

ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ
МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ШЕЛУДЧЕНКО ЛЕСЯ СЕРГІЇВНА

УДК 504.06 : 625.72 : 629.3

ДИСЕРТАЦІЯ

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Л.С. Шелудченко

Науковий консультант **Шмандій Володимир Михайлович**, доктор технічних наук, професор

Кам'янець-Подільський - 2020

АНОТАЦІЯ

***Шелудченко Л.С.* Теоретичні основи та методи забезпечення екологічної безпеки автотранспортних мереж.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Подільський державний аграрно-технічний університет Міністерства освіти і науки України, Кам'янець-Подільський, 2020.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Київ, 2020.

За результатами проведених комплексних теоретичних та експериментальних досліджень у дисертаційній роботі запропоновано та обґрунтовано нові наукові положення, висновки, рекомендації, які дозволять підвищити рівень екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі з інтенсивними автотранспортними потоками, шляхом управління міграцією та депонуванням газо-пилових аерозолів.

Основні результати теоретичних досліджень та науково-технічні пропозиції підтверджують свою практичну цінність впровадженням у виробництво, які закріплені відповідними актами, та засвідчені патентами України на корисні моделі.

Загалом у дисертаційній роботі проведено аналіз попередніх досліджень та сучасних тенденцій в Україні та світі, щодо питання формування екологічної небезпеки в зоні впливу автодорожньої мережі. Встановлено основні чинники негативного впливу мережі автомобільних доріг на екологічну рівновагу природно-техногенних геоекосистем, які полягають у відчуженні територій, розчленуванні природних ландшафтів,

дестабілізації природно-територіальних комплексів, забрудненні придорожніх ландшафтів, які в сукупності призводять до їх незворотної трансформації.

На цій основі визначено, що міграція забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, за межі смуги відведення автомобільної дороги є важливою проблемою, яка в достатній мірі не вирішена. Доведено, що динаміка таких неконтрольованих міграцій визначається категорією автомобільної дороги, яка встановлює інтенсивність автотранспортних засобів, їх транспортно-експлуатаційні показники тощо. В свою чергу, поширення забруднюючих речовин залежить від характерних особливостей природних ландшафтів та наявності штучних об'єктів захисту придорожніх територій. Визначено, що екологічна раціоналізація ландшафтно-територіальної організації природно-техногенної геоекосистеми є пріоритетним рішенням, щодо можливості управління екологічною безпекою території із розвиненою автодорожньою мережею.

Встановлено, що варіабельність умов руху транспортних засобів функціонально прив'язані до автодорожньої мережі та до ландшафтно-територіальних умов конкретної природно-техногенної геоекосистеми, які в подальшому полягають у зміні режиму руху автотранспортних засобів, роботі двигунів внутрішнього згорання, витрат пального, і, як наслідок, до специфічних для кожної конкретної ділянки, функціональних характеристик викидів шкідливих речовин, умов їх подальшої міграції та депонування.

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 в цілому.

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.

На основі сформованої концепції науково-прикладної проблеми та основної робочої гіпотези виконано обґрунтування теоретичної та методологічної бази підвищення рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі та інтенсивними потоками автотранспортних засобів. Таким чином, встановлено функціональні ознаки автотранспортних потоків за критеріями їх неперервності; виконане аналітичне визначення балансу обсягів, структури та складу викидів забруднюючих речовин, які здійснюються під їх впливом.

Викиди мінерального пилу та пилових аерозолів визначені аналітичним шляхом в залежності від процесів дезінтеграції мінеральних речовин під час експлуатації автомобільних доріг та викидів в результаті абразійного зношування їх конструкції. Дана складова екологічної безпеки транспортної інфраструктури визначає конструкційні особливості, технічний рівень та експлуатаційний стан автомобільної дороги.

Структура, обсяги газових викидів та сажі визначені на основі частки транспортних засобів, які обладнані двигуном внутрішнього згорання та дизельним двигуном. За результатами узагальнення матеріального балансу усієї сукупності викидів забруднюючих речовин встановлені категорії автомобільних доріг, які здійснюють особливо небезпечний вплив на об'єкти довкілля за обсягами забруднення природно-техногенних геоекосистем.

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, які містять забруднюючу домішку транспортних викидів та їх максимального депонування в поперечному профілі автомобільної дороги.

Конструкційне забезпечення стратифікації шарів атмосфери, прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги, реалізується шляхом застосування газо-пилізахисних лісосмуг у вигляді двобічних “геохімічних” бар’єрів, які мають бути фрактально-узгоджені з природними ландшафтами із дотриманням їх науково-обґрунтованих конструкційних особливостей та схем посадки деревних та чагарникових порід. Окрім того, в дисертаційних дослідженнях запропонована ландшафтно-екологічна оптимізація конструкції профілю резервно-технологічних смуг автомобільних доріг на ділянках з особливими умовами руху (перехрестя, серпантини тощо).

Для забезпечення екологічно безпечного функціонування автотранспортного комплексу було застосовано показник автотранспортної ємності територіальної комунікаційної структури, який з точки зору системного аналізу є однією з визначальних ознак цієї структури. Він являється складовою транспортно-комунікаційних транзитних “коридорів” обміну енергії і речовини в системі та формує відповідний демографо-економічний каркас. Таким чином, була проведена еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми для забезпечення екологічної рівноваги (екологічної безпеки) природно-територіального комплексу. Як приклад даної

оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі в роботі наведено графоаналітичну оптимізацію автотранспортної інфраструктури Подільського регіону в межах Хмельницької області.

Загалом встановлено, що ландшафтна організацію ПТГЕС з розвинуеною автодорожньою мережею слід розглядати як деякий мозаїчний комплекс, який складається з окремих ландшафтно-територіальних басейнів із єдністю спільних ландшафтних ознак. Кожен із них топологічно має характеризуватись головними осями і їх геометричним центром та обмежуватись деякими домінантами басейнового фрагменту ПТГЕС. Таким чином, підвищення рівня автотранспортної ємності ПТГЕС необхідно здійснювати шляхом створення штучних об'єктів ландшафту, які в свою чергу будуть підсилювати геоморфологічні ознаки ландшафтно-територіального басейну автомобільної дороги.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено процедуру та алгоритм управління проектами ПТГЕС з розвинуеною автотранспортною мережею для застосування в системах автоматизованого проектування, обґрунтовані відповідні рекомендації для проектних організацій та установ.

Результати досліджень пройшли достатню апробацію.

