

## ОРГАНІЗАЦІЯ РЕЗЕРВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СМУГИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Шелудченко Л.С.<sup>1</sup>, Комарницький С.П.<sup>1</sup>,  
Поліщук Д.В.<sup>2</sup>, Замойський С.М.<sup>1</sup>, Семенишена Р.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Подільський державний аграрно-технічний університет  
вул. Шевченка, 13, 32300,

м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область

<sup>2</sup>ТД ВО Машинобудівний завод

вул. Героїв України, 94, 27500, м. Світловодськ, Кіровоградська область  
sheludcenkolesa@gmail.com, mash-zavod@i.ua, alexrusl@ukr.net

У роботі розглядається питання екологічно раціональної системи ландшафтної організації придорожніх ландшафтів. Визначено, що головним методом управління екологічною безпекою природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею є науково-обґрунтоване рішення конструкційного облаштування безпосередньо резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що до основних факторів впливу відносяться також конструкційні особливості, технічний рівень та експлуатаційний стан автомобільної дороги. Окрім того, транспортна здатність автодороги, яка визначається способом організації руху, забезпечує як достатню безпеку кожного з його учасників, так і в свою чергу, визначає рівень техногенної та екологічної безпеки автотранспортного комплексу вцілому. На підставі висновків підтверджено, що рівень екологічної безпеки території з щільною мережею автомобільних доріг носить комплексний характер, для розв'язання якого необхідний пошук нових ефективних методів конструювання всіх без винятку об'єктів автотранспортної інфраструктури. Дане рішення забезпечить можливість управління повітряними потоками, які виступають транспортуючим середовищем для забруднюючої домішки, та здійснюватиме достатній захист придорожніх ландшафтів. За результатами досліджень динаміки процесів масопереносу і депонування забруднюючих речовин в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг встановлено, що важливу роль відіграє шорсткість поверхні природних ландшафтних та штучно створених об'єктів профілю резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Окрім того встановлено, що внаслідок антропогенної зміни ландшафту і специфічних термодинамічних умов атмосфери, які зумовлені впливом автотранспортних потоків, створюється особливий мікроклімат. В зоні смуги відведення автомобільної дороги спостерігається стратифікаційний поділ атмосфери, який необхідно використовувати для управління повітряних потоків, що в свою чергу містять забруднюючу домішку транспортних викидів та їх максимального депонування в поперечному профілі автомобільної дороги. Таким чином буде досягнута основна кінцева мета: здатність території забезпечувати господарські потреби регіону без порушення екологічної рівноваги. *Ключові слова:* екологічна безпека, автотранспортна мережа, придорожній ландшафт, забруднення довкілля.

**Organization of the technological line of the highway for improvements environmental safety. Sheludchenko L., Komarnitskiy S., Polishchuk D., Zamoisky S., Semenyshena R.**

The paper deals with the issue of ecologically rational system of landscape organization of roadside landscapes. It is determined that the main method of managing the ecological safety of a natural-technogenic geo-ecosystem with a developed road transport network is a scientifically-grounded solution of the structural arrangement of a direct reserve technological highway. This solution will allow for the management of air pollutant streams and provide adequate protection for the roadside landscapes. On the basis of theoretical and experimental studies it is proved that the main factors of influence include structural features, technical level and operational condition of the highway. In addition, the transport capacity of the road, which is determined by the way the traffic is organized, provides both sufficient safety for each of its participants, and in turn, determines the level of technogenic and environmental safety of the motor transport complex as a whole. Based on the findings, it is confirmed that the level of environmental safety of the area with a dense network of roads is complex. It requires the search for new and effective methods of constructing all vehicles without exception. According to the results of studies of the dynamics of mass transfer and deposition of pollutants within the reserve technological roads, it is established that the surface roughness of the natural landscape and artificially created objects of the profile of the reserve technological road lane plays an important role. Furthermore, a special microclimate is created due to the anthropogenic changes in the landscape and the specific thermodynamic conditions of the atmosphere, which are caused by the influence of traffic flows. A stratification of the atmosphere is observed in the area of the highway. It should be used to control the airflows containing contaminants of transport emissions and their maximum deposition in the transverse profile of the highway. Structural support for the stratification of atmospheric layers adjacent to the roadway lane is realized through the use of gas-dust protective strips in the form of two-sided "geochemical" barriers. They should be fractal-consistent with natural landscapes with respect to their scientifically structural features and planting patterns of wood and shrubs. Also, in the dissertation research there has been proposed the landscape-ecological optimization of the design of reserve-technological lanes of highways on sections with special traffic conditions (intersections, streamlines, etc.). In this way, the ultimate goal will be achieved: the ability of the territory to meet the economic needs of the region without disturbing the ecological balance. *Key words:* ecological safety, roadside landscape, road network, pollution.

