

© Т.І. Русакова¹, Ю.В. Войтенко¹

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

ПРОГНОЗНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТОМ

© T. Rusakova¹, Y. Voitenko¹

¹ Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

PREDICTIVE MODEL FOR ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION BY CAR TRANSPORT

Мета. Дослідити динаміку зміни обсягів забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. Побудувати прогнозну модель, що пов'язує обсяги забруднення атмосферного повітря з низкою факторів, що впливають на їх рівень.

Методика дослідження базується на результатах аналізу кореляційних зв'язків між факторними змінними та результуючою змінною для виявлення ступеня їх залежності та взаємовпливу, а також міри, в якій регресійна модель буде пояснювати значну частину варіацій результуючої змінної. Застосування дисперсійного аналізу дозволяє визначити ймовірність збереження нульової гіпотези і є вагомим доказом для прийняття до застосування регресійної моделі.

Результати дослідження. На основі описової статистики проведено аналіз динаміки зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел викидів за період з 2016 року по 2021 рік з урахуванням прогнозу до 2023 року. Розроблено методологічний підхід щодо оцінювання обсягів забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Встановлено середній та сильний ступінь зв'язків між обсягами забруднення атмосферного повітря, кількістю зареєстрованих вперше та новими транспортними засобами, кількістю електромобілів та обсягами інвестицій і витрат на природоохоронну діяльність. На основі кореляційно-регресійного аналізу отримано прогнозну модель, на основі якої проведено аналіз отриманих розрахункових даних, перевірено її адекватність та показано, що середня відносна похибка розрахункових даних склала 0,11 %, максимальна відносна похибка – 0,23 %.

Наукова новизна. Розроблено багатофакторну прогнозну модель, яка на підставі результатів проведених досліджень відображає зв'язки між різними факторними змінними та загальними обсягами забруднення атмосферного повітря викидами від пересувних джерел забруднення.

Практична значимість. Проведені прогнозні розрахунки обсягів шкідливих викидів від пересувних джерел забруднення можуть стати у нагоді при створенні перспективних планів та заходів щодо зменшення впливу на довкілля в системі управління транспортною стратегією.

Ключові слова: *прогнозна модель, кореляційно-регресійні методи, забруднення атмосферне повітря, автотранспорт.*

Вступ. Забруднення атмосферного повітря залишається важливою проблемою, яку необхідно звести до мінімуму, оскільки повітря є основною складовою в житті кожної людини. Потужними джерелами забруднення залишаються промислові підприємства та автотранспорт з двигунами внутрішнього згорання. Оскільки екологічні потреби відносяться до третьої групи і активізуються після задоволення економічних та соціальних потреб, тому в розвинутих країнах світу

значна увага приділяється розвитку екологічної свідомості у населення [1]. Токсичні викиди, що надходять з вихлопних труб дизельних і бензинових автомобілів спричиняють проблеми із забрудненням повітря протягом десятиліть, внаслідок чого щороку передчасно помирають десятки тисяч людей [2]. Типовий пасажирський транспортний засіб викидає близько 4.6 т. вуглекислого газу на рік. Завдяки стандарту ЄС 2020/21 щодо дотримання цільового показника 95 г CO₂/км, у 2020 році продажі електромобілів зросли більш ніж втричі й досягли 10.5 % по всій Європі. Наступним кроком в цьому напрямку передбачається посилення вимог щодо викидів CO₂ для автомобілів на 2025/2030 роки та забезпечення для усіх нових транспортних засобів нульового рівня викидів не пізніше 2035 року. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння викидають в атмосферне повітря велику кількість газових забруднюючих речовин. Застосовуються різні засоби та методи для зменшення рівня цих газових викидів [3–4], але технологій, які могли б повністю видалити забруднювачі, що утворюються в процесі згоряння, перш ніж вони викинуться з вихлопу, не існує. Навіть електронне паливо майбутнього не зможе вирішити цю проблему. Тому більша частина досліджень стосується того, що єдиним варіантом усунення викидів цих шкідливих забруднюючих речовин від автомобілів є перехід від двигунів внутрішнього згоряння до електродвигунів. Електромобілі покращують якість повітря порівняно з бензиновими та дизельними автомобілями, але вони не вирішують проблему повністю [5], оскільки негативний вплив на здоров'я людей мають тверді частинки, що виникають внаслідок зносу гальм, шин і дорожнього покриття, разом із повторним суспендуванням дорожнього пилу, але рівень цих частинок ніяк не регулюється [6]. Встановлено, що існує позитивний зв'язок між вагою та коефіцієнтами викидів твердих частинок, не пов'язаних з вихлопними газами. Електромобілі на 24 % важчі за еквівалентні автомобілі з двигуном внутрішнього згоряння, тому викиди твердих частинок від електромобілів дорівнюють викидам сучасних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння [7]. Електромобілі усувають викиди NO_x і PM_{2.5}, а також зменшують кількість твердих частинок, що утворюються внаслідок зносу гальм, завдяки рекуперативному гальмуванню [8]. Але оскільки електромобілі важчі, то збільшується знос шин і утворення дорожнього пилу, але ці питання потребують додаткових досліджень [9, 10], що є необхідною передумовою для розробки цілеспрямованих заходів відносно невихлопних частинок.

