

---

---

## *Розділ 1. Екологічна безпека*

---

---

УДК 504 +004.9

### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ДОРІГ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ м. ВІННИЦІ**

*В.Б. Мокін, д-р техн. наук, проф.,  
Ю.С. Семчук*

*(Вінницький національний технічний університет);*

*О.П. Сорочан, головний державний  
санітарний лікар м. Вінниця*

*(Вінницька міська санітарно-епідеміологічна станція  
МОЗ України);*

*О.В. Риженко, начальник управління  
комп'ютеризації та телекомунікацій  
(Вінницька міська рада)*

*У статті розглянуто актуальну задачу аналізу закономірностей щодо змін стану атмосферного повітря за рахунок капітального ремонту доріг з використанням ГІС-технологій. Запропоновано та випробувано на прикладі м. Вінниці методику аналізу з використанням сучасних пакетів для роботи з ГІС: «ArcGIS» (США) та ГІС «Панорама» (РФ).*

*В статье рассмотрена актуальная задача анализа закономерностей относительно изменений состояния атмосферного воздуха за счет капитального ремонта дорог с использованием ГИС-технологий. Предложено и испытано на примере г. Винницы методику анализа с использованием современных пакетов для работы с ГИС: «ArcGIS» (США) и ГИС «Панорама» (РФ).*

© В.Б. Мокін, Ю.С. Семчук, О.П. Сорочан, О.В. Риженко, 2011

*In this paper the actual task of analysis of conformities in relation to the changes of the state of atmospheric air of due to major repairs of roads with the use of GIS-technologies are considered. The method of analysis using modern packages to work with GIS: «ArcGIS» (USA) and GIS «Panorama» (Russia) is proposed and tested on the example of Vinnytsya city.*

## **Вступ**

Останнім часом збільшується загальна кількість транспортних засобів. Одним із негативних факторів, пов'язаних з масовим використанням автомобілів, є зростаючий шкідливий їх вплив на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Це зумовлено, насамперед, викидом значної кількості шкідливих речовин.

Автомобільний транспорт є одним із найбільших забруднювачів атмосферного повітря. Концентрація токсичних речовин, що викидаються автотранспортом, значною мірою залежить від технічного стану автомобіля, швидкості його руху і строку експлуатації.

Найбільша кількість токсичних речовин виділяється під час зміни режиму роботи двигуна, зокрема під час пуску й зупинки, а також під час роботи в холостому режимі. Тому в містах максимальна концентрація токсичних речовин спостерігається на перехрестях, біля світлофорів, під час долаття узвозів [1].

Викиди автотранспорту на перегонах між перехрестями залежить від стану покриття доріг. У разі підвищеної ямковості доріг автотранспорт рухається на малих передачах і викиди токсичних речовин суттєво збільшуються.

Саме тому, одним із найбільш ефективним напрямком покращення стану атмосферного повітря є капітальний ремонт доріг.

## **Об'єкт досліджень**

Вінниця — це велике сучасне місто, яке займає площу 6868 га. Перспективи територіального розвитку м. Вінниці передбачають активний ріст, і як наслідок зростання населення міста. Кількість населення становить 367,8 тис. чол. Густота населення — 5297 чол. на 1 км<sup>2</sup> [2].

Сумарна кількість викидів від стаціонарних і пересувних джерел складає більше 20 тис. т. на рік. У той же час у 2008 році в довкілля міста від стаціонарних джерел забруднення потрапило 4,3 тис. тонн, що менше порівняно з 2007 р. на 10,4%. Зокрема

станом на 2008 рік у місті було 83 підприємства, які здійснювали викиди забруднюючих речовин. В порівнянні з 2007 роком їх кількість зросла на 17 підприємств. Найбільшими забруднювачами були такі підприємства: ВАТ «Вінницький олійножировий комбінат», ВАТ «Будматеріали», КП ВМР «Вінницяміськтеполоенерго». Але валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря скоротився за рахунок оснащення стаціонарних джерел викидів безвідходними технологіями виробництва, пилогазоочисним установками, частково за рахунок зменшення обсягів виробництва та повної зупинки виробництва колишніми підприємствами з великим обсягом виробництва і відповідно значними викидами [2].

