

НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ОКСИДІВ АЗОТУ НА ПРИМАГІСТРАЛЬНІЙ ТЕРИТОРІЇ В УМОВАХ МІСТА

Лежнева О. І., Барун М. В., Коверсун С. О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Подано аналіз впливу викидів автотранспорту на населення міста, здійснено розрахунок викидів оксидів азоту, що виникають внаслідок роботи двигунів внутрішнього згоряння під час руху транспортних засобів у транспортному потоці на досліджуваній ділянці вулиці міста Харкова. Проаналізовано заходи, спрямовані на зниження рівня забруднення повітря на примігистральній території та в салоні автомобілів. Запропоновано використання дорожніх бордюрів, виготовлених із додаванням діоксиду титану, а також визначено переваги впровадження вугільних фільтрів у системах вентиляції салонів транспортних засобів для забезпечення індивідуального захисту водіїв і пасажирів.

Ключові слова: транспортний потік, атмосферне повітря, оксиди азоту, забруднення, салон автомобіля, діоксид титану.

Вступ

Забруднення атмосферного повітря в урбанізованих районах зумовлене різноманітними видами діяльності, зокрема виробництвом електроенергії, промисловими процесами й автомобільним транспортом. У містах автомобільний транспорт є одним із основних джерел забруднення повітря. Більше 60 % населення країни проживає в міських агломераціях, де повсякденне життя відбувається в обмежених просторах з використанням наявної транспортної інфраструктури. Приблизно 70 % забруднювальних речовин потрапляють у повітря через транспорт, а 40 % викидів вуглекислого газу, що виникають під час експлуатації автомобілів, зумовлені міською мобільністю [1]. Дослідження свідчать про те, що мешканці міст, які користуються автомобілями та автобусами, піддаються найбільшому впливу забруднення повітря. На другому місці – користувачі автомобілів з регульованими параметрами вентиляції, велосипедисти та пішоходи [2, 3]. Велика кількість епідеміологічних досліджень наводять статистичну інформацію, яка підтверджує, що вплив забруднення повітря підвищує ризик розвитку таких захворювань, як рак легенів, хронічні та гострі респіраторні та серцево-судинні захворювання, що може призводити до передчасної смерті [4]. Хоча зв'язок між вмістом діоксиду азоту (NO_2) і наслідками для здоров'я не достатньою мірою досліджений, як для часток $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 часто використовується як індикатор для інших забруднювачів [5]. Нині наявні докази негативного впливу NO_2 на здоров'я, зок-

рема на фізичні [6–11] та психологічні захворювання [12].

Отже, зменшення рівня викидів від автомобільного транспорту та розроблення заходів щодо зниження концентрацій забруднювальних речовин на магістральних територіях і в самих транспортних засобах має значний потенціал для поліпшення здоров'я населення.

Аналіз публікацій

Для аналізу ефективності альтернативних політик і заходів щодо зниження впливу забруднення повітря на здоров'я мешканців міста важливо враховувати кілька ключових аспектів:

1) диференційоване транспортне середовище: необхідно враховувати різноманітність транспортних маршрутів, інтенсивність руху та типи транспорту в різних районах міста. Це дозволяє отримати більш точну інформацію про викиди та їхній вплив на якість повітря;

2) динаміка населення: аналіз впливу забруднення має також враховувати зміни в чисельності та складі населення, оскільки різні групи людей можуть по-різному реагувати на забруднення. Наприклад, діти та літні люди можуть бути більш вразливими до негативного впливу забруднювальних речовин [13];

3) сучасні моделі якості повітря: використання складних моделей, які враховують не лише інформацію про викиди, але й метеорологічні умови, фізичні та хімічні процеси, дозволяє більш точно прогнозувати концент-

рації забруднювальних речовин [3]. Такі моделі можуть містити інформацію про атмосферні реакції, які змінюють склад повітря в реальному часі;

4) корекція даних моніторингу: хоча моделі можуть бути пов'язані з певними обмеженнями, наявність даних моніторингу дозволяє коригувати прогнози та підвищувати точність аналізу. Це можна зробити через використання даних з мобільних моніторів або сенсорів, які забезпечують більш детальну інформацію про якість повітря у різних частинах міста [14];

5) аналіз впливу на здоров'я: важливо проводити епідеміологічні дослідження для визначення зв'язку між рівнями забруднення повітря та здоров'ям населення. Воно може складатися з аналізу захворюваності, смертності, а також вивчення впливу на психічне здоров'я;

6) розроблення політик: на основі отриманої інформації і моделей можна розробити такі цілеспрямовані політики для зменшення викидів від автомобільного транспорту, як впровадження екологічних стандартів для автомобілів, розвиток громадського транспорту, заохочення використання альтернативних видів пального та електромобілів.

Користувачі наземного транспорту, які проводять багато часу в автомобілях або автобусах на перевантажених маршрутах, піддаються впливу забруднювальних речовин протягом тривалого часу [15]. Це може призводити до накопичення токсичних речовин в організмі, що також збільшує ризик розвитку респіраторних захворювань, серцево-судинних захворювань та інших проблем зі здоров'ям. Архітектура міста, зокрема наявність вузьких вулиць і високих будівель, може створювати «каньйонний ефект», який обмежує розсіювання забруднювальних речовин [16].

Це призводить до їх затримки в атмосфері, що збільшує концентрацію шкідливих часток і газів у повітрі. Дослідження, проведене вченими Інституту фізики навколишнього середовища Гейдельберзького університету, свідчить про те, що рівні діоксиду азоту в салонах автомобілів можуть значно перевищувати допустимі норми [17]. Це є проблемою для здоров'я пасажирів і водіїв, адже діоксид азоту є потужним подразником дихальних шляхів і може викликати запальні процеси.