Одночасно з розглянутими питаннями, можна виділити наступні важливі складові, що впливають на рівень забруднення атмосферного повітря: кількість нового чи вживаного автотранспорту; частка електромобілів по відношенню до загальної кількості автомобілів; значущість екологічних питань на різних рівнях управління – обсяги інвестицій та поточних витрат на охорону атмосферного повітря і проблеми зміни клімату.

Отже, актуальними є дослідження відносно динаміки зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел викидів. Проведення аналізу, статистичної оцінки та встановлення взаємозв'язків між обсягами викидів та кількістю автотранспорту, їх видовим складом та

обсягами капіталовкладень є першочерговими задачами, вирішення яких дозволяє розробити математичну модель для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту в Україні.

Викладання основного матеріалу. В даній роботі на першому етапі дослідження розглядалася задача статистичної оцінки обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України від стаціонарних та пересувних джерел забруднення, а саме автотранспорту.

За статистичною інформацією державної служби статистики України щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря проаналізовано динаміку зміни обсягів викидів забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів впродовж 2016–2021 років, що наведено на рисунку 1 а. Можна бачити, що тенденція зміни (крива 3) має спадний характер, середнє значення за вказаний період складає 2 518.6 тис. т. забруднюючих речовин, що потрапляють за рік в атмосферне повітря.

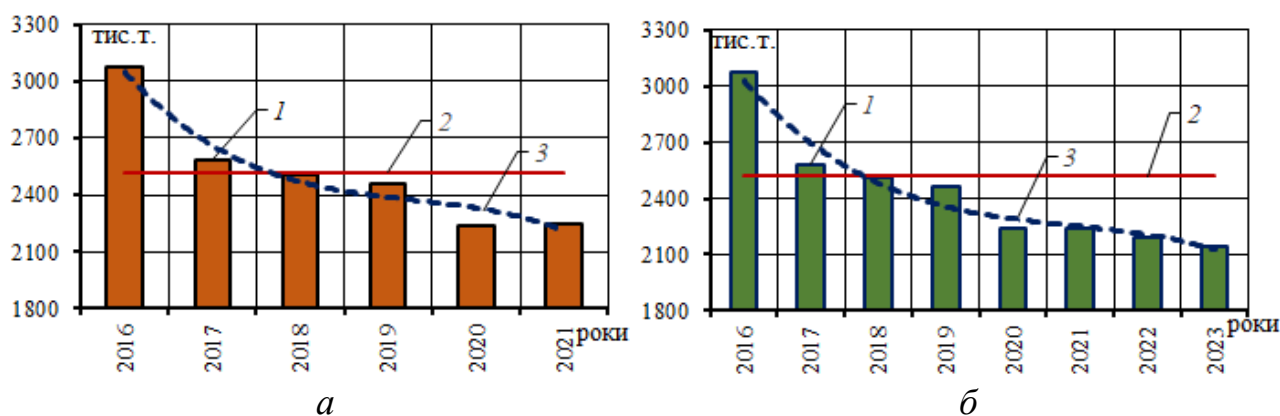


Рис. 1. Динаміка зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів: а – статистичні дані за період 2016–2021 роки; б – прогнозні дані за функцією тенденції за період 2016–2023 років: 1 – статистичні (прогнозні) дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