Таким чином, частка викидів від автотранспорту у м. Вінниці складає приблизно 80%.

Найбільша частка викидів забруднюючих речовин припадає на автотранспорт, який працює на бензині [3].

Протягом 2006–2008 років у м. Вінниці реконструйовано 362,1 тис. м<sup>2</sup> доріг міста, в тому числі ділянки вулиць 40-річчя Перемоги, Фрунзе, Київської, Пирогова, Коцюбинського, Театральної, Першотравневої, Немирівського та Хмельницького шосе на загальну суму 46,2 млн грн. Здійснено капітальний ремонт 210,2 тис. м<sup>2</sup> та поточний ремонт 77,5 тис. м<sup>2</sup> доріг міста. На вказані цілі спрямовано кошти в обсязі 17,0 млн грн. [2].

За даними Вінницької міськради у ГІС «Панорама» на карті муніципальної ГІС міста Вінниці було виділено 7 ділянок доріг, які ремонтувались. Також, на цій карті відмічено пости моніторингу стану атмосферного повітря Вінницької міської СЕС (далі — ВМ СЕС) (рис. 1).

Створена база даних, куди занесено основні дані про ці пости моніторингу та результати спостережень за 2006–2008 роки.

Капітальний ремонт доріг у м. Вінниці здійснювався в наступні періоди (таблиця 1).

Для дослідження впливу ремонту доріг на зміну концентрації забруднюючих речовин, як відомо, порівнюються дані моніторингу до та після ремонту доріг.

Серед шкідливих домішок, пов'язаних з викидами відпрацьованих газів, особливе місце займає оксид вуглецю. Оксид вуглецю — це продукт неповного згорання органічного (вуглеводневого) палива, який утворюється переважно, у бензинових двигунах при



Рис. 1. Карта м. Вінниці з постами вимірювання концентрації забруднюючих речовин ВМСЕС в атмосферному повітрі біля автодоріг (виділено зірочками) та ділянками доріг, де робився капітальний ремонт у 2006–2008 рр. (виділено товстими лініями).

Таблиця 1 — Періоди проведення ремонту доріг

| Номери ділянок доріг, що ремонтувались (див. рис. 1) | Проведення ремонтних робіт |
|--|----------------------------|
| 1  | 06.2006 — 08.2006          |
| 2  | 06.2007 — 08.2007          |
| 3  | 06.2008 — 08.2008          |
| 4  | 06.2007 — 08.2007          |
| 5  | 06.2007 — 08.2007          |
| 6  | 06.2008 — 08.2008          |
| 7  | 06.2008 — 08.2008          |

роботі на збагачених паливоповітряних сумішах. Причиною виникнення оксиду вуглецю в цьому випадку є нестача кисню для повного окислення вуглецю, який входить до складу палива.

Незначна кількість СО, що утворюється під час роботи у дизельних двигунах, є продуктом проміжного окислення вуглецю, який через нестачу часу на процес згорання, не встигає доокислитись до діоксиду вуглецю. Оксид вуглецю — високотоксична сполука, що не має кольору і запаху, легша за повітря. Час перебування СО в атмосфері складає 2–4 місяці. В кисні і в повітрі оксид вуглецю горить блакитним полум'ям, виділяючи багато теплоти і перетворюючись у вуглекислий газ [4].

При дослідженні впливу ремонту доріг на зміну концентрацій забруднюючих речовин аналізувалась концентрація саме оксиду вуглецю до та після ремонту доріг за даними ВМ СЕС.