Для зменшення рівня впливу забруднення повітря на здоров'я населення важливо впроваджувати такі заходи, як поліпшення якості

громадського транспорту, заохочення використання екологічних видів транспорту (наприклад велосипедів або електромобілів), розроблення містобудівних рішень, які сприяють кращому розсіюванню забруднювальних речовин (наприклад збільшення зелених зон).

Важливим процесом є також регулярний моніторинг якості повітря в міських районах для вчасного реагування на підвищення рівнів забруднювальних речовин і вживання необхідних заходів для їх зниження.

Загалом комплексний підхід до визначення рівня впливу забруднення повітря на здоров'я населення з урахуванням сучасних технологій і методик є ключовим для розроблення ефективних стратегій боротьби із забрудненням у містах.

Результати тестів у німецьких містах демонструють, що концентрація NO_2 в салонах автомобілів може досягати 450 мкг/м^3 , що значно перевищує безпечні рівні. Це досить тривожний показник, оскільки водії і пасажирів можуть піддаватися тривалому впливу цього токсичного газу [17].

Навіть у пікові години пішоходи дихають повітрям з концентрацією NO_2 орієнтовно 90 мкг/м^3 , що є нижчим показником, як порівняти із закритими просторами автомобілів. Це свідчить про те, що навіть у міських умовах, де повітря може бути забрудненим, пасажирів автомобілів піддаються більшому ризику.

Діоксид азоту є небезпечним для здоров'я газом, який може викликати респіраторні, серцево-судинні захворювання, астму, алергії. Особливо вразливими є водії, які багато часу перебувають за кермом, а також діти, що часто є пасажирів [17]. Визначено, що в пробках концентрація NO_2 в салоні автомобіля може бути нижчою, як порівняти з повільним рухом. Це пояснюється тим, що під час руху автомобіля відпрацьовані гази піднімаються вгору і можуть меншою мірою потрапляти в систему вентиляції.

Таким чином, проблема забруднення повітря, зокрема концентрація діоксиду азоту в автомобілях, потребує комплексного підходу для покращення здоров'я населення та якості життя в містах [18].

Постановка завдання

Метою дослідження є аналіз рівня викидів оксидів азоту двигунами внутрішнього згоряння під час руху транспортних засобів у транспортному потоці на досліджуваній ділянці вулиці міста Харкові та розроблення

заходів щодо зниження інгредієнтного забруднення на приміагістральній території і в салоні транспортних засобів, що забезпечить зменшення рівня впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища на організм водіїв і пасажирів автомобілів, а також знизить імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Дослідження забруднення атмосферного повітря оксидами азоту з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння

Для аналізу впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря було вибрано ділянку автомобільної дороги, що проходить крізь місто Харків. Ця ділянка розташована в Київському районі на вулиці Журавлівський узвіз, між перехрестями з вулицями Шевченка та Григорія Сковороди (див. рис. 1).



Рис. 1. Об'єкт дослідження на мапі м. Харкова

Для аналізованої вулиці було здійснено польові спостереження за інтенсивністю руху транспортних засобів у пікові години, аналіз

дорожніх умов на досліджуваній ділянці, а також архітектурно-планувальних характеристик і ситуації в житловій забудові (табл. 1).

Дослідження складу транспортних потоків для більшої точності результатів проводилися протягом 20 хвилин кожного тимчасового інтервалу в піковий період протягом 3 днів у будні приблизно з 8:00 до 9:00, з 12:00 до 13:00 та з 17:00 до 18:00. В узагальненому вигляді результати досліджень наведені в табл. 2.

Натурні спостереження проводилися у квітні 2024 року.

Для визначення концентрації токсичної речовини оксидів азоту (NO_2) в приземному шарі атмосферного повітря на різній відстані від дороги використовували модель гаусівського розподілу домішок в атмосфері.

Розрахунок дотичної сили тяги.

Для більшої точності розрахунок дотичної сили тяги (F_k , Н) здійснювали окремо для спуску, підйому і на майданчику з огляду на стан типу дорожнього полотна, швидкість руху й опір повітря за формулою

$$F_k = G(f_0 + i + \varpi_g), \quad (1)$$

де G – вага автомобіля, Н; f_0 – коефіцієнт опору тертя (визначає тип і стан дорожнього полотна: для асфальтобетону $f_0 = 0,015–0,020$, для гравійної дороги $f_0 = 0,040–0,045$); i – ухил на дорозі ($+i$ на підйомі, $-i$ на спуску, $i = 0$ на майданчику); ϖ_g – коефіцієнт опору повітря.

Таблиця 1 – Характеристика об'єкта дослідження

Ділянка	Показник	Характеристика
Вулиця Журавлівський узвіз	протяжність дороги, м	1640
	покриття	асфальтобетон
	поздовжній ухил, ‰	7
	кількість смуг	4
	відстань до забудови, м	30

Таблиця 2 – Результати спостережень за інтенсивністю та складом транспортного потоку

Назва вулиці		Середня інтенсивність руху, авт./год					
вул. Журавлівський узвіз		легкові	легкі вантажні	середні вантажні	важкі вантажні	автобуси, трамваї	усього
Час дослідження	8.00–9.00 год.	3356	178	89	38	24	3685
	12.00– 3.00 год.	3112	136	106	31	15	3400
	17.00–18.00 год.	2848	86	30	10	18	2992
	середнє значення	3105	133	75	26	19	3359

Вага автомобіля розраховується за виразом

$$G = M_a g, \quad (2)$$

де M_a – маса автомобіля з вантажем, кг; g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Коефіцієнт опору повітря (ϖ_ϵ) розраховується за формулою

$$\varpi_\epsilon = \frac{kSV^2g}{G}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт обтічності (для вантажних $k = 0,06\text{--}0,07$, для легкових автомобілів $k = 0,020\text{--}0,035$, для автобусів $k = 0,025\text{--}0,040$); S – площа проекції автомобіля на площину, що перпендикулярна напрямку його руху («лобова площа»), м^2 ; V – швидкість руху автомобіля, м/с ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; G – вага автомобіля, Н.