Ключові слова: екологічна безпека, автодорожня мережа, автотранспортний потік, ландшафти, викиди, забруднюючі речовини, міграційні процеси, процеси депонування, моделювання, проекти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ

ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Розроблення конструкцій газо-пилізахисних лісосмуг автодорожньої мережі : монографія / Л.С. Шелудченко. - Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2015. – 134 с.

2. Механіка контактного руйнування автомобільних доріг : монографія / Б.А. Шелудченко, Л.С. Шелудченко. - Кам'янець-Подільський: ТОВ "Каліграф", 2016. – 66 с. ISBN: 978-966-1686-07-5. *Особистий внесок - розроблено та підготовлено до видання розділи в яких викладено результати досліджень щодо дезінтеграції мінеральних матеріалів конструкції автомобільних доріг в результаті їх контактного руйнування.*

3. Екологічна небезпека експлуатаційного руйнування автомобільних доріг : монографія / Шелудченко Л.С., Шмандій В.М., Ригас Т.Є. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 93 с. ISBN: 978-620-2-07234-2. *Особистий внесок – розроблено розділи 1-5.*

4. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Овчарук О.В., Носко В.Л. (Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія / за ред. П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб). – Полтава: ТОВ НВП Укрпромторгсервіс, 2018. С. 300-310. ISBN: 978-617-7464-15-9. *Особистий внесок - розроблено модель та методи практичної реалізації її досліджень щодо екологічної оптимізації ділянок автомобільних доріг автотранспортної мережі.*

5. Аеродинаміка газо-пилових повітряних аерозолів : монографія / Шелудченко Б.А., Кухарець С.М., Шелудченко Л.С., Ярош Я.Д, Білецький В.Р.– LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 95 с. ISBN: 978-3-659-93838-2. *Особистий внесок - розроблено інформаційну модель резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Встановлено основні чинники формування мікроклімату в зоні смуги відведення автомобільної дороги.*

6. Екологічна безпека та економіка : монографія / М.І. Сокур, В.М. Шмандій, Є.К. Бабець, В.С. Білецький, І.Є. Мельнікова, О.В. Харламова, Л.С. Шелудченко. – Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2020. – 240 с. *розроблено розділ 1, а зокрема аналіз формування екологічної небезпеки в зоні впливу автодорожньої мережі.*

7. Providing environmental safety in the conditions of the dense road network: Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity : Collective monograf. Riga : Izdevnieciba "Bultija Publishing", 2020. P. 498-516. *Особистий внесок - розроблено систему захисту придорожніх ландшафтів у вигляді газо-пилрозахисних смуг автомобільних доріг різних категорій, які мають фрактальне узгодження з ПТГЕС.*

. Статті, які входять до наукометричних баз даних та фахових видань України

8. Шелудченко Л.С., Сльоз А.М. Аналіз рівнів екологічної безпеки автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спец. вип. – ПДАТУ. Кам'янець-Подільський, 2013. С.215-217. Особистий внесок - встановлено показники балансових викидів, які продукуються автотранспортними потоками.*

9. Sheludchenko L., Voznyuk S. The aerodynamics of polluting aerosol sinthemaze of lacunar cavities gas – dustpro of ingstrips of roads. Buletin Ştiinţific Al Centrului Universitar Norddin Baia Mare, Seria D. – publishing house of the technical university of clujnapoca - utpress, 2014. P. 63-70. *Особистий внесок – визначено конструкційні параметрів лабіринту лакунарних порожнин в масивах газо-пилрозахисних лісосмуг автодорожньої мережі.*

10. Шелудченко Л.С. Автоматизоване проектування деревно-чагарникової газо-пилрозахисної смуги автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спец. вип. – ПДАТУ, Кам'янець-Подільський, 2014. С.152-154.*

11. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Аналітичне обґрунтування параметрів лакунарності лісових газо-пилрозахисних смуг автомобільних доріг. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування". Спец. вип. – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2014. С.56-60. Особистий внесок – запропоновано методику аналітичного обґрунтування конструкції лабіринту лакунарних порожнин лісових газо-пилрозахисних смуг автомобільних доріг.*

12. Sheludchenko L., Voznyuk S., Nosko V. The theoretical basis of the process of transport of contaminants in the prideaux-roznych landscapes in the presence of the dust belts. Scientific journal "Ecological safety": Kremenichuk: KrNU, 2015. – Number 1/2015 (19). P. 22-25. *Особистий внесок – запропоновано методику аналізу міграційних процесів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг.*
13. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на атмосферне повітря в Хмельницькій області. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.* – К.: ВЦ НУБіП України, 2015. – Вип. 214. С. 58-64. *Особистий внесок – виконано аналітичні дослідження щодо впливу автотранспортного комплексу на якість атмосферного повітря в Хмельницькій області.*
14. Sheludchenko L., Voznyuk S. The results of analytical investigation of aerodynamic properties forest gas-dustproofings trips with artificially created lacunar cavities. *Scientific journal "Ecological safety".* Kremenichuk: KrNU, 2016. – Number 1/2016 (21). P. 81-84. *Особистий внесок – виконано аналіз аеродинамічних характеристик потоків повітряного аерозолі.*
15. Шелудченко Л.С., Носко В.Л., Овчарук О.В. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття. *Науковий журнал "Екологічна безпека".* Кременчук: КрНУ, 2017 № 1/2017 (23). С. 58-62. *Особистий внесок - встановлено критерії та обсяги дезінтеграції мінеральних речовин конструкційних матеріалів автомобільних доріг.*
16. Шелудченко Л.С. Дослідження матеріального балансу "пальне – викиди". Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування".* Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2017. С.133-140.

17. Шелудченко Л.С. Аналітичне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі автотранспортними потоками. *Наук.-практ. журнал "Екологічні науки"*. Вип. №3-4 2017 (18-19) – Держ. екол. академія післядипломної освіти і управління, Київ, 2017. С. 24-27.
18. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автотранспортними мережами. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2017 № 2/2017 (24). С. 9-13.
19. Sheludchenko L. Dynamics modeling of traffic-related exhaust aerosol. *Scientific journal "Environmental problems"* Vol. 2, №4. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2017. P. 191-194.
20. Sheludchenko L. Optimization of structural parameters of the cross-sectional profile of reserve and technological lanes of highways. *Intellectual Archive Bulletin* (ID 1911), March 2018. – 6 с.: The Library and Archives Canada: collectionscanada.gc.ca/ourl/res.php?url_ver=Z39.88.
21. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Кобринська Л.М. Синхронізація колективного руху потоків автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі. *The international research and practical conference: "The development of technical sciences: problems and solutions"*. – Brno: Baltija Publishing, 2018. P. 176-180. Особистий внесок - запропоновано принципову схему руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі, внутрішня зона якого визначається еліпсом.
22. Шелудченко Л.С. Динаміка емісії пилових аерозолів внаслідок трибологічного зношування дорожнього покриття автомобільної дороги рушієм автотранспортних засобів. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2018 № 1/2018 (25). С. 69-75.
23. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як відкритої термодинамічної системи. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування"*. Вип. №1 (17) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2018. С.86 - 91.

24. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Поліщук Д.В. Функціональні ознаки автотранспортного потоку та шляхи забезпечення екологічної безпеки природних територій. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №4 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163 – 167. *Особистий внесок - встановлено ознаки, за яких транспортні засоби набувають функціональних ознак автотранспортного потоку.*
25. Шелудченко Л.С. Динамика миграции газопылевых аэрозолей, произведенных автотранспортными потоками. *Ежеквартальный научно-технический журнал «Гидрометеорология и экология»* № 2 (89), Министерство энергетики Республики Казахстан, Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Алматы, 2018. С. 52-63.
26. 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. *Особистий внесок – проведено екологічну оцінку впливу автотранспортних засобів на забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища.*
27. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М. Екологічна оцінка та прогнозування динаміки трансформації ландшафту під впливом дії автотранспортної мережі. *Науковий журнал “Екологічна безпека”*. Кременчук: КрНУ, 2018 № 2/2018 (26). С. 70-75. *Особистий внесок - прогнозування динаміки трансформації придорожного ландшафту під впливом дії автотранспортної мережі на етапі проектування автомобільної дороги.*
28. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Гуцол Т.Д. Экологическая характеристика конструкций газо-пылезащитных лесополос автомобильных дорог». *European Journal of Intelligent Transportation Systems* 1(1), November 2018. P. 7-14. *Личный взнос – разработаны конструкции газо-пылезащитных лесополос для автомобильных дорог разных категорий.*

29. Шелудченко Л.С. Поліщук Д.В., Комарніцький С.П., Носко В.Л., Кобринська Л.В. Забезпечення експлуатаційної надійності конструкції автомобільних доріг шляхом дослідження її реологічних властивостей. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №6 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163 – 167. *Особистий внесок – питання підвищення технічного ресурсу автомобільних доріг шляхом використання фізичних моделей-імітаторів, які спрямовані на вивчення механізму деформування конструкції автомобільної дороги та її руйнування.*
30. Шелудченко Л.С. Функціональні ознаки автотранспортного комплексу. «Автомобіль і електроніка сучасні технології» *Електронне наукове фахове видання*, 13/2018, ХНАДУ, Харків, 2018. С.75-80.
31. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Замойський С.М., Теренов Д.Б. Екологічне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі потоками автотранспортних засобів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 25*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019. *Особистий внесок – проведене аналітичне оцінювання обсягів утворення та емісії сажі (технічного вуглецю), яка утворюється від частки автотранспортних засобів обладнаних дизельним двигуном в транспортному потоці.*
32. Sheludchenko L., Ivanyshyn V., Hutsol T., Rud A., Skorobogatov D. Mass transfer management and deposition of contaminants within car road zones. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference / Volume 1*. Rezekne Academy of Technologies, (2019). P. 70-74. *Особистий внесок – розроблено модель поширення забруднюючих речовин, спричинених потоками автотранспортних засобів, та запропоновано удосконалення методів захисту придорожніх територій шляхом управління повітряними потоками в структурі газопилозахисної смуги.*

33. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Поліщук Д.В., Замойський С.М. Семенишена Р.В. Організація резервно-технологічної смуги автомобільної дороги для підвищення рівня екологічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 28*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2020. С. 216-221. *Особистий внесок – розроблено базові принципи та структуру об'єктно-орієнтованого моделювання стратифікації приземних шарів атмосфери в межах резервно-технологічної смуги автомобільної дороги*

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

34. Шелудченко Л.С. Використання лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг, як штучних геохімічних бар'єрів. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції “Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання”*. Чернівці: “Місто”, 2015. С.178-179.

35. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Антропогенна трансформація ландшафтів. Межі ергодичності процесів трансформації та усереднення за часом. *Матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування”*. Київ: ДКЗ, 2015. С.315-316. *Особистий внесок – виконано аналіз основних чинників техногенної трансформації ландшафтів ПТГЕС*.

36. Шелудченко Л.С. Експлуатаційна надійність автомобільних доріг, як чинник екологічної безпеки. *Тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції “Екологічна безпека держави”*. Київ: НАУ, 2016. С.11-12.

37. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Екологічна ефективність газо-пилізахисних лісосмуг в інфраструктурі автомобільних доріг. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції “Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання”*. Чернівці: “Місто”, 2016. С.197-198. *Особистий внесок -*

встановлено ефективність застосування газо-пилозахисних лісосмуг в межах смуги відведення автомобільної дороги.

38. Шелудченко Л.С. Склад і структура пилових викидів автотранспортних потоків. *Тези доповідей XIV міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: КрНУ, 2016. С.121.

39. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А. Експериментальна індикація динаміки ламінарно-турбулентних повітряних аерозольних викидів автотранспортних потоків. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.158-159. *Особистий внесок – розроблено методу індикації повітряних аеродинамічних потоків за допомогою грубодисперсного снігового аерозолю.*

40. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В., Кобринська Л.В. Оцінка екологічних ризиків проектів лісових газо-пилозахисних смуг. *Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта Поділля. Ч. I”*. Кам’янець-Подільський: Крок, ПДАТУ, 2017. С.53-55. *Особистий внесок – запропоновано метод та виконано оцінку виникнення екологічних ризиків на стадії проектування (реконструкції) інфраструктури автомобільних мереж.*

41. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як термодинамічної системи. *Тези доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. С. 75.

42. Шелудченко Л.С., Кобринська Л.В., Вознюк С.В. Дослідження матеріального балансу системи “паливо – викиди автотранспортних засобів”. *Збірник наукових праць міжнародної наукової конференції до 117 річниці від дня народження академіка П.М. Василенка*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2017. С. 228-230. *Особистий внесок –*

виконано оцінку обсягів викидів забруднюючих речовин автотранспортними засобами, які рухаються у складі потоків.

43. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автодорожньою мережею. *Матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти”*. Полтава: ПДАА, 2017. С. 169-171.

44. Шелудченко Л.С. Сучасні тенденції екологічної безпеки будівництва автомобільних доріг в транспортно-комунікаційних системах. *Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції”*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2018. С. 40-42.