Методологія аналізу даних та виявлення закономірностей засобами геоінформаційних систем

Було використано спеціальний інструментарій універсальних пакетів програм для роботи з ГІС:

1. Методи двовимірної інтерполяції та аналізу просторових даних у ГІС «Панорама» (Російська Федерація).

2. Геостатистичний аналіз даних у ГІС «ArcGIS» (США).

У ГІС «Панорама» побудова карти забруднення здійснюється шляхом побудови спеціальної матриці.

Спеціальні інструменти дозволяють підібрати кращий варіант інтерполяції для заданої задачі.

У ГІС «Панорама» є можливість провести двовимірну інтерполяцію просторових даних такими методами [5]:

- середньозважена інтерполяція (пошук по 8 напрямках);
- середньозважена інтерполяція (пошук по 16 напрямках);
- середньозважена інтерполяція (згладжування поверхні);
- лінійна інтерполяція по сітці точок;
- плоска поверхня з нульовою висотою.

При цьому слід врахувати, що середньозважена інтерполяція (пошук по 8 напрямках) виконується швидше, ніж інші, а середньозважена інтерполяція (згладжування поверхні) буде більш згладжену поверхню. Якщо вибраний метод лінійної інтерполяції по сітці точок, то спочатку будується мережа трикутників, вершинами яких є точкові об'єкти з абсолютним значенням, а потім по цій мережі трикутників обчислюються значення елементів матриці. Метод «Плоска поверхня з нульовою висотою» призначений для створення матриці відносних висот [5].

Засоби побудови тривимірної моделі інтерпольованої поверхні та побудови профілю дозволяють у зручній спосіб проаналізувати різні значення параметрів та виявити важливі закономірності.

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

1. Побудова поверхні значень концентрації CO за даними моніторингу ВМ СЕС до ремонту відповідної дороги (X1).

2. Побудова поверхні значень концентрації CO за даними моніторингу ВМ СЕС після ремонту відповідної дороги (X2).

3. Знаходження різниці між інтерпольованою поверхнею значень концентрації CO до та після ремонту доріг ( $DХ=X2-X1$ ).

4. Побудова профілю (зрізу) поверхні значень ДХ, уздовж доріг, які досліджувались.

5. Порівняння отриманого графіку з картою інших доріг міста та виявлення й аналіз закономірностей.

Для точнішого і складнішого моделювання поверхонь, включаючи оцінювання помилок і побудову імовірнісних параметрів побудованих поверхонь використовують геостатистичні методи інтерполяції, які базуються на статистичних закономірностях.

Геостатистичний аналіз автоматизовано у пакеті «ArcGIS ArcInfo» та включено до складу додаткового модуля «ArcGIS Geostatistical Analyst».

Методи кригінгу дають змогу [6]:

- задавати різні методи інтерполяції (ординарний, простий, універсальний, індикаторний, імовірнісний та диз'юнктивний кригінг);
- створювати різні види вихідних поверхонь: карта інтерпольованих значень, карта квантилей, карта вірогідності та карта стандартної помилки інтерполяції.

«ArcGIS Geostatistical Analyst» містить багато інструментів, які дозволяють визначити, які параметри є оптимальними за певними критеріями, а також пропонує установки за замовчуванням, що забезпечують швидку побудову поверхні.

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

1. Запуск майстра геостатистики та вибір вхідних даних і методу інтерполяції.

2. Задавання потрібних параметрів в діалозі «Моделювання варіограм/коваріації».

3. В діалозі «Пошук сусідства» зазначається кількість сусідніх точок, що враховуються при побудові карти.

4. За допомогою діалогу «Перехресна перевірка» аналізуються отримані результати, розглядаються різні похибки інтерполяції.

5. Порівняння результатів аналізу та виявлення закономірностей.

### **Результати аналізу даних з використанням геоінформаційних технологій**

За допомогою ГІС «Панорама» було здійснено аналіз зміни концентрації до та після ремонту доріг у м. Вінниці за даними ВМ СЕС.