Оскільки відповідна статистична інформація державної служби статистики України на 2022 та 2023 рік відсутня, то в середовищі Excel було отримано результати прогнозу трьома способами: на основі тренду за поліноміальною кривою третього порядку; за допомогою функції тенденції, що повертає значення величини відповідно до лінійної апроксимації за методом найменших квадратів; за допомогою функції росту, на основі експоненціального тренду. Найменша відносна похибка фактичних даних та числових, розрахованих за допомогою статистичних функцій, була отримана за функцією тенденції і склала 2.4 %, відповідні результати прогнозу на 2016–2023 роки показано на рисунку 1 б.

Також було проаналізовано динаміку зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення впродовж 2016–2021 років (рис. 2 а). Ця динаміка відображає загальні обсяги основних

забруднюючих речовин: діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду та оксиду азоту, неметанових летких органічних сполук, аміаку, метану та сажі.

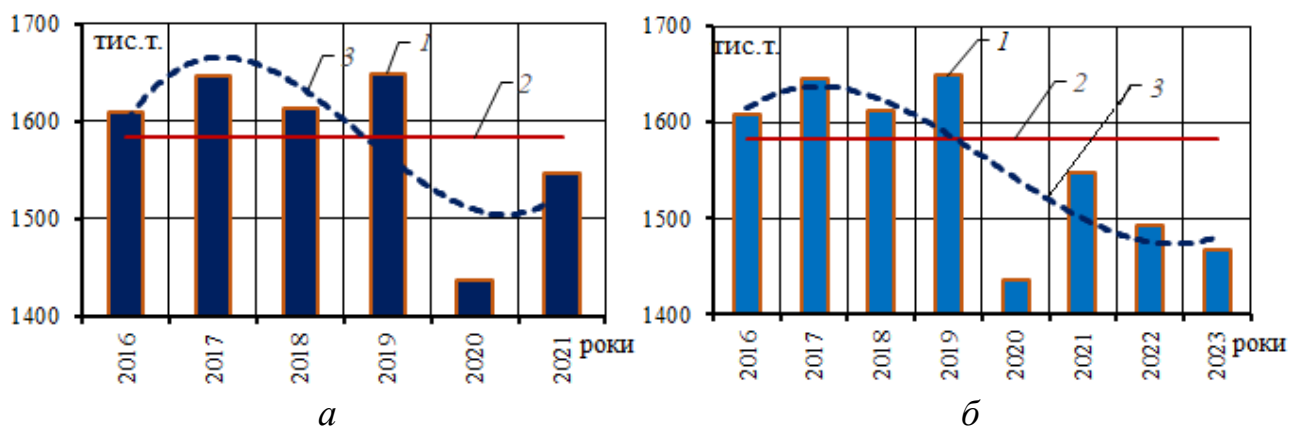


Рис. 2. Динаміка зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел: *а* – статистичні дані за період 2016–2021 роки; *б* – прогнозні дані за функцією тенденції за період 2016–2023 років; *1* – статистичні (прогнозні) дані; *2* – середнє значення; *3* – лінія тренду

Середнє значення цих обсягів за вказаний період 1 583.2 тис. т. за рік. На основі статистичних функцій тенденції, росту та тренду отримано числові прогнозні значення на 2022–2023 роки (рис. 2 б), найменша відносна похибка розрахунків склала 2,2 % за функцією тенденції. Характер зміни цієї функції має локальні мінімум та максимум (крива 3), але за останні роки ця тенденція також є спадною. Частка викидів від пересувних джерел по відношенню до стаціонарних зростає і коливається в діапазоні $52 \% \leq \Delta \leq 69 \%$.

На наступному етапі дослідження вирішувалася задача встановлення взаємозв'язку між динамікою зміни обсягів забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення і факторними змінними, що впливають на кількісні показники цих надходжень.

