads of the city was proposed according to the level of atmospheric air pollution with nitrogen oxides: safe zones, where the content of nitrogen oxides is less than the average daily maximum permissible concentrations (maximum allowable concentration = 0.04 mg/m^3); zones of low safety, where the content of nitrogen oxides is less than the maximum one-time maximum permissible concentration (maximum allowable concentration = 0.4 mg/m^3); hazardous zones, where the level is higher than the maximum allowable concentration, constant monitoring and special treatment facilities are needed.

The calculation of the traffic intensity of vehicles, which is necessary to achieve the maximum allowable rate for nitrogen oxide emissions, and the ratio between the substances. Sanitary protection zones-territories around the main hubs, where nitrogen oxides have a harmful effect on the environment and human health, have been calculated. It was revealed that the predominant north-western direction of winds leads to an increase in the territory of pollution up to 850 m, if the highway has eight lanes. A conceptual model of the transition to clean air in urbanized areas is proposed, according to which, in fact, it is necessary to solve the problems of coexistence and protection:

- a person who seeks to live comfortably, and comfort requires constant progress and at the same time preserving his health;
- transport, which is associated with the need to quickly move goods and services, requires sustainable economic development and leads to climate change;
- the environment, the state of which under anthropogenic influence is deteriorating against the background of intensification of natural disasters.

Key words: territory; airspace; city; ecology of cities; pollution.