45. Шелудченко Л.С. Інформаційна модель міграції газо-пилових викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг. *Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура»*. Київ, НУБіП, 2018. С. 132-135.

46. Шелудченко Л.С. Динаміка міграційних процесів та депонування викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *II Міжнародна науково-практична інтернет конференція «Хімія, екологія та освіта» (15-16 травня 2018 року)*. Полтава: ПДАА, 2018. С. 57-60.

47. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Плахтій Д.П. Оцінка пилового забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій в результаті руйнування дорожнього покриття автомобільних доріг. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і здобувачів вищої освіти «Актуальні проблеми соціально-гуманітарних і природничих наук в контексті сучасних глобальних викликів»*. Кам’янець-Подільський: ПДАТУ, 2018. С. 394-397. *Особистий внесок – встановлено обсяги утворення мінерального пилу та гумової крихти в зоні контакту “дорога – рушій автотранспортного засобу” в результаті фретінг-втому,*

пітінгового пошкодження, утворення каверн і макро- і мезо-тріщин у дорожньому покритті.

48. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Поліщук Д.В. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека, як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи»*. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С. 195. *Особистий внесок – розроблено граф транспортно-комунікаційного опорного каркасу природно-територіального комплексу.*

49. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М. До питання забезпечення екологічної безпеки територій з розвиненою інфраструктурою автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць VII-й Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*. Вінниця: ВНТУ, 2019. С.26. *Особистий внесок – питання впливу автотранспортної мережі на довкілля.*

50. Шелудченко Л.С., Замойський С.М. Управління екологічною безпекою в умовах функціонування автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*. Кременчук: КрНУ, 2019. С. 92-96. *Особистий внесок – розроблення алгоритму управління екологічною безпекою.*

51. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В. Застосування програмного комплексу SoundPLAN для моделювання акустичної обстановки і поширення шкідливих речовин, спричинених діяльністю автомобільних засобів. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*. Кременчук: КрНУ, 2019. С. 80-84. *Особистий внесок – розроблення програмного комплексу SoundPLAN для моделювання процесу поширення шкідливих речовин, спричинених діяльністю автомобільних засобів*

52. Sheludchenko L.S., Semenyshena R.V. The highway – an important element of the road economy which has negative impact on the environment.

Метериали XVI міжнародна научна практична конференція «Новината за напреднали наука – 2020». Софія «Бел. Град – БГ». С. 6-9. *Особистий внесок – особливості негативного впливу на довкілля автотранспорту.*

Патенти України на корисну модель

53. Патент України №99998 Лісова газо-пилозахисна смуга автомобільної дороги. Л.С. Шелудченко, Б.А. Шелудченко, С.В. Вознюк, І.А. Шелудченко (Україна). – u201501052; заявлено 10.02.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. №12.

54. Патент України №109012 Газо-пилозахисна лісосмуга автомобільної дороги. Л.С.Шелудченко, С.В. Вознюк, Б.А.Шелудченко, В.Б. Гаврилюк (Україна). – u201601003; заявлено 08.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.

Праці, які додатково відображають результати роботи

55. Шелудченко Л.С. Автомобільні дороги: експлуатаційна надійність та екологічна безпека. Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2017. – 62 с.

56. Шелудченко Л.С. Еколого-економічна ефективність газо-пилозахисних смуг автодорожньої мережі. *Міжгалузевий науково-практичний журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 4-5(172-173)/2015, 2015. С.72-74.

57. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В. Оцінка впливу дорожньо-транспортного комплексу на якість атмосферного повітря м. Кам'янець-Подільський. *Міжгалузевий науково-практичний журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 9-10(177-178)/2015, 2015. С.81-87. *Особистий внесок – виконано аналіз чинників впливу автотранспортного комплексу на якість атмосферного повітря.*

ABSTRACT

Sheludchenko L. S. The theoretical basis and methods of ensuring environmental safety of road networks. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 21.06.01 "Ecological safety". Thesis defense will take place at the meeting of the dissertation Council D 26.880.01. State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2020. Specialized Academic Council D 26.880.01.

Thesis defense will take place at the meeting of the dissertation Council D 26.880.01. State Ecological Academy of **Postgraduate Education and Management of the Ministry of Education and Science of Ukraine**, Kyiv, 2020.

According to the results of complex theoretical and experimental researches, new scientific provisions, conclusions, and recommendations are proposed and substantiated in the dissertation. They will help to improve the level of ecological safety of natural-technogenic geoecosystem with a high density of the road network with heavy traffic flows by controlling the migration and deposition of gas-and-dust aerosols.

The main results of theoretical studies and scientific and technical proposals confirm their practical value by introducing them into production. They are enshrined in relevant acts and certified by Ukraine's utility model patents.

In general, the dissertation analyzes the previous research and current trends in Ukraine and the world. It relates to the issue of environmental hazards in the area of influence of the road network. There have been established the main factors with the negative impact of roads on the ecological balance of natural-technogenic geoecosystem. They consist of alienated territories, dismemberment of natural landscapes, destabilization of natural-territorial complexes, pollution of roadside landscapes, which together lead to their irreversible transformation.

On this basis, it has been determined that the migration of pollutants produced by motor traffic flows beyond the motorway lane. That is an important problem that has not been sufficiently resolved. It is proved that the dynamics of such uncontrolled migration is determined by the category of highway, which determines the intensity of vehicles, their transport and operating indicators, etc. In turn, the spread of pollutants depends on the characteristic features of natural

landscapes and the presence of artificial objects for the protection of roadside areas. It has been determined that ecological rationalization of the landscape organization of the natural-technogenic geo-ecosystem is a priority decision regarding the possibility of managing the ecological safety of the territory with the developed road network.

It is established that the variability of the traffic conditions of the vehicles is functionally linked to the road network and landscape-territorial conditions of a specific natural-technogenic geo-ecosystem.

Subsequently they consist of changing the mode of movement of vehicles, the operation of internal combustion engines, fuel costs, and, as a consequence, to site-specific, functional characteristics of emissions of harmful substances, conditions of their subsequent migration and deposition.

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.

There was performed the substantiation of the theoretical and methodological base of the increase of ecological safety levels of natural-technogenic geo-ecosystems with high density of the road network and intensive flows of vehicles. They are based on the formed concept of scientific-applied problem and the basic working hypothesis. Thus, the functional characteristics of traffic flows were established according to the criteria of their continuity. Also, there has been made an analytical determination of the balance of volumes, structure and composition of pollutant emissions that are carried out under their influence.