**Постановка проблеми.** Робота спрямована на вирішення прикладної проблеми, яка полягає у підвищенні рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем (ПТГЕС) з високою щільністю автодорожньої мережі. Функціонування та рівновага будь-якої ПТГЕС, яка утворена в результаті активної господарської діяльності, визначається як природними складовими, так і техногенними об'єктами, які забезпечують задоволення потреб суспільства. Саме тому, використання екологічно раціональної системи ландшафтної організації придорожніх ландшафтів є головним методом управління екологічною безпекою природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею. В загальному кінцевою метою досліджень є здатність території забезпечувати транспортні потреби регіону при перевезенні вантажів та пасажирів без порушення екологічної рівноваги ПТГЕС та при цьому забезпечувати найбільший економічний ефект господарської діяльності.

**Актуальність дослідження.** Слід відмітити, що специфіка підходу у вирішенні зазначеної проблеми відрізняється в різних країнах в залежності від масштабу проблеми в даній галузі. Необхідно здійснити акцент на технологічну та як наслідок екологічну культуру діяльності. Як приклад, експлуатаційний ресурс автомобільної дороги в США до 1-го капітального ремонту становить 30–35 років, що автоматично віддаляє на достатньо тривалий термін такі поширені в Україні проблеми як: мережа тріщин на поверхні дорожнього одягу автомобільної дороги та утворення ям (каверн); поперечна дислокація конструкції автомобільної дороги; поздовжня колія; мікролокальне пошкодження поверхні дорожнього одягу. Для порівняння слід відзначити, що гарантійний термін експлуатації автомобільної дороги в Україні становить 5 років до першого капітального ремонту. Проте даний термін не дотримується уже після року експлуатації, що призводить до підвищення небезпеки для усіх учасників дорожнього руху. В Україні найбільш поширені показники незадовільного транспортно-експлуатаційного стану автошляхів становлять: 51,1 % не відповідають вимогам за рівністю, 39,2 % – за міцністю, що в загальному призводить до зниження середньої швидкості руху на автошляхах у 2-3 рази у порівнянні із західноєвропейськими країнами. Окрім того, слід відмітити і глобальність процесу автомобілізації, який характерний як для України (202 одиниці), так і для країн ЄС (400-500 одиниць на тисячу жителів). Проте в Україні рівень забруднення атмосферного повітря в результаті функціонування автотранспорту значно вищий ніж в країнах ЄС і є серйозною проблемою, яка потребує вирішення.

Однією із причин ситуації, що склалася в Україні, є парк транспортних засобів, який за останні 10 років також суттєво застарів. Згідно даних [1]

близько 60 % автомобілів мають термін експлуатації 10 років, 30 % – понад 15 років і лише 5 % до 10 років. Причиною є масове ввезення автомобілів застарілої конструкції, і відповідно застарілими екологічними вимогами до них. В результаті автотранспортний комплекс є основним джерелом викидів канцерогенних забруднюючих речовин. Така ситуація носить комплексний характер та призводить до ряду екологічних проблем: шумового забруднення, емісії забруднюючих речовин, їх поширення та депонування в об'єктах навколишнього середовища, загрози здоров'ю людей тощо [2].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Обґрунтування основ екологічно безпечного функціонування мережі автомобільних доріг та методів їх практичної реалізації є актуальним питанням, яке відповідає пріоритетним напрямкам діяльності визначених в «Основних напрямках державної політики України в області охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки» відповідно до Постанови Верховної Ради України № 188/98-ВР від 05.03.1998 року та основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року затверджених Законом України № 2818-IV від 21.12.2010 року, Закону України «Про автомобільний транспорт» від 17.07.2015 року, Закону України «Про автомобільні дороги» від 01.01.2018 року та Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 року.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання вивчення впливу та захисту навколишнього середовища від негативного впливу автотранспортного комплексу є актуальним серед науковців. Зокрема, вагомі результати з проблеми екологічної безпеки автотранспортного комплексу викладені в роботах Н.В. Внукової (розроблення науково-методологічних основ екологічної безпеки комплексу «автомобіль-дорога-середовище»), Г.І. Рудька та О.М. Адаменка (визначення основних принципів конструювання ландшафтів природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею), В.М. Шмандія (розроблення принципів та методів управління природоохороною діяльністю), С.М. Степаненка (дослідження міграційних та дифузійних процесів газо-пилових повітряних аерозолей, в тому числі викидів, які продукуються автотранспортними потоками).