Лобову площу автомобіля можна визначити за наближеними формулами:

– для вантажних автомобілів з кузовом «фургон»

$$S = 0,90BH, \quad (4)$$

– для вантажних автомобілів і автобусів

$$S = 0,85BH, \quad (5)$$

де B і H – габаритна ширина та висота автомобілів, м.

Розрахунок витрати палива.

Зазвичай витрату палива визначають як технічну характеристику автомобіля (за експериментальною витратою), що не зовсім правильно, оскільки ця величина вимірюється на рівному майданчику асфальтобетонної дороги під час руху автомобіля з постійною швидкістю.

Насправді витрата пального в конкретних умовах руху (підйоми, спуски тощо) буде істотно відрізнятись від рекомендованої. Для більш точних розрахунків токсичних викидів величину витрати палива (Q_{II} , л/км) з урахуванням наявних дорожніх умов можна визначити за формулою Ю. Д. Сілукова:

$$Q_{II} = a \frac{F_k \cdot l \cdot n}{4200 \eta_d \eta_{TP} H \rho}, \quad (6)$$

де a – безрозмірний коефіцієнт ($a = 0,19$); F_k – дотична сила тяги, що реалізується на основних колесах автомобіля, Н; l – довжина

ділянки дороги (підйоми, спуски, майданчики), м; n – коефіцієнт, що враховує режим роботи двигуна (на підйомі – $n = 1,3$, на майданчику – $n = 1,2$, на спуску – $n = 1,5$); η_d – ККД двигуна ($0,27\text{--}0,43$); η_{TP} – ККД трансмісії ($0,85$); H – питома теплотворна здатність палива, ккал/кг (для бензину – 10500 ккал/кг, для дизельного палива – 10300 ккал/кг); ρ – щільність палива, кг/л (для бензину – $\rho = 0,74$ кг/л, для дизельного палива – $\rho = 0,875$ кг/л).

Розрахунок інтенсивності викидів.

Значення інтенсивності викидів для кожної забруднювальної речовини визначається за формулами

$$q_k = 2,06 \cdot 10^{-4} Q_{II} N_k K_k m, \quad (7)$$

$$q_d = 2,06 \cdot 10^{-4} Q_{II} N_d K_d m, \quad (8)$$

де q_k , q_d – інтенсивність викидів забруднювальної речовини для карбюраторних і дизельних двигунів, г/м³; Q_{II} – витрата палива одним автомобілем, л/км; N_k , N_d – інтенсивність руху автомобілів з карбюраторними та дизельними двигунами, авт./ч; K_k , K_d – коефіцієнти, що враховують тип двигуна та компонент забруднення (табл. 3); m – коефіцієнт, що враховує дорожні та автотранспортні умови (згідно з графіком (рис. 2)) залежно від швидкості транспортного потоку.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів K_k і K_d

Вид викидів (забруднювальна речовина)	Значення коефіцієнтів для	
	для карбюраторного двигуна, K_k	для дизельного двигуна, K_d
Оксиди азоту	0,06	0,015

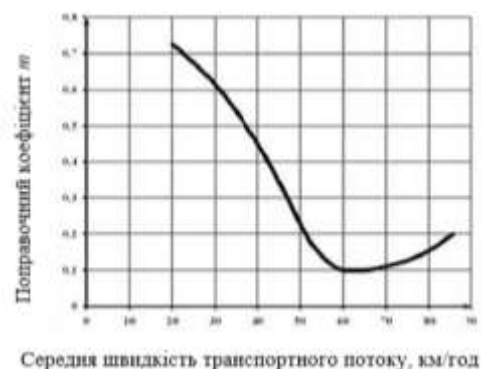


Рис. 2. Залежність коефіцієнта, що враховує дорожньо-транспортні умови руху від середньої швидкості транспортного потоку

Таблиця 4 – Значення стандартного гаусівського відхилення в разі віддалення від краю проїжджої частини

Сонячна радіація	Значення стандартного гаусівського відхилення σ на різному віддаленні (м) від кромки проїжджої частини, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
Сильна	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Слабка	1	2	4	6	8	10	14	18	22

Значення стандартного гаусівського відхилення в разі віддалення від краю проїжджої частини вибираємо за даними табл. 4.

Інтенсивність сонячної радіації корелює з погодними умовами: висока інтенсивність спостерігається за ясної і сонячної погоди, а низька – під час похмурих або дощових днів. Значення радіації має бути визначене для розрахункового періоду, що відповідає найбільшій інтенсивності транспортних перевезень зазвичай у літній сезон. Рівень сонячної радіації визначається відповідно до погодних умов, що домінують у розрахунковому місяці. Отримані результати розрахунків порівнюються з гранично допустимою концентрацією (ГДК) токсичного відпрацьованого газу (NO_2) від двигунів внутрішнього згоряння в атмосфері населених пунктів, інформація про які наведена в табл. 5.