На основі даних моніторингу була визначена поверхня різниці концентрації (ДХ) оксиду вуглецю та побудовані карти, які показують на скільки змінилась концентрація після ремонту доріг у 2006, 2007 та 2008 роках, відповідно (рис. 2).

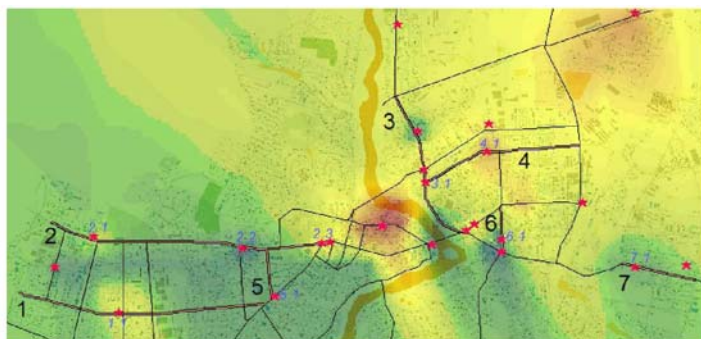
На основі розроблених карт за допомогою ГІС «Панорама» були побудовані графіки зміни концентрації оксиду вуглецю уздовж ділянок доріг, що аналізувались (рис. 3).

Відповідно до запропонованого алгоритму проведено геостатистичний аналіз даних ДХ за 2006, 2007, 2008 роки в пакеті «ArcGIS Geostatistical Analyst». Аналіз проводився за допомогою різних методів кригінгу. Були побудовані поверхні за значеннями варіограм і відомими вимірюваннями в окремих точках.

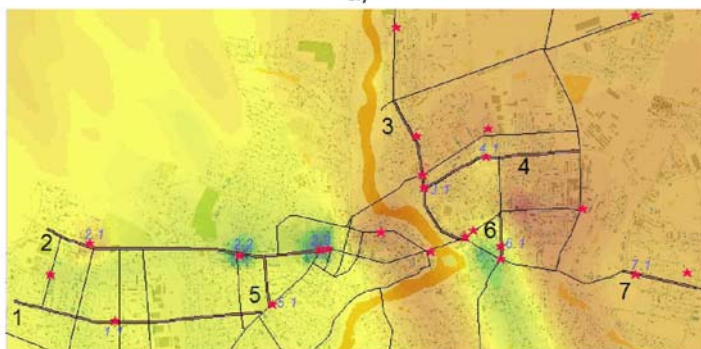
При цьому застосовувались різні геостатистичні методи (ординарний кригінг, простий кригінг, універсальний кригінг, індикаторний кригінг, імовірнісний кригінг та диз'юнктивний кригінг). Після чого вибирався оптимальний з них. Фрагменти побудованих карт різниці ДХ концентрації оксиду вуглецю чотирма методами кригінгу, доступними в «ArcGIS Geostatistical Analyst 9», зображені на рис. 4.

В результаті порівняння значення нормованої середньої помилки, середньоквадратичної помилки інтерполяції, середньої стандартної помилки обчислень і нормованої середньоквадратичної помилки для всіх застосованих методів, було з'ясовано, що найоптимальнішим методом для інтерполяції значень концентрації оксиду вуглецю є універсальний кригінг.