Досвід закордонних науковців переважно спрямовується на вирішення таких проблем як: використання безпечних хімічних сумішей для боротьби з обледенінням дорожнього покриття автомобільної дороги; зменшення фрагментації природних екосистем, шляхом створення екодуків та екопереходів в місцях природних міграцій диких тварин та зменшення можливості їх потрапляння на проїжджу частину тощо.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Питання наукового обґрунтування щодо забезпечення екологічної безпеки території з щільною мережею автодоріг шляхом організації резервно-технологічних смуг (конструкцій захисних смуг), узгоджених за фрактально-інваріантними ознаками з ландшафтно-територіальними ознаками конкретних ПТГЕС, їх кліматичними та метеорологічними характеристиками з урахуванням транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільної дороги є новим підходом до рішення загальної проблеми.

**Новизна.** Наукова новизна результатів досліджень полягає у забезпеченні екологічно безпечного функціонування автотранспортного комплексу, що передбачає системний підхід до розроблення концепції його розвитку в межах конкретних природно-техногенних геоєкосистем з розвинутою автотранспортною мережею. Проблемою сучасних досліджень є вивчення окремих об'єктів досліджуваної системи, які несуть штучно виділений фрагмент та результати яких в повній мірі не відображають реального стану та не вирішують існуючих проблеми. Розроблення комплексного підходу до системи захисту придорожніх ландшафтів від негативного впливу автотранспортного комплексу уже на стадії проектування автодорожньої мережі забезпечуватиме економічну, транспортну та екологічну доцільність із мінімізацією техногенних трансформацій природно-територіального комплексу вцілому.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Основні результати роботи досягнені на підставі методів фрактальної інваріантності з урахуванням принципів конструкційної спадковості проектних рішень газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг. Міграційні процеси газо-пилівих аерозолів досліджуватимуться на підставі законів термодинаміки та енергомасопереносу.

**Викладення основного матеріалу.** Процеси міграції та депонування забруднюючих речовин в межах ПТГЕС зумовлені багатьма природними та техногенними факторами. Зокрема, це погодно-клі-

матичні умови, особливості ландшафту та структура біосфери, наявність бар'єрів (у тому числі і штучно створених), як особливих ділянок геоморфооблони, на яких відбувається різке зменшення інтенсивності міграційних потоків та інтенсифікація депонування забруднюючих речовин в конкретних зонах [3].

Вважається, що автотранспортний комплекс ПТГЕС сформовано з заданим рівнем екологічної безпеки природно-територіального комплексу, якщо в приземних шарах атмосферного повітря над всією контрольованою територією концентрації окремих компонентів викидів, які продукуються автотранспортними потоками не перевищують середньо-добових значень їх ГДК. Тому створення штучних геохімічних бар'єрів [4] є одним із основних методів управління екологічною безпекою природно-техногенних геоєкосистем з розвинутою автотранспортною мережею [5]. Відповідно, врахування таких факторів як категорія автомобільної дороги, кліматичні умови регіону, екологічні та біологічні особливості деревних та чагарникових порід, особливості ландшафту та характеру трасування автомобільних доріг забезпечать можливість керування повітряними потоками та здійснювати захист придорожніх ландшафтів від викидів забруднюючих речовин автотранспортних потоків.