Таблиця 5 – Середньодобова ГДК діоксиду азоту в повітрі населених пунктів

Вид речовини	Клас небезпеки	Середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК _{сд}), мг/м^3
Оксиди азоту (за NO_2)	2	0,04

Визначено концентрації оксидів азоту в приземному шарі атмосферного повітря на відстані 10, 20 40, 60, 80, 100 м від дороги під час руху змішаного транспортного потоку з середньою швидкістю 13 м/с на підйомі довжиною 1000 м і майданчику довжиною 640 м з позовжнім ухилом дороги – 0,07 для вулиці Журавлівський узвіз. Схему досліджуваної ділянки наведено на рис. 3.

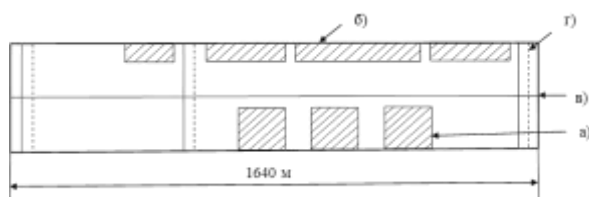


Рис. 3. Схема приміагстральної території вулиці Журавлівський узвіз: а – багатоповерхові будівлі; б – малоповерхові будівлі; в – проїжджа частина; г – регульовані перехрестя

Результати розрахунків наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Результати розрахунків концентрації NO_2 в приземному шарі атмосферного повітря

Відстань від дороги, м	Результати розрахунку концентрації NO_2 в приземному шарі атмосферного повітря на різних ділянках дороги, мг/м^3	
	підйом	майданчик
10	0,139	0,020
20	0,068	0,009
40	0,045	0,006
60	0,034	0,005
80	0,026	0,003
100	0,021	0,002

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що за заданих умов під час руху автотранспорту на підйомі концентрація оксидів азоту в приземному шарі повітря на відстані 10 м від дороги перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК_{сд}) у 3,5 раза, на відстані 20 м – у 1,7 раза, а на відстані 40 м – у 1,12 раза. За таких рівнів концентрації існує ризик негативного впливу на здоров'я людей. Зі збільшенням відстані від дороги концентрація NO_2 в приземному шарі повітря знижується до рівнів, що відповідають вимогам санітарно-гігієнічного нормування. У випадку руху автотранспорту на майданчику концентрація NO_2 на відстані 10 м від дороги не перевищує ГДК_{сд}. Особливо вразливими до впливу діоксиду азоту є особи, які перебувають тривалий час за кермом (водії таксі та комунального транспорту, далекобійники, кур'єри, експедитори).

Згідно зі статистичними даними, спостерігається висока концентрація дорожньо-транспортних пригод на території міських агломерацій. На основі проведених досліджень була розроблена методологія та методика вивчення медико-біологічних аспектів автотранспорту. Визначено основні напрями досліджень та отримано ключові дані, які дозволяють сформулювати ефективні стратегії для підвищення безпеки дорожнього руху

й охорони здоров'я водіїв і пасажирів. Досягнення цієї мети забезпечується системним аналізом впливу несприятливих зовнішніх факторів на організм водіїв та ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод (див. рис. 4) [19].



Рис. 4. Вплив несприятливих факторів зовнішнього середовища на організм водіїв

Проблема зменшення забруднення повітря в зоні дихання водія залишається актуальною. Навіть незначні концентрації токсичних речовин, зокрема в поєднанні з іншими факторами виробничого середовища, можуть мати негативний вплив на здоров'я водіїв і знижувати рівень безпеки дорожнього руху.

Важливість впливу токсичних речовин на організм водія обумовлює необхідність реалізації заходів, спрямованих на зменшення їхніх концентрацій у повітрі салону автомобіля. Ці заходи можна поділити на три основні категорії:

- 1) запобігання потраплянню токсичних речовин до салону автомобіля з усіх можливих джерел;
- 2) ефективне видалення токсичних речовин з кабіни автомобіля;
- 3) зменшення забруднення токсичними речовинами в придорожній зоні.

Для реалізації заходів перших двох категорій можливе використання салонних фільтрів для очищення повітря від пилу та шкідливих речовин, що потрапляють крізь повітропроводи вентиляційної системи. Фільтри здійснюють критично важливу функцію захисту дихальних шляхів водіїв і пасажирів, які перебувають у салоні автомобіля.

Салонні фільтри поділяються на дві основні групи: звичайні протипилові та вугільні фільтри. Звичайний «пиловий» фільтр має прямокутну форму та складається з целюлозного або синтетичного волокна. Його щіль-

ність значно нижча за паперові фільтри. Пиловий фільтр ефективно затримує пил, сажу, частинки гуми, пилок та важкі леткі сполуки [20]. Додаткове оброблення хлором дозволяє боротися з певними бактеріями. Мінімальний розмір часток, які можуть осідати на фільтрі, становить 1 мікрон. Синтетичне волокно створює електростатичну напругу, що сприяє притягуванню дрібних частинок. Схема пристрою протипилового (звичайного) фільтра наведена на рис. 5 [21].

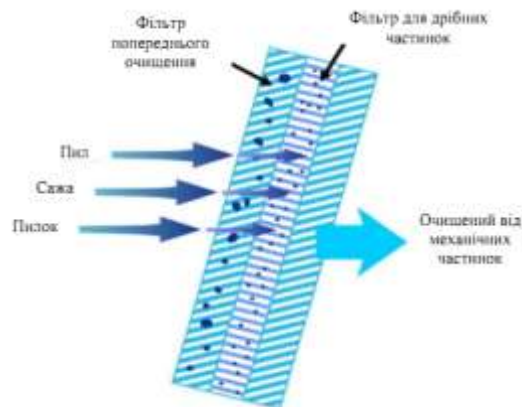


Рис. 5. Схема протипилового (звичайного) фільтра

Переваги протипилового (звичайного) фільтра:

- усунення запотівання скла;
- можливість фільтрувати велике та дрібне сміття, наприклад пилок, спори та бактерії;
- доступна ціна.