Emissions of mineral dust and dust aerosols are determined in an analytical way. They depend on the processes of disintegration of mineral substances during the operation of roads and emissions as a result of abrasive wear of their construction. This component of the ecological safety of the transport infrastructure determines the structural features, technical level and operational condition of the highway.

Structure, gas emissions and soot are determined on the basis of a fraction of vehicles equipped with an internal combustion engine and a diesel engine. As a result of summarizing the material balance of the entire set of pollutant emissions, motorway categories have been established which exert a particularly dangerous influence on environmental objects by the volume of pollution of natural-techno-geo-ecosystems.

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 order to ensure the ecologically safe functioning of the motor transport complex, an indicator of the transport capacity of the territorial communication structure was used. In terms of system analysis, it is considered to be one of the defining features of this structure. It is an integral part of the transport and communication transit “corridors” of energy and substance metabolism in the system and forms an appropriate demographic and economic framework. Thus, ecological and technological optimization of the support frame of the road network of the natural-technogenic geo-ecosystem was carried out. It ensures ecological balance (ecological security) of the natural-territorial complex. As an example of this optimization of the support frame of the road network, the paper presents graph-analytical optimization of the motor transport infrastructure of the Podolsk region within the Khmelnytsky district.

In general, it has been established that the landscape organization of the NATESA (natural-technogenic safety of hydro-ecosystems) with the developed road network should be considered as a mosaic complex. It consists of separate landscape-territorial basins with the unity of common landscape features. Each of them should be topologically characterized by the principal axes and their geometric center. And they should be limited by some dominants of the basin fragment of the NATESA. Thus, the increase of the capacity of the NATESA motor vehicle should be done by creating artificial landscape objects. In turn, they will enhance the geomorphological features of the highway landscape and territorial basin.

On the basis of theoretical and experimental researches there have been developed the procedure and algorithm of project management of NATESA with the developed motor transport network for application in automated design systems. There also have been substantiated the corresponding recommendations for the project organizations and institutions.

The results of the studies have been sufficiently tested.

Key words: environmental safety, road network, traffic flow, landscapes, emissions, pollutants, migration processes, landfill processes, modeling, projects.

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	24
РОЗДІЛ I	
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМ	
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ.	
ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
1.1. Сучасні тенденції та перспективи розвитку автотранспортного комплексу в Україні та світі	40
1.2. Характерні особливості динаміки та структури складу автотранспортних потоків.....	50
1.3. Вплив автодорожніх мереж на екологічну рівновагу природно-техногенних геоекосистем	53
1.4. Транспортно-екологічна раціоналізація структури автотранспортного комплексу	62
1.5. Динаміка міграційних процесів та депонування викидів, які продукуються автотранспортними потоками	66
1.6. Аналіз методів захисту природно-техногенних геоекосистем від впливу мережі автомобільних доріг.....	74
1.7. Управління екологічною безпекою територій з щільною мережею автомобільних доріг	89
1.8. Завдання досліджень	94
РОЗДІЛ II	
СТРУКТУРА, СКЛАД ТА ОБСЯГИ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЯКІ ПРОДУКОВАНІ ПОТОКАМИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	
2.1. Викиди мінерального пилу та пилових аерозолів	97

2.1.1. Процеси дезінтеграції мінеральних речовин при експлуатації автомобільних доріг.....	97
2.1.2. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття	110
2.1.3. Обсяги викидів диспергованих мінеральних речовин, які утворюються в результаті абразійного зношування конструкції автомобільних доріг	121
2.2. Структура та обсяги газових викидів продукуваних транспортними потоками	128
2.3. Обсяги викидів сажі автотранспортними засобами транспортних потоків, які обладнано дизельними двигунами	138
2.4. Узагальнення матеріального балансу викидів, які продукуються автотранспортними потоками	143
Висновки за розділом II	147

РОЗДІЛ III

ДИНАМІКА ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ І ДЕПОНУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ В МЕЖАХ СМУГИ

ВІДВЕДЕННЯ АВТОДОРОГИ	149
3.1. Дифузія аерозольних викидів автотранспортних потоків	149
3.2. Динаміка аерозолів газо-пилової хмари викиду в турбулентних роторах	157
3.3. Динаміка ламінарно-турбулентних повітряних потоків в межах смуг відведення автомобільних доріг	160
3.4. Основні чинники формування мікроклімату в зоні смуги відведення автомобільної дороги	168
3.5. Сепарація аерозолію газо-пилової хмари викидів та депонування пилових і сажових викидів, які продукуються автотранспортними потоками	176

3.6. Результати експериментальної ідентифікації динаміки ламінарно-турбулентних повітряних потоків аерозолію	186
3.7. Розробка інформаційної моделі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги	194
3.8. Сезонні особливості динаміки процесів масопереносу в межах смуги впливу автодороги	201
Висновки за розділом III	205

РОЗДІЛ IV

ЕКОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ

АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	208
4.1. Функціональні ознаки автотранспортного потоку	208
4.2. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі	214
4.3. Оптимізація конструкційних параметрів профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг	226
4.4. Екологічна оптимізація динаміки автотранспортних потоків на ділянках автомобільних доріг з особливими умовами руху . . .	231
4.4.1. Синхронізація колективного руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі	232
4.4.2. Синхронізація колективного руху автотранспортних потоків на ділянках серпантину (у шпильках) автомобільних доріг	237
4.5. Автодорожня мережа, як термодинамічна система	242
4.6. Екологічна ефективність застосування газо-пилізахисних лісосмуг деревно-чагарникового типу	247
4.7. Дотримання екологічної безпеки ландшафтів природно- територіальних комплексів, які трансформовано автотранспортною мережею	260

Висновки за розділом IV	264
РОЗДІЛ V	
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ. . . .	267
5.1. Прогнозування якості проектів будівництва та реконструкції автомобільних доріг за показниками екологічної безпеки	267
5.1.1. Визначення властивостей ознак природно-техногенної геоекосистеми	268
5.1.2. Оцінювання та узагальнення багатопараметричної інформації для порівняння показників якості варіантів проектів	271
5.1.3. Практична реалізація прогнозування якості проекту раціоналізації автотранспортної мережі	276
5.2. Основні принципи управління проектами природно- техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею	280
5.3. Еколого-економічне оцінювання проектів будівництва та реконструкції автодорожніх мереж	290
5.4. Основні результати практичної реалізації результатів досліджень	298
ВИСНОВКИ.....	302
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	306
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Автотранспортний комплекс, який формується інфраструктурою автодорожньої мережі та сукупністю автотранспортних засобів, є суттєвим чинником техногенного впливу на природно-антропогенні геоекосистеми: призводить до відчуження земель, розчленування придорожніх ландшафтів, дестабілізації екосистем та подальшої трансформації природно-територіальних комплексів в цілому. Одним із факторів впливу є емісія забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, та спричиняють суттєвий вплив на об'єкти навколишнього середовища та здоров'я людей.

