



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



# **QUALIFICATION WORK**

**holder of the second (master's) level of higher education  
group DE-61-22 Yulia Volodymyrivna Gorenko**

## **"STUDY OF NITROGEN OXIDE EMISSIONS BY TRANSPORT FLOWS IN URBANIZED AREAS"**

**Sc. Advisor, Cand. of Tech. Sc., Assoc. Prof.**

**Olena LEZHNEVA**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти  
групи ДЕ-61-22 Горенко Юлії Володимирівни**

## **«ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ»**

**Керівник роботи, канд. техн. наук, доцент**

**Олена ЛЕЖНЕВА**

## **МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**МЕТА РОБОТИ** – дослідження викидів оксидів азоту транспортними потоками на урбанізованих територіях.

### **ОСНОВНІ ЗАДАЧІ РОБОТИ:**

- 1.** Аналіз впливу автотранспорту на атмосферне повітря міста.
- 2.** Розрахунок викидів оксидів азоту автомобільним транспортом на досліджуваній ділянці вулиці.
- 3.** Розробка природоохоронних заходів щодо покращення екологічних показників інфраструктури автомобільного транспорту.
- 4.** Розрахунок собівартості дорожніх бордюрів на досліджуваній ділянці вулиці.

# СКЛАДОВІ КОМПОНЕНТИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Компоненти	Об'ємна доля, %		Характеристика
	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни	
Азот (N <sub>2</sub> )	74,0–77,0	76,0–78,0	нетоксичний
Кисень (O <sub>2</sub> )	0,3–8,0	2,0–18,0	нетоксичний
Пари води (H <sub>2</sub> O)	3,0–5,5	0,5–4,0	нетоксичні
Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> )	5,0–12,0	1,0–10,0	нетоксичний
Оксид вуглецю (CO)	0,1–10,0	0,01–5,0	токсичний
Оксиди азоту (NO <sub>x</sub> )	0,1–0,5	0,001–0,4	токсичні
Альдегіди (R <sub>x</sub> CHO)	0–0,2	0,01–0,009	токсичні
Вуглеводні (C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )	0,2–3,0	0,009–0,5	токсичні
Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> )	0–0,002	0,0–0,03	токсичний
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0–0,04	0,01–1,1	токсична
Бензопірен, г/м <sup>3</sup>	0,01–0,02	до 0,01	канцероген

# АНАЛІЗ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ХАРКОВА

## Результати спостережень за забрудненням атмосферного повітря м. Харкова на стаціонарних постах спостереження

№ Пункту спостереження	Адреса	Індекс забруднення	
		липень 2023 року	серпень 2023 року
№ 9	район вул. 23 Серпня, 34	2,57	3,54
№ 11	Центральний район, пров. Театральний, 6	2,15	2,72
№ 12	607 м/р, вул. Гв. Широнінців, 44	1,84	2,43
№ 13	район Іванівки, вул. Пашенківська, 4	3,37	<b>4,12</b>
№ 16	район Холодної гори, вул. Холодногірська, 4	2,58	3,21
№ 17	район Сокольників, перехрестя вул. Дерев'яно та Белгородського шосе	2,28	2,76
№ 18	район пр. Героїв Сталінграду, 3	2,69	3,21
№ 19	район Салтівське шосе, 120	2,24	2,14
№ 21	район Баварії, вул. Врубеля, 53	1,33	<b>1,43</b>
№ 24	район 15 міської лікарні, вул. Академіка Павлова, 46	2,00	2,2

Показники	2019 рік	2020 рік	2021 рік
Викиди від стаціонарних джерел, тис. т.	106,5	94,1	73,4
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у розрахунку на км <sup>2</sup> , т.	3,4	3,0	2,3
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у розрахунку на одну особу, кг.	39,9	35,6	28,04
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення, тис. т.	100,216	113,616	–

## Динаміка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

# ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ



Вид зверху досліджуваної ділянки вулиці

Ділянка	Показник	Характеристика
Вулиця Журавлівський узвіз	Протяжність дороги, м	1640
	Покриття	асфальтобетон
	Поздовжній ухил, ‰	7
	Кількість смуг	4
	Відстань до забудови, м	30