Протипилові фільтри мають такі недоліки:

- не можуть затримувати шкідливі токсичні речовини;
- не можуть абсорбувати сторонні запахи.

Для зменшення концентрації діоксиду азоту в салоні автомобіля необхідно застосовувати вугільні фільтри. Вони виготовлені з синтетичного волокна, яке здатне утримувати дрібні частинки (до 1 мкм) завдяки електростатичній напрузі. На відміну від звичайних фільтрів, він має три шари: 1) шар грубого очищення – перший шар, що затримує крупнодисперсні частинки та забруднення, які містяться в повітрі; 2) мікрОВОлокно – другий шар, який ефективно утримує дрібні частинки, небезпечні для дихальної системи; 3) активоване вугілля – третій шар, що має високу абсорбційну здатність, дозволяє усувати різноманітні неприємні запахи та дрібнодисперсні суспензії таких небезпечних і токсичних речовин, як оксиди азоту та сірки,

а також сполуки бензолу, фенолу тощо. Конструктивні особливості вугільного фільтра наведено на рис. 6 [21].

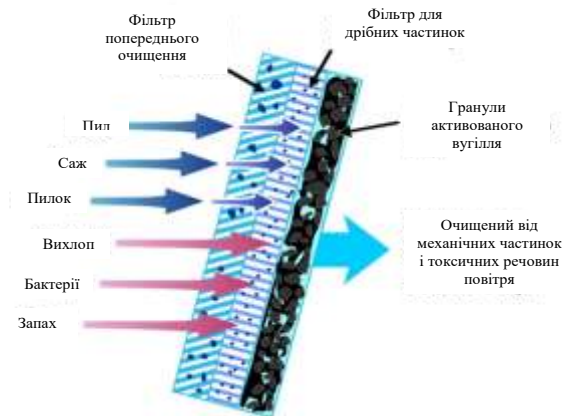


Рис. 6 – Схема вугільного фільтра

Під час тестування вугільного фільтра було визначено, що якісний фільтр здатний блокувати до 92 % діоксиду азоту, який потрапляє до салону автомобіля. Проте такі фільтри не завжди належать до стандартної комплектації нових автомобілів [13].

Найкращі результати щодо зменшення концентрації діоксиду азоту в салоні демонструють антиалергенні фільтри та фільтри з активованим вугіллем (рис. 7). Ефективність фільтрації вугільного фільтра забезпечується наявністю додаткового шару активованого вугілля, виготовленого з обвугленої та подрібненої шкаралупи кокосових горіхів, що має високі абсорбційні властивості. Площа пір одного грама активованого вугілля перевищує 1000 м², що сприяє ефективному очищенню повітря від неприємних запахів і шкідливих газів [17].

Антиалергенний салонний фільтр є найефективнішим засобом захисту салону автомобіля не лише від діоксиду азоту, а й від дрібного пилу та пилку. Ефективність його фільтрації зумовлена багатошаровою структурою. Діоксид азоту та неприємні запахи блокуються шаром активованого вугілля, тоді як шар мікрофібри затримує 99 % дрібнодисперсного пилу. Алергени нейтралізуються спеціальним шаром з молекулярною сітчастою структурою, що відокремлює їх на молекулярному рівні, роблячи нешкідливими. Іони срібла, наявні в цьому шарі, потрапляють до бактерій і знищують їх. Основними перевагами салонних фільтрів є такі:

- здатність блокувати 99 % всіх частинок розміром до 2,5 мікрон;
- усунення запотівання скла;

- можливість самостійної заміни фільтра будь-яким автовласником;
- захист салону від діоксиду азоту, пилку рослин, пилу, неприємних запахів і бактерій.

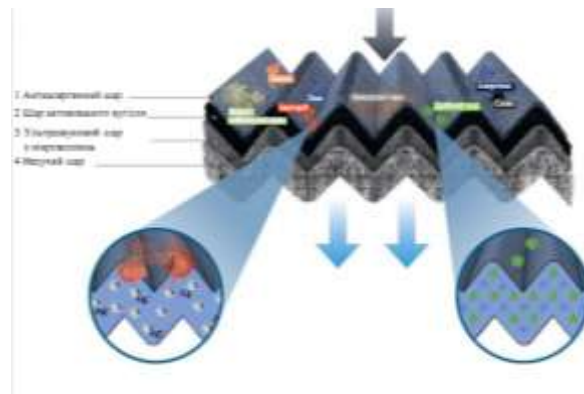


Рис. 7. Будова антиалергенного салонного фільтра

Аналіз наукових джерел вказує на те, що впровадження вугільних фільтрів майже запобігає проникненню діоксиду азоту й інших компонентів вихлопних газів до салону автомобіля, що позитивно впливає на здоров'я водіїв і пасажирів, а також підвищує безпеку дорожнього руху.

Для зменшення рівня забруднення токсичними речовинами в зоні дорожнього руху пропонується облаштування на підйомі бордюрів з обох боків проїжджої частини вулиці Журавлівський узвіз з такими геометричними параметрами: довжина – 300 мм, ширина – 120 мм, висота – 350 мм.