Процеси міграції та депонування забруднюючих речовин, які здійснюються автотранспортними потоками, зумовлені багатьма чинниками різного генезису. Зокрема, це ландшафтні особливості рельєфу місця трасування дороги, геохімічна активність території природно-техногенної геоекосистеми, структура біоценозів, наявність захисних бар'єрів (природних і штучно створених), конструкційні, транспортні, фізико-географічні та соціально-економічні особливості інфраструктури автодорожньої мережі, інтенсивність автотранспортних потоків тощо. Таким чином, забезпечення екологічно безпечного функціонування автомобільно-комунікаційної мережі має передбачати системний підхід до розроблення концепції розвитку автотранспортного комплексу в межах конкретних природно-техногенних геоекосистем. Даний підхід передбачає економічну та транспортну доцільність функціонування автодорожньої мережі, що уже на стадії проектування буде забезпечувати достатній рівень екологічної безпеки шляхом зменшення техногенної трансформації природно-територіальних комплексів.

Саме тому, обґрунтування науково-методологічних основ екологічно безпечного функціонування мережі автомобільних доріг, як важливої складової інженерно-територіальної інфраструктури автотранспортного

комплексу, та методів їх практичної реалізації є *актуальною науково-практичною проблемою*.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам діяльності, які визначено 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. Дисертаційна робота виконана відповідно до 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. В основу дисертаційної роботи покладено результати науково-дослідних робіт, які виконувались в межах держбюджетної тематики Подільського державного аграрно-технічного університету відповідальним виконавцем яких є автор: «Оптимізувати аеродинамічні властивості лісових газо-пилозахисних смуг автомобільних доріг для запобігання міграції забруднюючих речовин» (№ ДР 0115U003733); «Обґрунтувати структуру опорного транспортно-комунікаційного каркасу для екологічної оптимізації регіональної автотранспортної мережі» (№ ДР 0117U001625); «Розробити інформаційну модель міграції та динаміки депонування шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками» (№ ДР 0117U001626).

Ідея роботи полягає у забезпеченні еколого-безпечного функціонування автотранспортної мережі шляхом управління процесами поширення забруднюючих речовин у складі повітряного потоку та їх максимального депонування у межах резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

Мета і завдання досліджень. *Мета роботи* полягає у розробленні теоретичних основ та практичних рішень щодо підвищення рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі та інтенсивними автотранспортними потоками, шляхом управління міграцією газо-пилових аерозолів, які здійснюються викидами автотранспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі *завдання*:

- розробити методологічні аспекти дисертаційного дослідження, виявити та застосувати ефективні апробовані методи проведення теоретичних та прикладних досліджень;
- поглибити та розширити наукові уявлення щодо закономірностей та особливостей виникнення екологічної небезпеки в умовах впливу автодорожніх мереж з інтенсивними потоками автотранспортних засобів; розробити модель формування екологічної небезпеки;
- визначити ознаки колективного синхронізованого руху в складі автотранспортного потоку автомобільних доріг категорій I-а, I-б, II, III, IV, V, встановити балансові обсяги, склад та структуру газо-пилових викидів;
- розробити базові принципи та структуру об'єктно-орієнтованого моделювання стратифікації приземних шарів атмосфери в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг та відповідних процесів масопереносу забруднювачів в залежності від характеристик рельєфу ландшафту та конструкційних параметрів профілю автомобільної дороги;
- виконати ландшафтно-транспортну раціоналізацію типових структур опорних каркасів територій природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами;
- обґрунтувати екологічно оптимальні конструкційні параметри профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг для автомобільних

доріг різних категорій, відповідних систем та об'єктів інженерного захисту придорожніх ландшафтів;

- розробити принципи прогнозування техногенної трансформації ландшафтів та алгоритм управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами.

Об'єкт досліджень – процеси формування та поширення екологічної небезпеки в умовах функціонування розвиненої мережі автомобільних доріг під впливом дії автотранспортних потоків, процесів емісії, міграції та депонування газо-пилових викидів автотранспортних засобів.

Предмет досліджень – показники інтенсивності та щільності автотранспортних потоків, обсяги, структура та склад газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними засобами, еколого-ландшафтні та конструкційні параметри резервно-технологічних смуг автомобільних доріг.

Методи досліджень. Основні результати дисертаційної роботи були вирішені відповідно до сучасних методів наукових досліджень: на підставі системного аналізу та узагальнення багатопараметричної інформації про динаміку техногенної трансформації природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами (екологічна оптимізація об'єктів інфраструктури мережі автомобільних доріг, розроблення науково-методологічних основ екологічної безпеки системи “автомобіль – дорога – довкілля”), законів термодинаміки, енерго- масопереносу та аеродинаміки (дослідження процесів міграції газо-пилових викидів автотранспортних засобів, ландшафтно-просторового розподілу депонування забруднюючих інгредієнтів, екологічної ефективності застосування захисних об'єктів інфраструктури автомобільних доріг), імітаційного моделювання за методами фізико-динамічних аналогій (еколого-транспортна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі та оптимізація конструкційних параметрів профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг). Аналітичні дослідження виконано із застосуванням

методів фрактальної геометрії (дослідження процесів адгезії пилових аерозолів на поверхнях ландшафту, дотримання екологічної безпеки ландшафтів, які трансформовано автодорожньою мережею), аналізу функцій (визначення функціональних ознак автотранспортних потоків) з використанням імовірно-статистичних методів та методів математичного аналізу. Експериментальні дослідження реалізовано в лабораторних та ландшафтно-територіальних умовах з використанням спеціально розроблених випробувальних стендів (лабораторних установок), фрагментів реальних введених до експлуатації ділянок автодорожніх мереж та в камеральних умовах за допомогою сертифікованих комплектів вимірювального обладнання за відповідно адаптованими стандартними методиками. Отримані експериментальні результати оброблені математичними та імовірно-статистичними методами за допомогою ПЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у науковому обґрунтуванні методів забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем в умовах впливу автотранспортної мережі, які забезпечують максимальне депонування забруднюючих речовин у резервно-технологічній смузі автомобільних доріг, суттєво зменшуючи зону впливу.