Аеродинамічні характеристики конструкцій газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг мають бути забезпечені як геометричними параметрами профілю поперечного перерізу (рис. 1-а), так і схемою посадки деревних і чагарникових порід (рис. 1-б), сприятимуть виведенню газо-пилівих забруднювачів із зони проїжджої частини автодороги, та подальшому їх депонуванню безпосередньо в резервно-технологічній смузі, що, в свою чергу, значно покращить умови праці водіїв та режим експлуатації автотранспортних засобів [6].

В межах смуг відведення автомобільної дороги фонові кліматичні умови зазнають суттєвих змін внаслідок трансформації ландшафту, що призводить до формування специфічного мікроклімату автодорожньої мережі.

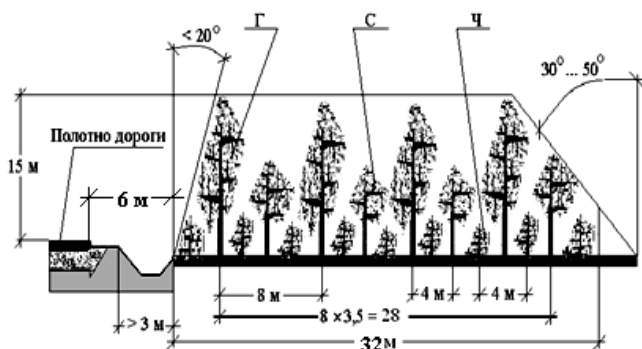


Рис. 1-а. Фрактально-інваріантні моделі лісових газо-пилізахисних смуг автошляхової мережі

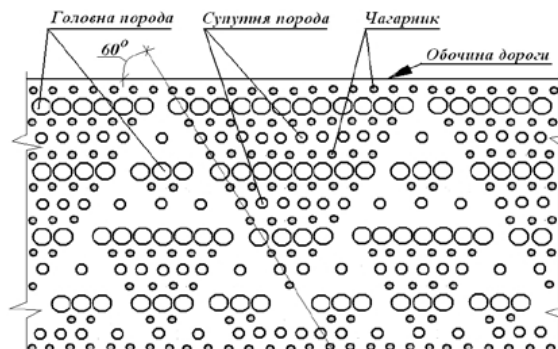


Рис. 1-б. План структурної організації посадки деревних і чагарникових порід

Лінійно-розгалужена структура автодорожньої мережі визначає, що процеси формування мікроклімату кожної конкретної ділянки автомобільної дороги визначаються, в першу чергу характером вертикальних рухів елементарних об'ємів повітряних мас в зоні смуги відведення. Головним чинником вертикальних рухів елементарних об'ємів повітряного аерозолі є різниця температури ( $T_i$ ) елементарного об'єму повітряного аерозолі і температури ( $T_e$ ) навколишнього середовища. Відповідно, прискорення елементарного об'єму аерозолі газо-пилової хмари викиду у вертикальному напрямі буде визначатись:

$$\frac{dv_i}{dt} = g \frac{T_{i0} - T_{e0}}{T_e} + g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (1)$$

де  $v_i$  – вертикальна швидкість переміщення елементарного об'єму повітряного аерозолі в кожній конкретній точці;

$t$  – час;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$T_{i0}$  – температура елементарного об'єму повітряного аерозолі в момент викиду;

$T_{e0}$  – температура повітря на рівні поверхні автомобільної дороги;

$\Delta h$  – вертикальний розмір розглядуваного шару повітря;

$\gamma - \gamma_a$  – різниця температурних градієнтів в  $\Delta h$ .

Представимо (1) у вигляді:

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{dv_i}{dt} \Big|_{h=h_0} + \frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} \quad (2)$$

Очевидно, що вертикальне прискорення елементарного об'єму аерозолі газо-пилової хмари викиду у рівнянні (2) визначається другим доданком його (рівняння) правої частини, тобто:

$$\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} = g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (3)$$

За характером вертикального переміщення елементарного об'єму аерозолі газо-пилової хмари викиду, відповідно (3), розрізняється три варіанти за станом стійкості атмосфери (рис. 2):

– якщо  $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} < 0$  вертикальні рухи аерозолі