Рис. 8. Ділянка вулиці та місце розміщення дорожніх бордюрів

Вимоги до дорожнього бордюру регламентуються ДСТУ Б EN 1340:2016 [22]. Дорожні бордюри використовуються для облаштування 90 % міських доріг і дворів. Виробництво дорожніх бордюрів здійснюється методом вібропресування з використанням

вологого складу, що складається з цементу, крупнозернистого піску та щебеню. Ми пропонуємо впровадження фотокаталітичного бетону, який виготовляється за технологією, що передбачає додавання наночастинок каталізатора – діоксиду титану (TiO_2) – до рецептури бетону.

Діоксид титану активує хімічні реакції під впливом сонячного світла, що призводить до фотокаталізу [23]. TiO_2 демонструє високу ефективність у зменшенні рівня таких забруднювальних речовин, як оксиди азоту (NO_x), ароматичні сполуки, аміак та альдегіди. Він здатний адсорбувати NO_x на своїй поверхні, перетворюючи їх на нешкідливі іони та фіксуючи у формі солей (нітратів).

Ці сполуки легко усуваються з поверхні за допомогою опадів або миття (рис. 8). Крім того, додавання діоксиду титану до цементу покращує механічні властивості отриманого бетону. Технологія виготовлення такого бетону не відрізняється від традиційної і не потребує додаткового обладнання.

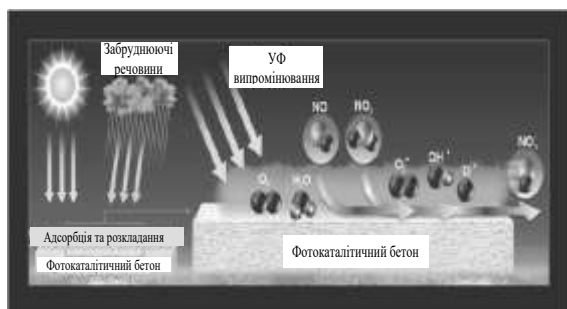


Рис. 8. Механізм фотокаталітичної деградації

Крім самоочищення через фотокаталіз, бетон також підтримує свою білосніжність завдяки ще одній корисній властивості – самоомиванню. Це явище зумовлене змінами кута змочування матеріалу під впливом сонячного світла. Кут змочування визначає кут між напрямком падіння краплі води та поверхнею, на яку вона потрапляє, і впливає на здатність твердої поверхні відштовхувати вологу.

Для фотокаталітичного бетону кут змочування варіюється приблизно від 80 градусів до 0 градусів і навпаки протягом кількох днів. Це означає, що вода то рівномірно розподіляється вздовж поверхні, то збирається в краплі, які зриваються та видаляють частинки забруднень (рис. 9) [24].

Проведені дослідження продемонстрували значний внесок інноваційних матеріалів у поліпшення якості повітря, зокрема спосо-

бом зниження концентрації оксидів азоту до 60 % в певних кліматичних умовах [24].

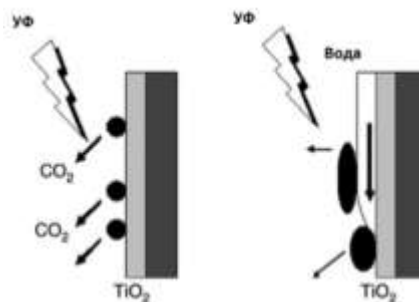


Рис. 9. Схема процесу видалення забруднень на покриттях, що самоочищаються

Ці матеріали можуть стати новим етапом у наукових роботах, спрямованих на зменшення забруднення повітря та впровадження екологічно чистих рішень з огляду на результати, які визначають переваги використання діоксиду титану в бетонних покриттях.

Висновки

Під час аналізу впливу автомобільного транспорту на екологічний стан локальної території було доведено, що центр міста Харкова визначається поганим провітрюванням, високою щільністю забудови та розвинутою дорожньою мережею, що призводить до значного навантаження, як порівняти з периферійними районами. Розрахунки демонструють, що навіть на відстані 10 метрів від проїжджої частини концентрація оксидів азоту в приземному шарі повітря перевищує середньодобову гранично допустиму концентрацію у 3,5 раза. Така концентрація становить загрозу для здоров'я людей, які перебувають у транспортних засобах або поблизу доріг.

Для зменшення рівня негативного впливу зовнішнього середовища на організм водіїв та зниження ймовірності дорожньо-транспортних пригод пропонується облаштування бордюрів, виготовлених з домішкою діоксиду титану, що здатна нейтралізувати оксиди азоту на прилеглій території. Крім того, для індивідуального захисту водіїв і пасажирів рекомендується впровадження вугільних фільтрів у системах вентиляції автомобілів і автобусів для очищення повітря від забруднювальних речовин у салонах.