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	<b>3685</b>
	12.00 – 13.00 год.	3112	136	106	31	15	3400
	18.00 – 19.00 год.	2848	86	30	10	18	2992
	середнє значення	3105	133	75	26	19	3359

Результати спостережень за інтенсивністю й складом транспортного потоку в весняний період 2021 року

Назва вулиці		Середня інтенсивність руху, авт./год.					
вул. Журавлівський узвіз		легкові	легкі вантажні	середні вантажні	важкі вантажні	автобуси	усього
Час дослідження	8.00 – 9.00 год.	2640	144	63	36	5	<b>2888</b>
	12.00 – 13.00 год.	2040	108	96	24	5	2273
	18.00 – 19.00 год.	2520	96	48	12	5	2681
	середнє значення	2400	116	69	24	5	2614

Результати спостережень за інтенсивністю й складом транспортного потоку в осінній період 2023 року

# РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ДІОКСИДУ АЗОТУ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПРИ РУСІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Для визначення концентрації токсичної речовини оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) в приземному шарі атмосферного повітря на різній відстані від дороги було використано модель Гаусівського розподілу домішок в атмосфері. Визначення 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. Розрахунок проводився для легкових, легких вантажних, середніх вантажних і автобусів.

Концентрацію оксидів азоту в приземному шарі атмосферного повітря було визначено за формулою:

$$C = \frac{2q \cdot 10^3}{\sigma u \sin \varphi \sqrt{2\pi}} + F,$$

де:  $C$  – концентрація забруднюючої речовини в приземному шарі атмосферного повітря,  $\text{мг/м}^3$ ;

$q$  – інтенсивність викидів забруднюючої речовини автотранспортними засобами,  $\text{г/(м}^3 \cdot \text{с)}$ ;

$\sigma$  – стандартне відхилення Гаусівського розсіювання в вертикальному напрямку, м;

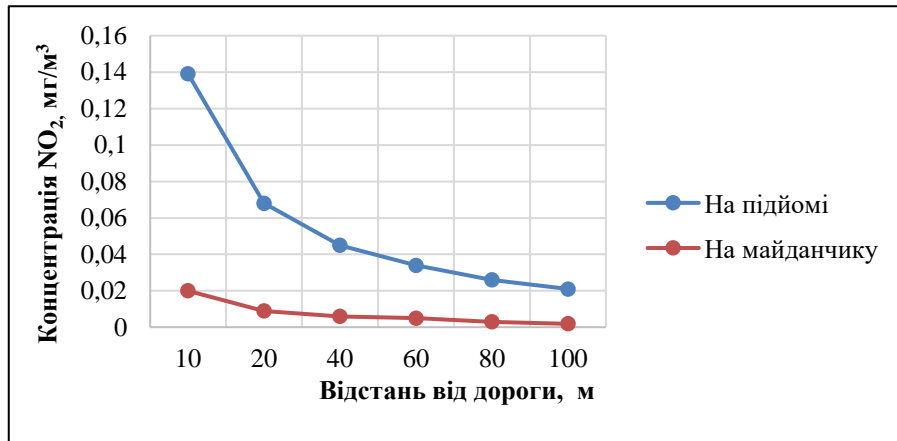
$\varphi$  – кут, що утворюється напрямком вітру до траси дороги, град.;

$u$  – швидкість вітру, що враховується при куті до дороги не менше  $30^\circ$ ;

$F$  – фонові концентрації забруднення повітря,  $\text{мг/м}^3$ .

# РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ (NO<sub>2</sub>)

Графік залежності концентрації NO<sub>2</sub> в приземному шарі атмосферного повітря від відстані до проїжджої частини на різних ділянках дороги



Відстань від дороги, м	Результати розрахунку концентрації NO <sub>2</sub> в приземному шарі атмосферного повітря на різних ділянках дороги, мг/м <sup>3</sup>	
	Підйом	Майданчик
10	<b>0,139</b>	0,020
20	<b>0,068</b>	0,009
40	0,045	0,006
60	0,034	0,005
80	0,026	0,003
100	0,021	0,002

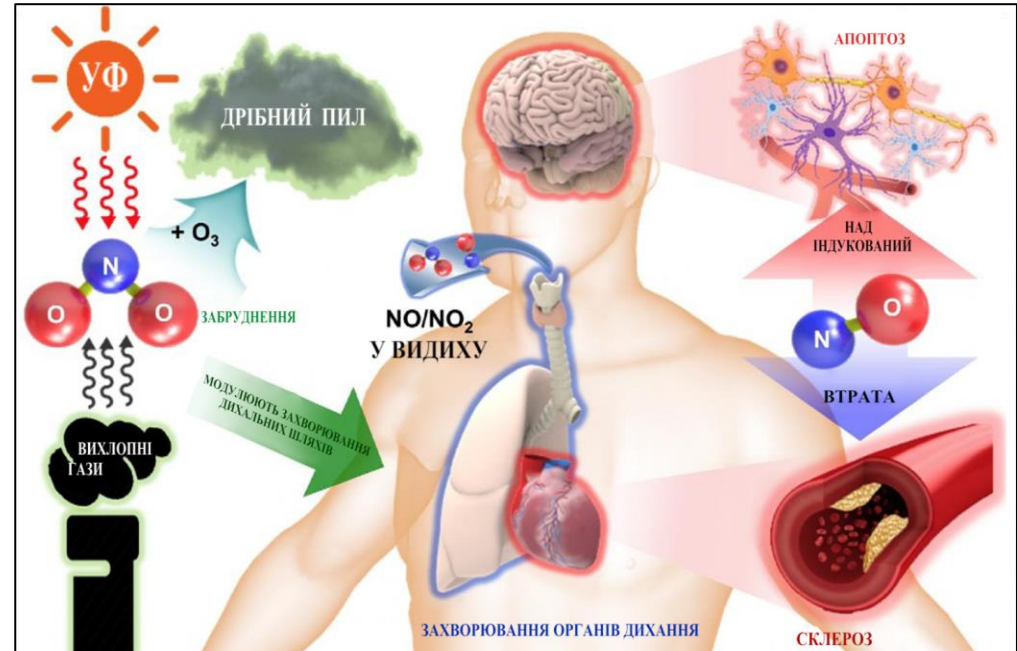
Аналіз отриманих даних показує, що в заданих умовах при русі автотранспорту на підйомі концентрація оксидів азоту в приземному шарі повітря на відстані 10 м від дороги перевищує ГДК<sub>сд</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) в 3,5 рази, на відстані 20 м – приблизно в 2 рази.



## ВПЛИВ ОКСИДІВ АЗОТУ НА ЗДОРОВ'Я ВОДІЇВ ТА ПАСАЖИРІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Діоксид азоту – дуже отруйний газ другого класу небезпеки, що вражає переважно органи дихання, очі, кровотворну та кровоносну системи. Він також є високоактивним канцерогеном і відповідальний за нещодавнє зростання захворюваності на рак. Це також одна з основних причин астми, алергії та частих респіраторних захворювань.

Люди, які проводять багато часу за кермом, такі як таксисти, водії вантажівок, кур'єри, експедитори та оператори громадського транспорту, особливо страждають від впливу діоксиду азоту. Діти, які є пасажирами транспортних засобів, також страждають від нього. Вони відчувають максимальний негативний вплив діоксиду азоту і швидко розвивають багато хронічних захворювань.