За статистичною інформацією, наданою Головним сервісним центром МВС на запит про отримання публічної інформації, було проведено аналіз динаміки зміни загальної кількості транспортних засобів зареєстрованих в Україні вперше (рис. 3 а), нових транспортних засобів (рис. 3 б) за період з 2016 до 2023 року. Найбільша кількість 785 179 зареєстрованих вперше транспортних засобів (ТЗ) спостерігалася у 2021 році (рис. 3 а), в 2022 році відбулося зниження на 28 %, хоча в період з квітня до червня діяло нульове розмитнення на ввезений транспорт, у 2023 році спадання продовжилося ще на 27 %. Середнє значення – 452 015 ТЗ на рік; медіана – 487 704 ТЗ; статистична дисперсія (розмах) ряду даних – 605 283 ТЗ; середнє квадратичне відхилення – 231 419 ТЗ.; незначна асиметрія 0.04 характеризує симетричність розподілу відносно середнього значення. Побудована лінія тренду показує тенденцію до спадання (рис. 3 а, лінія 3).

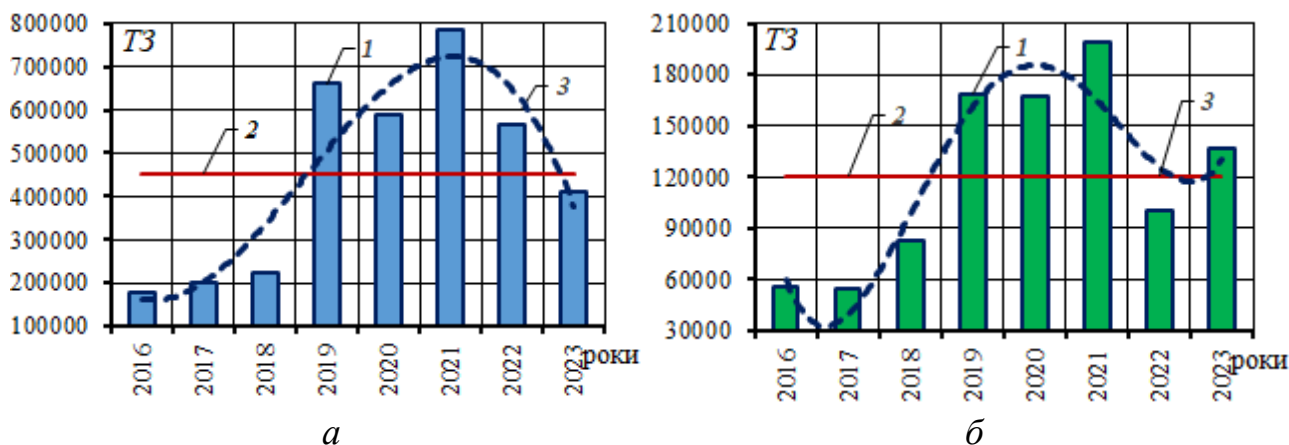


Рис. 3. Динаміка зміни кількості зареєстрованих в Україні транспортних засобів за період 2016-2023 роки: *а* – вперше зареєстрованих; *б* – нових: *1* – статистичні дані; *2* – середнє значення; *3* – лінія тренду

Найбільша кількість 198 606 нових транспортних засобів (ТЗ) спостерігалася також у 2021 році (рис. 3 б), в 2022 році відбулося зниження на 49 %, а у 2023 році – зростання на 36 %, тобто спостерігається наявність локальних тах та мінімумів. Середнє значення – 120 604 ТЗ; медіана – 118 574 ТЗ; розмах ряду даних – 143 915 ТЗ; середнє квадратичне відхилення – 55 195 ТЗ.; асиметрія 0.08 характеризує відсутність несиметричності розподілу відносно середнього значення. Побудована лінія тренду показує змінну тенденцію (рис. 3 б, лінія 3).

На рисунку 4 показано, як змінювалася частка нових транспортних засобів від зареєстрованих впродовж вказаного періоду, можна бачити, що ця частка лежить в межах $18 \% \leq \Delta_1 \leq 37 \%$.