відбуваються з певним прискоренням, швидкість вертикального (спрямованого догори) переміщення елементарного об'єму газо-пилової хмари викиду зростає і, в цьому випадку, за означенням стратифікація шарів атмосферного повітря є нестійкою;

– якщо  $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} < 0$  вертикальні рухи аерозолі

відбуваються з певним уповільненням (від'ємне прискорення), швидкість вертикального (спрямованого догори) переміщення елементарного об'єму газо-пилової хмари викиду зменшується і за означенням такий випадок визначає стратифікацію шарів атмосферного повітря як стійку;

– якщо  $\frac{dv_i}{dt} \Big|_{\Delta h} = 0$  повітряні маси, які оточують

газо-пилову хмару викиду, характеризуються значенням градієнтів температури  $\gamma = \gamma_a$ , а отже не призводять до змін вертикальної швидкості елементарних об'ємів аерозолі і за означенням визначають даний стан стратифікації атмосфери як байдужий.

– Отже, конструкційне забезпечення стратифікаційних відмінностей шарів атмосфери, прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги, реалізується шляхом використання природно-ландшафтних або облаштування штучних захисних споруд смуги відведення автомобільної дороги (наприклад, у нашому випадку газо-пилозахисних смуг), які будуть виконувати роль двобічних «геохімічних» бар'єрів.

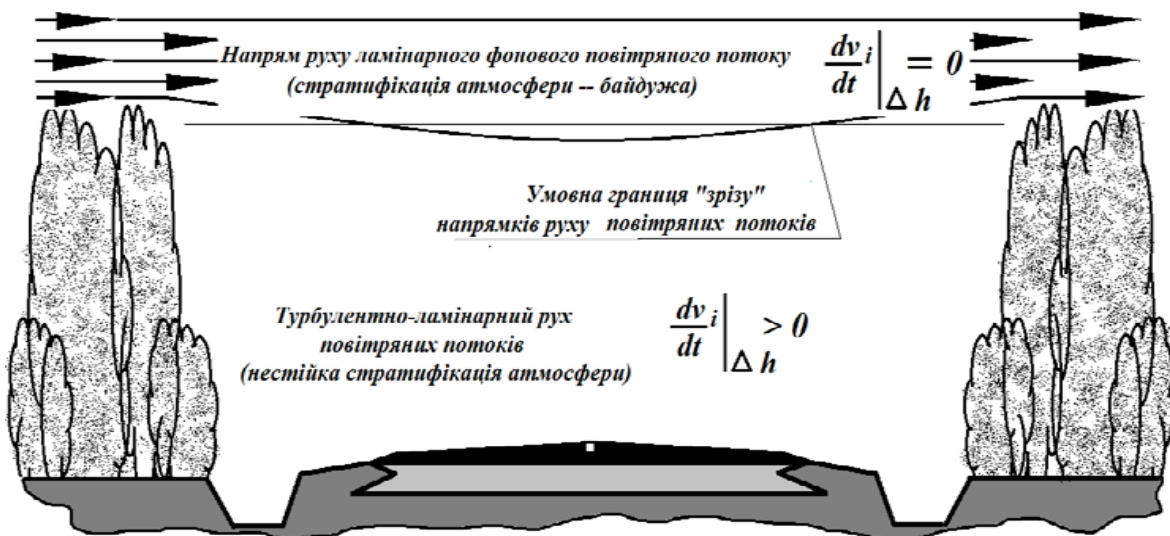


Рис. 2. Стан стійкості атмосфери відповідно до характеру стратифікації атмосфери над полотном проїжджої частини автомобільної дороги