Література

1. European Commission (EC). Transport in the European Union: Current Trends and Issues.

- Available online. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>
2. Levels of ambient air pollution according to mode of transport: A systematic review / M. Sepeda et al. *Lancet Public Health* 2017. 2. 23–34.
 3. Impact of time–activity patterns on personal exposure to black carbon / E. Dons et al. *Atmos. Environ.* 2011. 45. 3594–3602.
 4. Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe – The ESCAPE project / R. Beelen et al. *Atmos. Environ.* 2013. 72. 10–23.
 5. The main conclusions about the medical aspects of air pollution: The projects REVIHAAP and HRAPIE WHO/EC / M. E. Heroux et al. *Gig. Sanit.* 2013. 6. 9–14.
 6. Chronic exposure to inhaled, traffic-related nitrogen dioxide and a blunted cortisol response in adolescents / S. E. Wing et al. *Environ. Res.* 2018. 163. 201–207.
 7. Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis / G. B. Hamra et al. *Environ. Health Perspect.* 2015. 123. 1107–1112.
 8. WHO. *WHO Expert Consultation: Available Evidence for the Future Update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs)*; Meeting Report; WHO: Bonn, Germany, 2015.
 9. Rapid increases in nitrogen oxides are associated with acute myocardial infarction: A case-crossover study / M. Rasche et al. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2018. 25. 1707–1716.
 10. Traffic-related air pollution exposure over a 5-year period is associated with increased risk of asthma and poor lung function in middle age / G. Bowatte et al. *Eur. Respir. J.* 2017. 50.
 11. Association between air pollutants and development of chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis / M. Y. Wu et al. *Sci. Total Environ.* 2020. 706. 135–522.
 12. Association of Childhood Exposure to Nitrogen Dioxide and Polygenic Risk Score for Schizophrenia With the Risk of Developing Schizophrenia / H. T. Horsdal *JAMA Netw. Open* 2019. 2. 191–401.
 13. Air pollution exposure prediction approaches used in air pollution epidemiology studies / H. Özkaynak et al. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2013. 23. 566–572.
 14. Comparison of exposure estimation methods for air pollutants: Ambient monitoring data and regional air quality simulation / M. A. Bravo et al. *Environ. Res.* 2012. 116. 1–10.
 15. Karanasiou A, Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities – recommendations and policy implications / A. Karanasiou et al. *Sci Total Environ.* 2014. 490. 785–971.
 16. McNabola A., Broderick B. M., Gill L. W. Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: personal exposure and uptake. *Atmos Environ.* 2008. 42. 6496–512.
 17. Водії авто частіше страждають від діоксиду азоту, ніж пішоходи. URL: <https://www.autocentre.ua/news/naskolko-opasny-vyhlopnye-gazy-ot-avtomobilej-608046.html> (дата звернення: 18.04.2024p)
 18. Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas / C. Borrego et al. *Atmos. Environ.* 2006. 40. 7205–7214.
 19. Нерубленко Д. С., Горенко Ю. В., Лежнева О. І. Оцінка функціонального стану водія під впливом забруднюючих речовин відпрацьованих газів ДВЗ: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки», 25 жовтня 2019, Харків. С. 166–169.
 20. Протипиловий (антиалергенний фільтр). URL: <http://volvoclub.biz/vidy-salonyh-filtrov-i-ih-preimushhestva/> (дата звернення: 19.04.2024)
 21. Види салонних фільтрів. URL: <https://volvoclub.biz/vidy-salonyh-filtrov-i-ih-preimushhestva/> (дата звернення: 19.04.2024)
 22. ДСТУ Б EN 1340:2016. Бордюри бетонні. Вимоги і методи випробувань (EN 1340:2003, IDT + EN 1340:2003/AC:2006, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64346 (дата звернення: 20.04.2024).
 23. Спосіб виготовлення фотокаталітичного бетону для дорожніх бордюрів: пат. 153532 Україна: МПК C04B 28/04 (2006.01; заявл. 10.10.2022; опубл. 19.07.2023, Бюл. № 29. 5 с.
 24. Discolouration on TiO₂ in the Cement Environment: A Look at Fundamental Aspects of the Self-cleaning Effect in Concretes / A. Folli et al. *J. Adv. Oxid. Technol.* 2009. Vol. 12. No. 1. P.126–133.
- ### References
1. European Commission (EC). Transport in the European Union: Current Trends and Issues. Available online: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>
 2. Sereda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C. M., Dhana, K., Bramer, W. M., Franco, O. H. (2017). Levels of ambient air pollution according to mode of transport: A systematic review. *Lancet Public Health*. 2. 23–34.
 3. Dons, E., Int Panis, L., van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., Wets, G. (2011). Impact of time–activity patterns on personal exposure to black carbon. *Atmos. Environ.* 45. 3594–3602.
 4. Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., Tsai, M. Y., Kunzli, N., Schikowski, T., Marcon, A. (2013). Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36