При цьому:

- *вперше* аналітично визначено значення щільності автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності окремих автотранспортних одиниць набуває ознак їх колективного синхронізованого руху в складі автотранспортного потоку, що дозволяє провести комплексну оцінку матеріального балансу викидів забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, залежно від категорії автомобільної дороги та визначити їх вплив на придорожні ландшафти;

- *вперше встановлено* функціональну залежність поміж обсягами пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, та мірою дисперсії дезінтегрованих конструкційних матеріалів автодорожнього покриття, що дозволяє на стадії проектування (або реконструкції) автомобільної дороги оптимізувати заходи захисту придорожніх ландшафтів в умовах розвиненої автотранспортної мережі залежно від проектованої інтенсивності автотранспортних потоків, міцності і довговічності конструкції автомобільних доріг відповідних категорій;
- *вперше обґрунтовано* базові принципи та *розроблено* типові варіанти об'єктно-орієнтованих графо-аналітичних моделей стратифікації приземних шарів атмосфери в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг для різних ландшафтних умов природно-техногенних геоекосистем, для забезпечення надійного депонування пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, та для забезпечення умов відновлення структури газового складу фонові атмосфери до параметрів властивостей “стандартної” атмосфери;
- *вперше запропоновано* використання прийомів імітаційного фізико-динамічного моделювання опорних каркасів автотранспортної мережі для ландшафтно-транспортної раціоналізації типових структур природно-техногенних геоекосистем головною задачею яких є забезпечення екологічної безпеки природно-територіального комплексу;
- *набули подальшого розвитку* загальні теоретичні положення щодо управління екологічною безпекою природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі та інтенсивними потоками автотранспортних засобів, які є важливим науковим підґрунтям для розроблення ефективних інженерно-конструкційних рішень щодо зменшення дії їх негативного впливу відповідно до конкретних ландшафтно-територіальних умов;

- *набули подальшого розвитку* аналітичні методи дослідження процесів атмосферного масопереносу забруднюючих речовин на територіях прилеглих до автомобільних доріг залежно від характеристик рельєфу ландшафту природно-техногенної геоекосистеми та конструкційних параметрів профілю автодороги;
- *набули подальшого розвитку* методи розрахунку балансових обсягів, структури та хімічного складу газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками для доріг різних категорій;
- *удосконалено* екологічно оптимальні *конструкційні параметри* профілів поперечних перерізів резервно-технологічних смуг автомобільних доріг різних категорій та відповідних систем та об'єктів інженерного захисту придорожніх ландшафтів, а зокрема покращення пилозахисних властивостей газо-пилозахисних смуг (розроблення конструкцій лакунарних порожнин);
- *удосконалено процедуру* та алгоритм управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами на підставі узагальнення еколого-економічної інформації та інформації про ресурсні потенціали для будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі.

Практичне значення одержаних результатів полягає у застосуванні встановлених закономірностей та особливостей виникнення і поширення екологічної небезпеки під впливом дії автодорожньої мережі відповідні проектні установи та організації, що дозволяє на стадії проектування будівництва (реконструкції) автомобільних доріг (автодорожньої мережі) забезпечити диверсифікацію наявних природних ресурсів та забезпечити оптимізацію проектних параметрів автодорожньої інфраструктури за показниками екологічної безпеки. Результати досліджень можуть бути використані органами державних структур для обґрунтування управлінських екологічно ефективних рішень, а також при розробленні

нормативної, регламентної, методичної тощо документації в галузі будівництва автомобільних доріг та опрацюванні форм статистичної звітності. Окремі результати дисертаційних досліджень використовуються у навчальному процесі підготовки фахівців спеціальностей 101 – екологія, 275 – транспортні технології (на автомобільному транспорті).

Технічну новизну запропонованих у роботі розробок і технічних рішень засвідчено двома патентами України на корисні моделі № 99998 “Лісова газо-пилзахисна смуга автомобільної дороги” (25.06.2015) (додаток А), № 109012 “Газо-пилзахисна лісосмуга автомобільної дороги” (10.08.2016) (додаток Б).

Основні теоретичні результати, науково-технічні та практичні пропозиції впроваджено та використано в таких установах та організаціях:

Практична цінність основних теоретичних результатів, науково-технічних та практичних пропозицій впроваджено та використано в таких установах та організаціях:

- Житомирській філії “Житомиркомундорпроект” “НДІпроект-реконструкція” (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 17.06.2014 р., додаток В);
- Міжрайонному відділі погоджувальної діяльності Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Хмельницькій області (лист від 12.12.2014 р., додаток Г);
- Відділі містобудування, архітектури та ЖКХ Кам’янець-Подільської районної Державної адміністрації Хмельницької області (лист від 17.03.2015 р., додаток Д);
- Хмельницькій філії “НДІпроектреконструкція” (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 11.06.2015 р., додаток Е);
- Головному управлінню статистики у Житомирській області (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 18.05.2017 р., додаток Ж);

- КП “Комбінат Добробут” в Хмельницькій області (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 15.06.2017 р., *додаток К*);
- ДП «Хмельницький облавтодор» Хмельницька ДЕД (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 03.04.2018 р., *додаток Л*);
- Житомирський завод металоконструкцій ВАТ «Укрстальконструкція» (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 18.04.2018 р., *додаток М*);
- Подільському державному аграрно-технічному університеті (акт про впровадження результатів науково-дослідних робіт в навчальний процес від 05.09.2018 р., *додаток Н*).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечуються відповідністю до поставлених здобувачем задач, методології та методиці досліджень, знайшла відповідне практичне впровадження. Достовірність положень підтверджується логічно обґрунтованими теоретичними та експериментальними результатами досліджень, які підтверджують їх збіжність.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно в процесі виконання держбюджетних науково-дослідних робіт протягом 2013-2020 років. Автором сформульовано концепцію науково-прикладної проблеми, запропоновано основні робочі гіпотези і виконано обґрунтування теоретичної та методологічної бази підвищення рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожніх мереж та інтенсивними автотранспортними потоками. Зокрема: встановлено функціональні ознаки автотранспортних потоків за критеріями їх неперервності; виконано аналітичне визначення балансу обсягів, структури та складу газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками; досліджено динаміку процесів масопереносу і депонування

забруднювачів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг; виконано ландшафтно-екологічну оптимізацію конструкцій профілю резервно-технологічних смуг та відповідної інфраструктури автомобільних доріг, в тому числі на ділянках з особливими умовами руху автотранспортних засобів; розроблено процедуру та алгоритм управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами для використання в системах автоматизованого проектування; обґрунтовано відповідні рекомендації для проектних організацій та установ узгоджувальної діяльності.