**Шкідливий вплив діоксиду азоту на здоров'я людини**

# РОЗРОБКА ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ

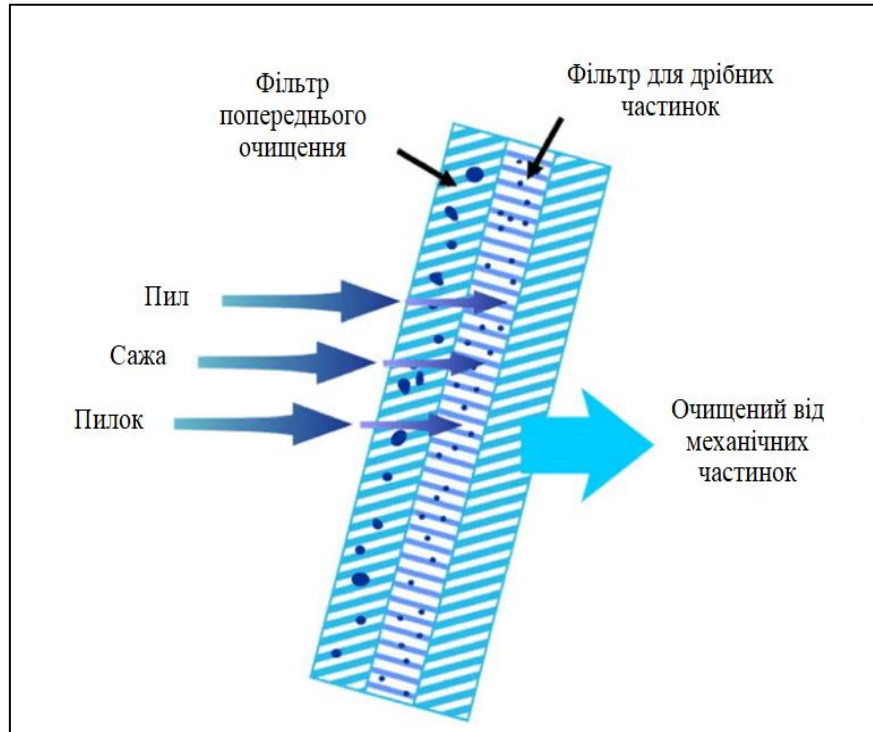


Схема протипилового (звичайного) фільтра

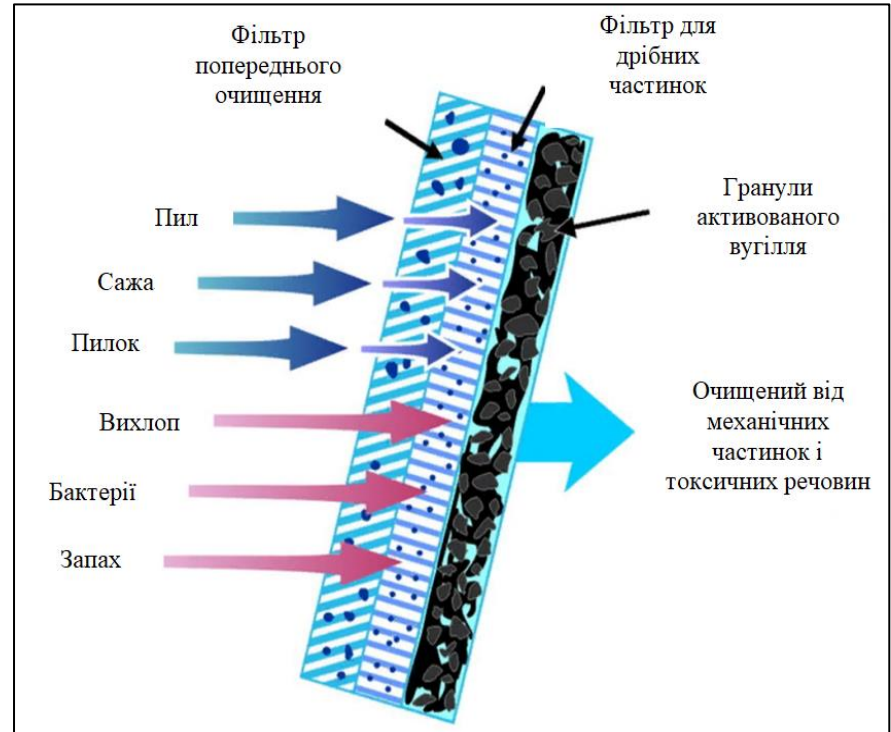
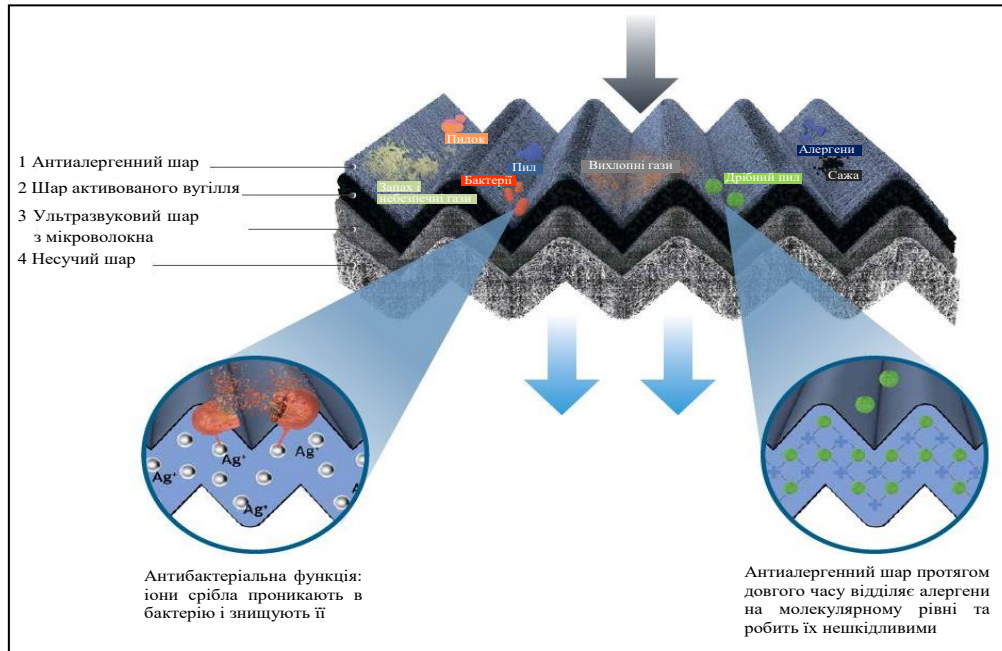