Як видно із графіків на рис. 3 та 4, майже всюди зміна концентрації має від'ємні значення, що свідчить про зменшення концентрації оксиду вуглецю біля доріг після їх ремонту. Аналіз



a)



б)



в)

*Рис. 2. Фрагменти тематичних карт зміни концентрації оксиду вуглецю у м. Вінниці після ремонту доріг: а) у 2006 р., б) у 2007 р. в) у 2008 р.*



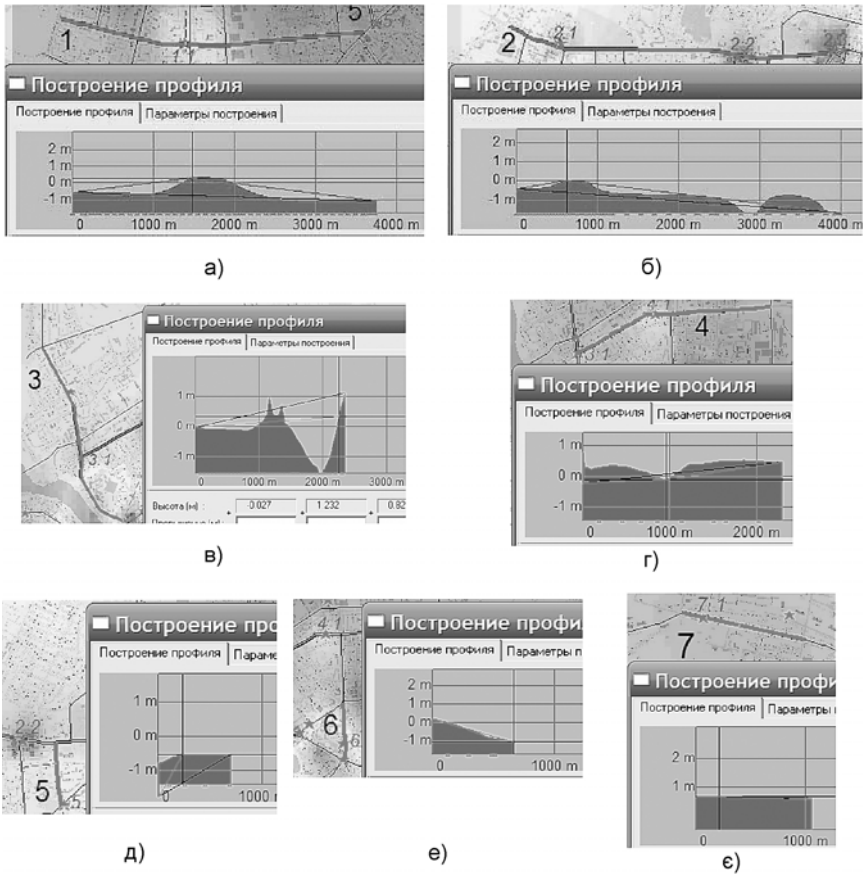
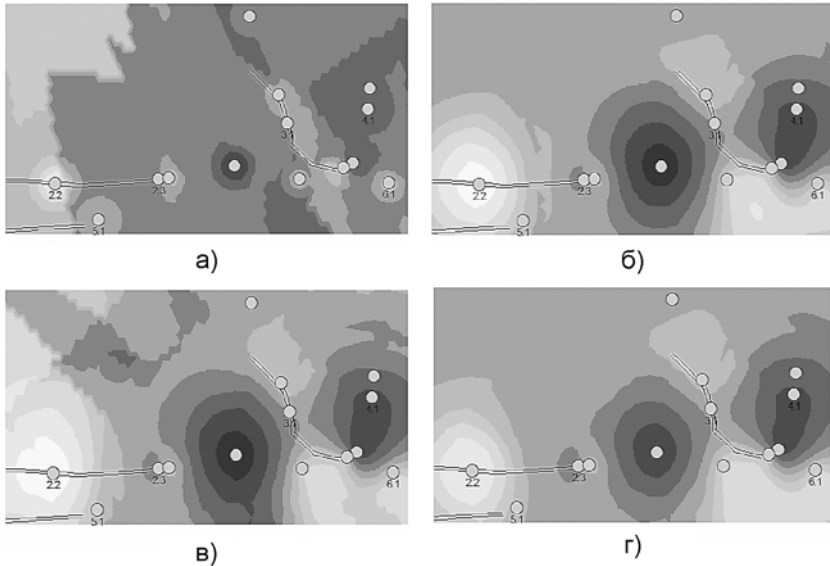


Рис. 3. Графіки зміни концентрації оксиду вуглецю уздовж доріг 1–7 (відповідно, рис. а)–є)), побудовані за допомогою інструментарію ГІС «Панорама» (на графіку «т» — це мг/м<sup>3</sup> CO в атмосферному повітрі).