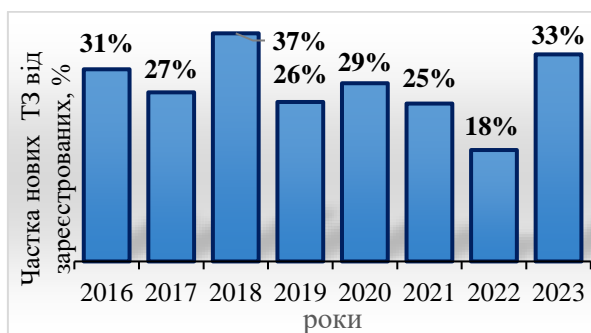


Рис. 4. Динаміка зміни частки нових транспортних засобів від зареєстрованих за період 2016–2023 роки

Хоча кількість нових транспортних засобів достатньо велика, але їх частка по відношенню до загальної кількості транспортних засобів залишається незначною на рівні 30 %. Саме новий автотранспорт оснащений сучасними фільтрами та каталізаторами, що знижують рівень токсичності газів з двигунів внутрішнього згоряння автомобілів. Також новий автотранспорт має більш досконалі системи гальмування та нові шини, що зменшує пилове навантаження. Більшість автотранспорту – 70 % транспортних засобів відноситься до вживаних, з терміном

використання від 4 до 10 років, що відносить їх до більш потужних джерел пилового та газового забруднення, які надходять в атмосферне повітря.

В подальшому дослідженні було проаналізовано динаміку зміни кількості електромобілів, що були зареєстровані в Україні за період з 2016 до 2023 року (рис. 5 а, лінія 1). Можна бачити, що кількість таких транспортних засобів за останні роки значно зросла, від 1 706 ТЗ в 2016 році до 37 953 ТЗ у 2023 році. Середнє значення – 10 499 ТЗ; медіана – 7 498 ТЗ; розмах ряду даних – 36 247 ТЗ; середнє квадратичне відхилення – 11 66 ТЗ.; асиметрія $2.32 > 0$ – правостороння. Побудована лінія тренду показує чітко виражену зростаючу тенденцію (рис. 5 а, лінія 3).



Рис. 5. Динаміка зміни кількості електричних автотранспортних засобів в Україні за період 2016-2023 роки: а – абсолютні значення: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду; б – відносні значення

На рисунку 5 б показано, яку частину складають електричні автотранспортні засоби від зареєстрованих впродовж вказаного періоду, можна бачити, що ця величина лежить в межах $0,9\% \leq \Delta_1 \leq 9,2\%$. Лише за останній рік ця частка зросла від 1% до 9%, але вона залишається дуже маленькою величиною від загальної кількості зареєстрованих транспортних засобів, тому не може суттєво вплинути на зниження рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту.

Зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря в наслідок надходження шкідливих домішок від стаціонарних і пересувних джерел забруднення в значній мірі залежить від капітальних інвестицій на охорону атмосферного повітря і проблеми зміни клімату. Аналіз інвестицій (рис. 6) показує, що їх обсяги збільшуються щорічно, найбільші інвестиції були залучені у 2019 році – 4276,8 тис. грн. та у 2020 році – 5595,3 тис. грн.

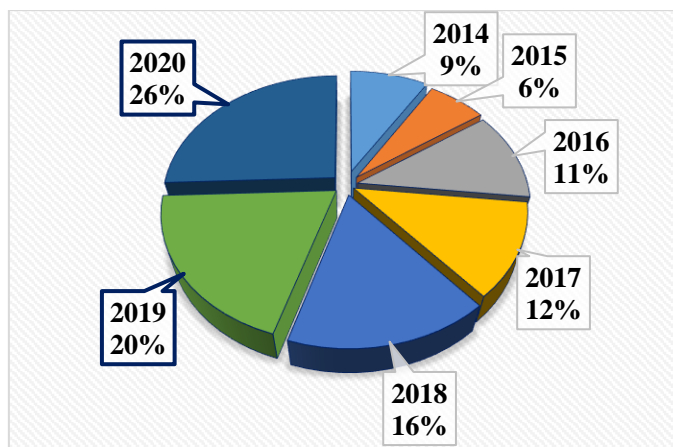


Рис. 6. Динаміка зміни інвестицій на охорону атмосферного повітря і проблеми зміни клімату в Україні за період 2014–2020 роки

Розподіл витрат на охорону атмосферного повітря (рис. 7) показує, що вони майже щорічно збільшуються. Найбільші витрати спостерігалися у 2018 році – 2 897,79 тис. грн. та у 2019 році – 2 963,9 тис. грн., а у 2020 році на 4 % витрати були менші в порівнянні з попереднім роком.