- study areas in Europe – The ESCAPE project. *Atmos. Environ.* 72. 10–23.
5. Heroux, M. E., Braubach, M., Korol, N., Krzyzanowski, M., Paunovic, E., Zastenskaya, I. (2013). The main conclusions about the medical aspects of air pollution: The projects REVIHAAP and HRAPIE WHO/EC. *Gig. Sanit.* 6. 9–14.
 6. Wing, S. E., Bandoli, G., Telesca, D., Su, J.G., Ritz, B. (2018). Chronic exposure to inhaled, traffic-related nitrogen dioxide and a blunted cortisol response in adolescents. *Environ. Res.* 163 201–207.
 7. Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., Loomis, D. (2015). Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ. Health Perspect.* 123. 1107–1112.
 8. WHO. *WHO Expert Consultation: Available Evidence for the Future Update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs)*; Meeting Report; WHO: Bonn, Germany, 2015.
 9. Rasche, M., Walther, M., Schiffner, R., Kroegel, N., Rupprecht, S., Schlattmann, P., Schulze, P. C., Franzke, P., Witte, O. W., Schwab, M. (2018). Rapid increases in nitrogen oxides are associated with acute myocardial infarction: A case-crossover study. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 25. 1707–1716.
 10. Bowatte, G., Erbas, B., Lodge, C. J., Knibbs, L. D., Gurrin, L. C., Marks, G. B., Thomas, P. S., Johns, D. P., Giles, G. G., Hui, J. (201). Traffic-related air pollution exposure over a 5-year period is associated with increased risk of asthma and poor lung function in middle age. *Eur. Respir. J.* 50.
 11. Wu, M. Y., Lo, W. C., Chao, C. T., Wu, M. S., Chiang, C. K. (2020). Association between air pollutants and development of chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 706. 135–522.
 12. Horsdal, H. T., Agerbo, E., McGrath, J. J., Vilhjálmsson, B. J., Antonsen, S., Closter, A. M., Timmermann, A., Grove, J., Mok, P. L. H., Webb, R. T. (2019). Association of Childhood Exposure to Nitrogen Dioxide and Polygenic Risk Score for Schizophrenia With the Risk of Developing Schizophrenia. *JAMA Netw. Open.* 2. 191–401.
 13. Özkaynak, H., Baxter, L. K., Dionisio, K. L., Burke, J. (2013). Air pollution exposure prediction approaches used in air pollution epidemiology studies. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 23. 566–572.
 14. Bravo, M. A., Fuentes, M., Zhang, Y., Burr, M. J., Bell, M. L. (2012). Comparison of exposure estimation methods for air pollutants: Ambient monitoring data and regional air quality simulation. *Environ. Res.* 116.1–10.
 15. Karanasiou, A., Viana, M., Querol, X., Moreno, T., Leeuw, F. (2014). Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities – recommendations and policy implications. *Sci Total Environ.* 490. 785–971.
 16. McNabola, A., Broderick, B. M., Gill, L. W. (2008). Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: personal exposure and uptake. *Atmos Environ.* 42. 6496–512.
 17. Car drivers suffer from nitrogen dioxide more often than pedestrians URL: <https://www.auto-centre.ua/news/naskolko-opasny-vyhlopnye-gazy-ot-avtomobilej608046.html> (date of application: 18.04.2024 p).
 18. Borrego, C., TCHEPEL, O., COSTA, A., MARTINS, H., Ferreira, J., MIRANDA, A. (2006). Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas. *Atmos. Environ.* 40. 7205–7214.
 19. Nerublenko, D. S., Gorenko, Yu. V., Lezhneva, O. I. (2019). Assessment of the functional state of the driver under the influence of pollutants from the exhaust gases of internal combustion engines. Materials of the V International Scientific and Practical Conference of Students, Master's and Postgraduate Students "Industry Problems of Environmental Safety", October 25. Kharkiv. P. 166–169.
 20. Anti-dust (anti-allergenic filter) URL: <http://volvoclub.biz/vidy-salonnyh-filtrov-i-ih-preimushhestva/> (date of application: 19.04.2024).
 21. Types of cabin filters URL: <https://volvoclub.biz/vidy-salonnyh-filtrov-i-ih-preimushhestva/> (date of application: 19.04.2024).
 22. DSTU B EN 1340:2016 Concrete curbs. Requirements and test methods (EN 1340:2003, IDT + EN 1340:2003/AC:2006, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64346 (date of application: 20.04.2024).
 23. Method of production of photocatalytic concrete for road curbs: pat. 153532 Ukraine, IPC C04B 28/04 (2006.01); statement 10.10.2022; published 19.07.2023, Bul. No. 29. 5 p
 24. Folli, A., Rhodamine, B., Jakobsen, U. H., Guerini, G. L., Macphee D. E. (2009). Discolouration on TiO₂ in the Cement Environment: A Look at Fundamental Aspects of the Self-cleaning Effect in Concretes. Vol. 12. No. 1. P126–133.
- Лежнева Олена Іванівна**, к.т.н., доц., доц. каф. екології, legnevaelelena@gmail.com
тел. (057) 707-37-41,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,
Барун Марина Вікторівна, к.е.н., доц., доц. каф. екології, masha.barun@gmail.com
тел. +380509739558,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,
Коверсун Світлана Олександрівна, ст. викл. каф. екології, svetlanakoversun@gmail.com
тел. +380977107683,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Neutralization of nitrogen oxides on the near-highway territory in urban areas

Abstract. The article is devoted to the assessment of the ingredient pollution of atmospheric air with nitrogen oxides from the operation of internal combustion engines when traffic flows along the streets of the city of Kharkiv. **Goal.** The purpose of the study is to assess the emissions of nitrogen oxides on a section of a street in the city of Kharkiv, which is being investigated, and the development of measures to reduce ingredient pollution of the road area and close to the road, as well as in the interior of vehicles. This will ensure a decrease in the influence of unfavorable environmental factors on the body of drivers and passengers of cars and reduce the likelihood of road accidents. **Methodology.** To determine the concentration of nitrogen oxides in the surface layer of atmospheric air at different distances from the road, a model of the Gaussian distribution of impurities in the atmosphere was used. **Results.** According to the results of calculations, it was found that on the rise when traffic flows at a distance of 10 m from the carriageway, the concentration of nitrogen oxides exceeds the norm by 3.5 times. At such a concentration, there is a danger of harm to the health of people who are in vehicles or close to the road. **Originality.** To reduce the adverse environmental factors on the body of car drivers and the likelihood of road accidents, the placement of curbs is proposed. They are made with the addition of titanium dioxide, which will neutralize nitrogen

oxides in the main area. For the individual protection of drivers and passengers of vehicles, it is proposed to widely use carbon filters in the ventilation system to neutralize pollutants in the passenger compartment of cars and buses. **Practical value.** Environmental protection measures that have been developed will reduce the impact of unfavorable environmental factors on the health of the population.

Keywords: traffic flow, atmospheric air, nitrogen oxides, pollution, car interior, titanium dioxide.

Lezhneva Elena, PhD, Associate Professor, Department of Ecology, legnevaelena@gmail.com tel. (057) 707-37-41, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Barun Marina, PhD, Associate Professor of the Department of Ecology, masha.barun@gmail.com, tel. +380509739558, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho str., Kharkiv, 61002, Ukraine,

Koversun Svitlana, Senior Lecturer of the Department of Ecology, svetlanakoversun@gmail.com tel. +380977107683,

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