показує, що для більшості ділянок доріг має місце зменшення на 10 — 20%, а для ділянок № 2, 5 та 7 (за даними постів 2.3, 5.1, 7.1 — див. рис. 1) зменшення склало 60 — 75%. Більш точний аналіз слід робити, враховуючи додаткові фактори, які впливають на закономірності руху автомобілів після ремонту, в т.ч. той факт, що після ремонту водії часто змінюють маршрут і по відремон-



*Рис. 4. Фрагменти карт з поверхнею ДХ, побудованою за даними моніторингу концентрації оксиду вуглецю у м. Вінниці за 2006 рік, методами: а) ординарного кригінгу, б) простого кригінгу, в) універсального кригінгу, г) диз'юнктивного кригінгу.*

тованих дорогах їх може їхати більше, ніж їхало до ремонту (коли на дорозі були ями, водії їздили іншими дорогами). Отже, вибірка транспортних засобів до та після ремонту не є однаковою.

### **Висновки**

У роботі запропоновано методику аналізу впливу капітального ремонту доріг на стан атмосферного повітря з сучасного інструментарію пакетів для роботи з ГІС «Панорама» (РФ) та «ArcGIS» (США) за даними державного моніторингу довкілля. Методику успішно апробовано на прикладі м. Вінниці за даними Вінницької міської СЕС. В результаті було встановлено на скільки зменшилось забруднення атмосферного повітря біля доріг міста після ремонту у порівнянні зі станом повітря до ремонту. Значне покращення екологічного стану зафіксовано на перегонах між перехрестями, яке й очікувалось.

Разом зі збільшенням швидкості руху зменшується частота гальмувань і зупинок автомобіля а, відповідно, зменшуються і викиди в атмосферу продуктів неповного згоряння палива, особливо на перегоні між перехрестями, де якраз проживає більше населення і знаходиться, як правило, більше зелених зон та інших природних об'єктів, ніж біля перехрестів вулиць. А це, у свою чергу, сприяє покращенню стану здоров'я населення та стану екосистем уздовж доріг міста.

Методику проведеного дослідження можна застосовувати і для інших міст України.

\* \* \*

1. Козлов Ю. С. Экологическая безопасность автотранспорта / Ю. С. Козлов, И. А. Святкин. — М.: Агар, 2000. — 176 с.

2. Проект рішення міської ради «Про виконання Програми охорони навколишнього природного середовища на період 2006 — 2008 рр. та затвердження Програми охорони навколишнього природного середовища на період 2009 — 2011 рр.». — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://vmr.gov.ua/info.aspx?langID=1&pageID=553>

3. Державне управління охорони навколишнього природного середовища у Вінницькій області «Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області у 2009 році». — [Електронний ресурс] — Режим доступу: [http://vineco.ucoz.org/load/dopovid\\_za\\_2009\\_rik/1-1-0-113](http://vineco.ucoz.org/load/dopovid_za_2009_rik/1-1-0-113)

4. Дорогунцов С.І. Екологія та охорона навколишнього середовища / С. І. Дорогунцов, К. Ф. Коценко, М. А. Хвесик. — К.: КНЕУ, 2005. — 371 с.

5. Геоинформационная система «КАРТА 2011». Руководство пользователя. — Ногинск «Панорама», 2010. — 141 с.

6. Johnston K. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / K. Johnston, J. Ver Hoef, K. Krivoruchko, N. Lucas. — USA: ESRI, 2003. — 306 p.

**Отримано: 23.03.2011 р.**