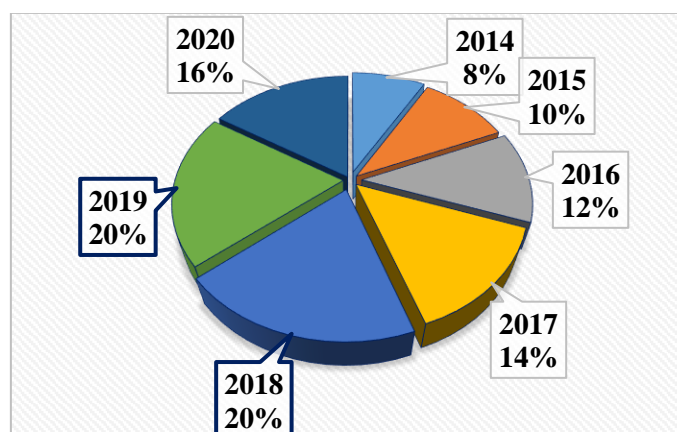


Рис. 7. Динаміка зміни поточних витрат на охорону атмосферного повітря і проблеми зміни клімату в Україні за період 2014-2020 роки

На основі статистичної функції тенденції отримано числові прогностні значення інвестицій та поточних витрат на 2021–2023 роки. Також можна бачити, що капітальні інвестиції від 1,2 разів до 2,4 разів перевищують поточні витрати (рис. 8). Це говорить, що значна увага приділяється заходам, що спрямовані на зменшення викидів у повітря і потребують значних капітальних інвестицій: удосконаленню технологічних процесів; будівництву і введенню в дію нових газоочисних установок і споруд; підвищенню ефективності роботи існуючих очисних установок; ліквідації джерел забруднення; перепрофілюванню на випуск іншої продукції, що зменшує викиди в навколишнє середовище.

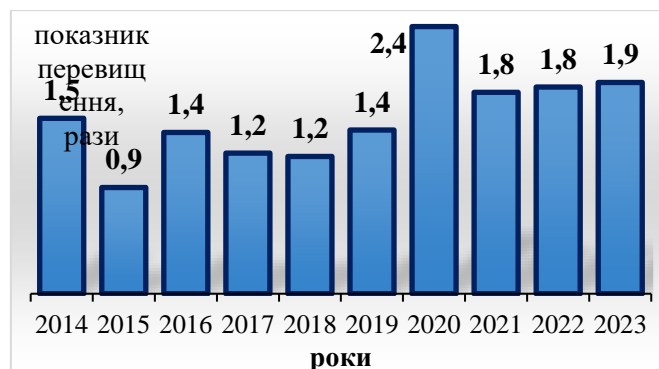


Рис. 8. Показник перевищення капітальних інвестицій до витрат на охорону атмосферного повітря за період 2014–2023 роки

На наступному етапі дослідження проводився множинний кореляційно-регресійний аналіз, а саме, кількісна оцінка взаємозв'язків факторних змінних між собою та з результуючою ознакою. Для проведення такого аналізу необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розрахувати лінійні кореляційні коефіцієнти між факторними змінними, що визначають: кількість зареєстрованих вперше ТЗ, кількість нових ТЗ, кількість електромобілів, обсяги капітальних інвестицій та обсяги витрат.

2. Оцінити кореляційні зв'язки між вказаними вище факторними змінними з результуючою ознакою, що визначає обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел. Визначити ступінь впливу факторних змінних на результуючу ознаку.

3. Отримати регресійну математичну модель, яка взаємопов'язує тенденції вищевказаних факторних змінних із тенденцією результуючої ознаки.

4. Перевірити об'єктивність числових розрахунків, проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі.

На основі кореляційного розрахунку отримано коефіцієнти кореляції (табл.).