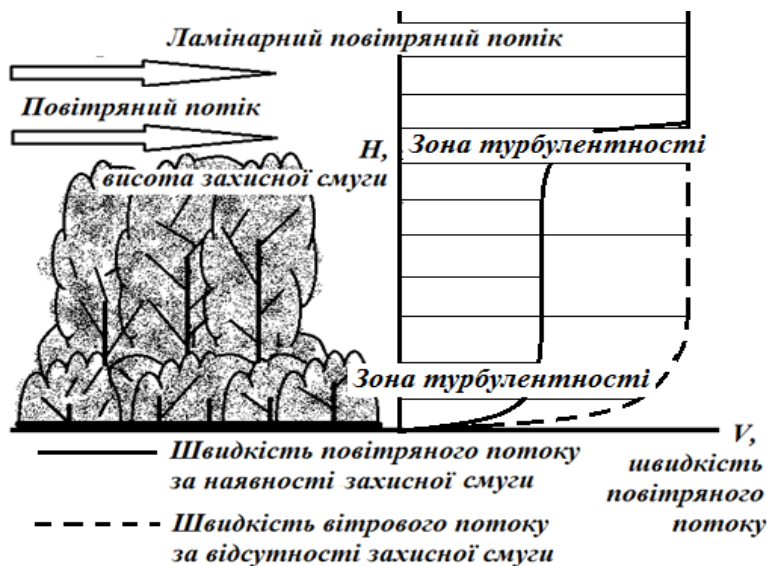


Рис. 3. Характер зміни швидкостей повітряних потоків за наявності і відсутності механічної перешкоди у вигляді елементів ландшафту

Для забезпечення надійного депонування транспортних викидів (особливо викидів мінерального пилу та технічного вуглецю у вигляді сажі) в поперечному профілі автомобільної дороги необхідно врахувати принцип стратифікаційного поділу атмосфери та характеристики повітряних потоків в зоні прилеглий до полотна проїжджої частини автодороги (рис. 3).

**Головні висновки:** Екологічна оптимізація конструкційних рішень резервно-технологічної смуги автомобільних доріг має передбачати максимально можливе обмеження динамічних процесів енерго-масопереносу забруднюючих речовин через контрольну поверхню цієї системи, яка повинна бути визначена її науково-обґрунтованими параметрами. При цьому, обов'язковою умовою є узгодження інженерної інфраструктури автодорожньої мережі з територіально-ландшафтними ознаками ПТГЕС віслюму.

Ефективним заходом підтримання екологічної рівноваги природно-техногенних геоєкосистем з високою щільністю автотранспортних мереж є створення штуч-

них лінійно-двобічних геохімічних бар'єрів у вигляді газо-пилізахисних смуг деревно-чагарникового типу, структура посадки яких передбачає наявність лабіринту штучно створюваних лакунарних порожнин у вигляді фітоценотичних ніш [7].

**Перспективи використання результатів досліджень.** Отримані результати досліджень можуть бути використані в галузі дорожнього будівництва та спрямовуватися на забезпечення екологічної безпеки в галузі дорожнього будівництва, при розробці відповідних нормативних документів та методичних рекомендацій, щодо будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Подальші дослідження передбачатимуть обґрунтування видового складу та структури деревних і чагарникових порід захисних смуг з урахуванням транспортного навантаження, дорожньо-кліматичного районування території, конструкційних особливостей резервно-технологічної смуги профілю автомобільної дороги тощо.

### Література

1. Батурин В.К. Техногенное химическое воздействие автомобильных дорог на экосистемы придорожной полосы. Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. 112 с.
2. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В. Екологічна оцінка шумового забруднення міста, спричиненого діяльністю автотранспортних засобів і стаціонарних джерел. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 4 (23)*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2018. С. 10–14.
3. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. Москва: Высшая школа, 2001. 296 с.
4. Лукіша В.В. Проблеми полезазахисних лісосмуг в агроландшафтах України в контексті змін клімату. *Екологічні науки: науково-практичний журнал 2 (25)*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019. С. 64–68.
5. Бахарев В.С., Шмандий В.М., Шмандий Е.В. Особенности формирования экологической опасности на региональном уровне и социогенные аспекты управления экологической безопасностью. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки*. Одеса: ОДАБТА, 2008. № 29. Ч. 1. С. 381–388.
6. Овчарук О.В., Шелудченко Л.С., Гуцол Т.Д. Экологическая характеристика конструкций газо-пылещазитных лесополос автомобильных дорог. *European Journal of Intelligent Transportation Systems 1(1)*, November 2018/ P. 7–14.
7. Вознюк С.В. Обґрунтування параметрів конструкції лабіринту лакунарних порожнин в структурі газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг: автореф. дис ... канд. техн. наук: 21.06.01. Кам'янець-Подільський, 2017. 27 с.