Схема вугільного фільтра

# АНТИАЛЕРГЕННИЙ ФІЛЬТР

Найкращі результати в боротьбі з діоксидом азоту в салоні авто забезпечують антиалергенні фільтри салону та фільтри з активованим вугіллем. Якість фільтрації вугільних фільтрів досягається завдяки додатковому шару активованого вугілля. Ефективність фільтрації обумовлена багатошаровою конструкцією.



Діоксид азоту та неприємні запахи блокуються шаром активованого вугілля. Шар мікрофібри затримує 99 % дрібного пилу. Алергени нейтралізуються шаром зі спеціальною структурою молекулярної решітки, яка відокремлює алергени на молекулярному рівні і робить їх нешкідливими. Іони срібла в цьому шарі проникають всередину бактерій і знищують їх.

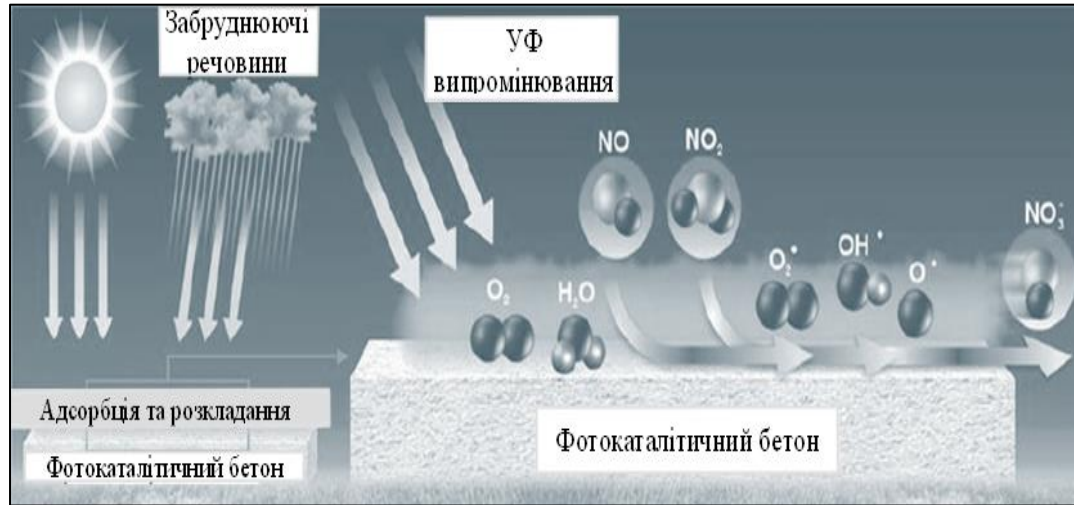
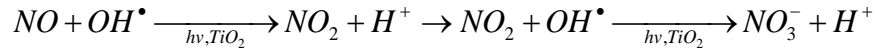
Основні переваги салонних фільтрів:

- фільтр здатний блокувати 99 % всіх дрібних частинок розміром до 2,5 мікрон;
- усувають запотівання скла;

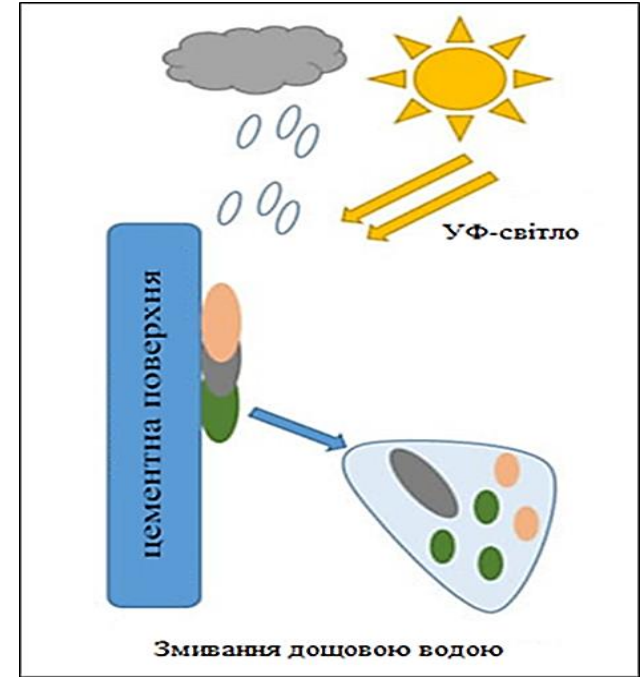
**Будова антиалергенного салонного фільтра**

# ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОКАТАЛІТИЧНОГО БЕТОНУ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КОЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ

Окислення NO і NO<sub>2</sub> спрощено можна надати такими рівняннями:



Механізм фотокаталітичної деградації

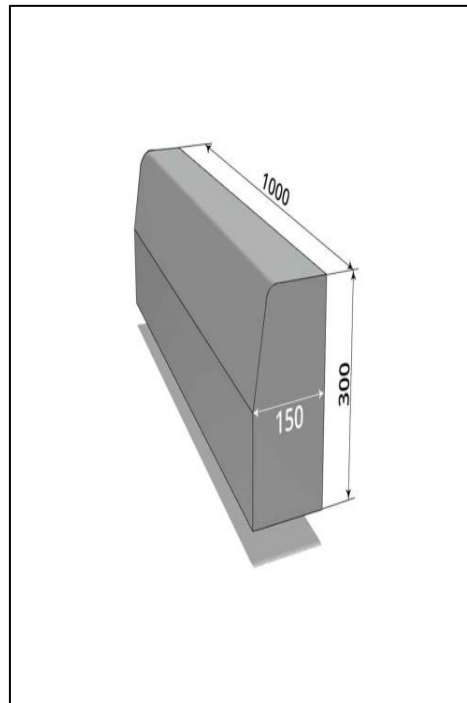


Схематичне зображення самоочищення цементних поверхонь, що містять наночастинки TiO<sub>2</sub>

# ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОКАТАЛІТИЧНОГО БЕТОНУ У ВИГОТОВЛЕННІ ДОРОЖНЬОГО БОРДЮРУ



Досліджувана ділянка вулиці  
(Журавлівський узвіз)

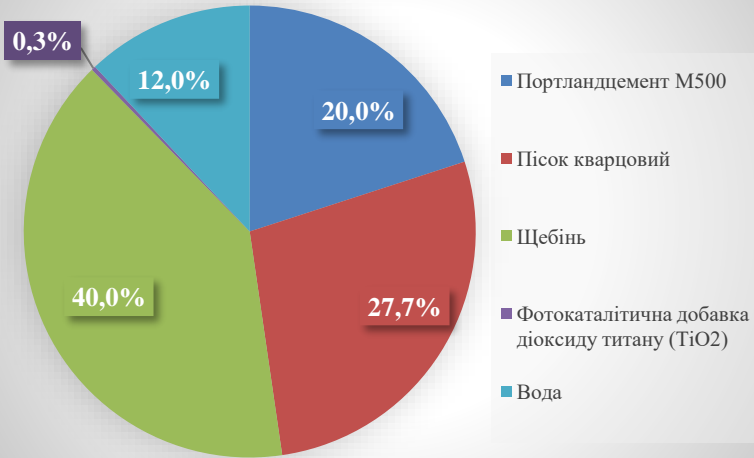


Схематичне зображення  
дорожнього бордюру



Бордюри на  
досліджуваній ділянці  
вулиці

## РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ДОРОЖНІХ БОРДЮРІВ



**Співвідношення компонентів, мас. % для виготовлення дорожнього бордюру з фотокаталітичного бетону**

Всього на досліджуваній ділянці вулиці приблизно 3118 м. п. бордюрів.

Вартість одного бордюру з демонтажем та установкою становитиме:

$$P_1 = 227 + 215 + 120 = 562 \text{ грн.}$$

Отже, вартість на досліджуваній ділянці вулиці для 3118 м. п. бордюрів складатиме:

$$P_{\text{заг.}} = 3118 \cdot 562 = 1\,752\,316 \text{ грн.}$$

## ВИСНОВКИ

1. В ході аналізу впливу автотранспортного комплексу на екологічний стан міста визначили, що центр м. Харкова погано провітрюваний, з дефіцитом рекреаційних зон, щільною забудовою й частою мережею доріг, випробовує більше навантаження, ніж периферійні райони міста, де забруднення викидами автотранспорту розподілене «лінійно» уздовж 2-3 основних автодоріг.

2. Аналіз отриманих даних показав, що в заданих умовах при русі автотранспорту на підйомі концентрація оксидів азоту в приземному шарі повітря на відстані 10 м від дороги перевищує ГДК<sub>СД</sub> (0,04 мг/м<sup>3</sup>) в 3,5 рази. При такій концентрації існує небезпека шкоди здоров'ю людей. При збільшенні відстані від дороги концентрація NO<sub>2</sub> в приземному шарі повітря стає менше ГДК<sub>СД</sub>, що відповідає вимогам санітарно-гігієнічного нормування. При русі автотранспорту на майданчику концентрація NO<sub>2</sub> в приземному шарі атмосферного повітря на відстані 10 м від дороги не перевищує ГДК<sub>СД</sub>, а при більшій відстані від дороги стає ще менше, що також прийнятно для навколишнього середовища.

3. Запропоновано використання бордюрів, які виготовлені з додаванням діоксиду титану, а для індивідуального захисту водія та пасажирів транспортних засобів пропонуються вугільні фільтри в системі вентиляції салону автомобіля.

4. Розраховано собівартість дорожніх бордюрів на досліджуваній ділянці вулиці. Для благоустрою досліджуваної ділянки необхідно приблизно 3118 погонних метрів бордюрів, вартість одного бордюру з демонтажем та установкою становитиме 562 грн., отже загальні витрати складатимуть приблизно 1,8 млн. грн.