Таблиця

Коефіцієнти кореляції між факторними змінними та результуючою ознакою

	x_1	x_2	x_3	p_1	p_2	$y(x_i)$
x_1	1					
x_2	0.8216	1				
x_3	0.2663	0.2729	1			
p_1	0.6688	0.6537	0.7547	1		
p_2	0.5259	0.4959	0.7364	0.8282	1	
$y(x_i)$	-0.3918	-0.4201	-0.5822	-0.8329	-0.4339	1

Можна бачити, що ступінь кореляції результуючої змінної $y(x_i)$ з факторними змінними x_1, x_2, x_3, p_1, p_2 є різною, вона змінюється від середнього рівня

0.27 до високого 0.82. Дуже низький рівень кореляції та мультиколінеарність не спостерігаються, тому для проведення регресійного розрахунку не потрібно виключати жодної факторної змінної. Між результуючою ознакою та усіма факторними змінними присутній зворотній зв'язок середнього ступеня.

Задача регресійного аналізу полягала у визначенні статистичних коефіцієнтів регресійної статистики та дисперсійного аналізу, що визначають рівень хибності, значущості та об'єктивності рівняння регресії. Математична модель рівняння регресії побудована на основі методу найменших квадратів, що мінімізує суму квадратів вертикальних відхилень точок від лінії регресії. Коефіцієнт детермінації $R^2=0.999$ підтверджує, що на 99.9% варіації залежної змінної $y(x_i, p_i)$ можна пояснити за допомогою отриманого рівняння. Нормований $R^2=0.997$ показує, що на 99.7 % результуючий показник $y(x_i, p_i)$ визначається факторними змінними. На позитивну значущість рівняння регресії вказує критерій Фішера, $F_{кр}=0.0018$. Імовірність хибності розрахунків обумовлюється P -значенням, яке змінюється в діапазоні $[4.2 \cdot 10^{-5}; 0.04]$, тобто ризик помилки складає 4 %.

Математична модель рівняння множинної регресії, що визначає зв'язок між факторними змінними x_1, x_2, x_3, p_1, p_2 та результуючим показником $y(x_i, p_i)$ набула наступного виду:

$$y(x_i, p_i) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot p_1 + a_5 \cdot p_2, \quad (1)$$

де x_1 – кількість зареєстрованих вперше ТЗ, x_2 – кількість нових ТЗ, x_3 – кількість електромобілів, p_1 – обсяги капітальних інвестицій, p_2 – обсяги витрат, $y_1(x_i, p_i)$ – обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел. Відповідні коефіцієнти кореляції: $a_0=1691$, $a_1=0.00031$, $a_2=-0.00042$, $a_3=0.0034$, $a_4=-0.1062$, $a_5=0.0846$.

Для оцінки об'єктивності числових розрахунків $y_1(x_i, p_i)_{\text{розрах.}}$, проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі, обчислено відносну похибку розрахункових та теоретичних (вихідних) даних: середнє значення похибки 0.11 %, максимальне значення похибки – 0.23 %, сумарна похибка 0.84 %. Математична регресійна модель (1) з точністю на 99 % відображає зв'язок між вхідними параметрами та результуючим показником.

Висновки. Виконані дослідження дозволили отримати наступні висновки:

1. Встановлено закономірності зміни обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення за період 2016-2023 років. Загальні обсяги викидів від стаціонарних джерел забруднення мають тенденцію до спадання за рахунок скорочення виробничих потужностей як під час пандемії, так і під час військових стану в Україні, коли велика частина промислового сектора зруйнована. Обсяги викидів від пересувних джерел забруднення також мають тенденцію до спадання, оскільки зростає частка нових автомобілів та електромобілів.

2. Проаналізовано закономірності зміни обсягів інвестицій та поточних витрат на охорону атмосферного повітря і проблеми зміни клімату в Україні за період 2014-2020 роки. Капітальні інвестиції від 1.2 разів до 2.4 разів перевищують поточні витрати.

3. На основі кореляційного аналізу проведено оцінку зв'язків між викидами, кількістю транспортних засобів, інвестиціями та витратами.

4. На основі регресійно-дисперсійного аналізу отримано множинну математичну модель і перевірено її адекватність: середня відносна похибка розрахунків склала 0.11 %, а максимальне значення похибки – 0.23 %;

Математична модель дозволяє не тільки прогнозувати загальні обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення, але і проаналізувати, як корегування обсягів інвестицій та витрат на охорону атмосферного повітря безпосередньо впливає на обсяги викидів.

Перелік посилань

1. Widowati, A., Setuju, & Utami, D. N. (2020). Utilization of Virtual Laboratory “Calculation of Motor Vehicle Exhaust Emissions” to Study Air Pollution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1700(1), 012105. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1700/1/012105>
2. Krajinska, A. (2021) Electric vehicles are far better than combustion engine cars when it comes to air pollution. Here’s why. *Transport & Environment*. <https://www.transportenvironment.org/discover/electric-vehicles-are-far-better-than-combustion-engine-cars-when-it-comes-to-air-pollution-heres-why/>.
3. Biliaiev, M., Pshinko, O., Rusakova, T., Biliaieva, V. & Śladkowski, A. (2020) Application of local exhaust systems to reduce pollution concentration near the road. *Transport problems*. 15(4) Part 1, 137–149. <https://doi.org/10.21307/tp-2020-055>
4. Biliaiev, M., Pshinko, O., Rusakova, T., Biliaieva, V. & Śladkowski, A. (2021) Computing model for simulation of the pollution dispersion near the road with solid barriers. *Transport problems*. 16(2), 73–86. <https://doi.org/10.21307/tp-2021-024>
5. Liu, Y., Chen, H., Gao, J., Li, Y., Dave, K., Chen, J., Federici, M. & Perricone, G. (2021). Comparative analysis of non-exhaust airborne particles from electric and internal combustion engine vehicles. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126626. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126626>
6. Fussell, J. C., Franklin, M., Green, D. C., Gustafsson, M., Harrison, R. M., Hicks, W., Kelly, F. J., Kishta, F., Miller, M. R., Mudway, I. S., Oroumiyeh, F., Selley, L., Wang, M., & Zhu, Y. (2022). A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures. *Environmental Science & Technology*, 56(11), 6813–6835. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01072>
7. Timmers, V. R. J. H., & Achten, P. A. J. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*, 134, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
8. Grigoratos, T., Mathissen, M., Vedula, R., Mamakos, A., Agudelo, C., Gramstat, S., & Giechaskiel, B. (2023). Interlaboratory Study on Brake Particle Emissions—Part I: Particulate Matter Mass Emissions. *Atmosphere*, 14(3), 498. <https://doi.org/10.3390/atmos14030498>
9. Ritchie, H. (2023). Do electric vehicles reduce air pollution? *Sustainability by numbers*. <https://www.sustainabilitybynumbers.com/p/electric-vehicles-air-pollution>
10. Державна служба статистики України. Інтернет-ресурс. (n.d.). <https://www.ukrstat.gov.ua/>

ABSTRACT

Aim of the article. To investigate the dynamics of changes in the volume of pollutants entering the atmospheric air from stationary and mobile sources of pollution. To build a predictive model that links the amount of atmospheric air pollution with a number of factors affecting their level.

Research methodology is based on the results of the analysis of correlations between the factor variables and the resulting variable to reveal the degree of their dependence and mutual influence, as well as the extent to which the regression model will explain a significant part of the variations of the

resulting variable. The use of variance analysis allows to determine the probability of maintaining the null hypothesis and is a strong evidence for accepting the application of the regression model.

Research results. On the basis of descriptive statistics, an analysis of the dynamics of changes in the volume of emissions into the atmosphere from stationary and mobile sources of emissions for the period from 2016 to 2021, taking into account the forecast until 2023, was carried out. A methodological approach has been developed for estimating the volume of atmospheric air pollution by vehicle emissions. An average and strong connection between the amount of atmospheric air pollution, the number of registered first and new vehicles, the number of electric cars and the amount of investments and expenses for environmental protection activities was revealed. Based on the correlation-regression analysis, a predictive model was obtained, on the basis of which the analysis of the received calculation data was carried out, its adequacy was checked and it was shown that the average relative error of the calculation data was 0.11%, the maximum relative error was 0.23%.

Scientific novelty. A multifactor predictive model has been developed, which reflects the relationships between various factor variables and the total volume of atmospheric air pollution by emissions from mobile sources of pollution.

Practical significance. The forecast calculations of the volumes of harmful emissions from mobile sources of pollution can be useful in creating long-term plans and measures to reduce the impact on the environment in the transport strategy management system.

Keywords: *predictive model, correlation-regression methods, atmospheric air pollution, motor vehicles.*