Внесок автора роботи, які виконані у співавторстві: *розроблено та підготовлено до видання розділи в яких викладено результати досліджень щодо дезінтеграції мінеральних матеріалів конструкції автомобільних доріг в результаті їх контактного руйнування [2], розроблено модель та методи практичної реалізації її досліджень щодо екологічної оптимізації ділянок автомобільних доріг автотранспортної мережі [4], розроблено інформаційну модель резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Встановлено основні чинники формування мікроклімату в зоні смуги відведення автомобільної дороги [5], зокрема аналіз формування екологічної небезпеки в зоні впливу автодорожньої мережі [6], розроблено систему захисту придорожніх ландшафтів у вигляді газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг різних категорій, які мають фрактальне узгодження з ПТГЕС [7], встановлено показники балансових викидів, які продукуються автотранспортними потоками [8], визначено конструкційні параметрів лабіринту лакунарних порожнин в масивах газо-пилізахисних лісосмуг автодорожньої мережі [9], запропоновано методику аналітичного обґрунтування конструкції лабіринту лакунарних порожнин лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг запропоновано методику аналітичного обґрунтування конструкції лабіринту лакунарних порожнин лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг [11], запропоновано методику аналізу міграційних процесів в межах резервно-технологічних*

смуг автомобільних доріг [12], виконано аналітичні дослідження щодо впливу автотранспортного комплексу на якість атмосферного повітря в Хмельницькій області [13], виконано аналіз аеродинамічних характеристик потоків повітряного аерозолю [14], встановлено критерії та обсяги дезінтеграції мінеральних речовин конструкційних матеріалів автомобільних доріг [15], запропоновано принципову схему руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі, внутрішня зона якого визначається еліпсом.[21], встановлено ознаки, за яких транспортні засоби набувають функціональних ознак автотранспортного потоку [24], проведено екологічну оцінку впливу автотранспортних засобів на забруднення атмосферного повітря урбанізованого середовища [26], прогнозування динаміки трансформації придорожного ландшафту під впливом дії автотранспортної мережі на етапі проектування автомобільної дороги [27], розроблені конструкції газо-пилізахисних лісосмуг для автомобільних доріг різних категорій [28], питання підвищення технічного ресурсу автомобільних доріг шляхом використання фізичних моделей-імітаторів, які спрямовані на вивчення механізму деформування конструкції автомобільної дороги та її руйнування [29], проведено аналітичне оцінювання обсягів утворення та емісії сажі (технічного вуглецю), яка утворюється від частки автотранспортних засобів обладнаних дизельним двигуном в транспортному потоці [31], розроблено модель поширення забруднюючих речовин, спричинених потоками автотранспортних засобів, та запропоновано удосконалення методів захисту придорожніх територій шляхом управління повітряними потоками в структурі газо-пилізахисної смуги [32], – розроблено базові принципи та структуру об'єктно-орієнтованого моделювання стратифікації приземних шарів атмосфери в межах резервно-технологічної смуги автомобільної дороги [33].

У дисертаційній роботі також було використано результати спільних робіт співавтора Вознюк С.В. (автор є науковим керівником) [9,11, 12, 13, 14], тема дисертаційної роботи «Обґрунтування параметрів конструкції

лабіринту лакунарних порожнин в структурі газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг» <http://speccounsils.kdu.edu.ua/vidguk/DissVoznyuk.pdf>.

Список праць дисертанта наведено в *додатку II*. Нумерація робіт у співавторстві відповідає списку представленому в додатку.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвальну оцінку на таких науково-технічних і науково-практичних конференціях та семінарах: VII-й, IX-й міжнародній конференції “Сучасні проблеми збалансованого природокористування” (м. Кам’янець-Подільський, 2013 р., 2014 р.); міжнародній конференції “Біоенергетика і сталий розвиток сільських територій” (м. Бережани, 2014 р.), Всеукраїнській конференції “Екологічний стан і здоров’я жителів міських екосистем. Горбуновські читання” (м. Чернівці, 2015, 2016 рр.), II-й міжнародній конференції “Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування” (м. Трускавець, 2015 р.), XIV-й міжнародній конференції “Актуальні питання та організаційно-правові засади міжнародного співробітництва в сфері високих технологій” (м. Київ, 2015 р.), Всеукраїнській конференції “Екологічна безпека держави” (м. Київ, 2016 р.), XIV, XIV міжнародних конференціях “Проблеми екологічної безпеки” (м. Кременчук, 2016, 2017, 2018, 2019), міжнародній конференції “Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації” (м. Івано-Франківськ, 2017 р.), міжнародній конференції “Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції” (м. Кам’янець-Подільський, 2017 р., 2018 р.), XVIII-й міжнародній конференції “до 117 річниці від дня народження академіка П.М. Василенка” (м. Кам’янець-Подільський, 2018 р.), II-й Всеукраїнській конференції “Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку” (м. Полтава, 2018 р.) наукових семінарах кафедри екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету (м. Кам’янець-Подільський, 2014-2018 рр.), III Міжнародної науково-практичної конференції

«Екологічна безпека, як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (Львів: ЛДУБЖД, 2018 р.), II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Хімія, екологія та освіта» (Полтава: ПДАА, 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток технічних наук: проблеми та рішення» (м. Брно, Чеська Республіка, 2018 р.), I Міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (Київ, НУБіП, 2018 р.), XVI міжнародній науково-практичній конференції «Новината за напреднали наука – 2020» (м. Софія, Болгарія 2020).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 57 наукових роботах, з яких: 7 монографій (з них: 3 у закордонних виданнях, 2 колективні монографії, 4 у співавторстві); 26 статей: з них 20 статей у фахових виданнях України, 5 статей у закордонних наукових періодичних виданнях, 1 з них в наукометричній базі SCOPUS, 1 стаття в закордонному електронному виданні, 19 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях; 2 деклараційні патенти України, 3 роботи, які додатково відображають наукові результати досліджень за темою.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, 5-ти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 300 найменувань на 30 сторінках, 23 додатків на 50 сторінках. Повний обсяг роботи становить 388 сторінок друкованого тексту, з них основна частина – 283 сторінки. Робота містить 127 рисунків та 24 таблиці.

РОЗДІЛ I
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ
ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ.
ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується інтенсивністю загострення ряду глобальних проблем [6, 20, 23, 75, 84, 161], без детального аналізу яких неможливо спрогнозувати реальні тенденції їх майбутності [4, 5, 42]. До таких основних проблем слід віднести кардинальні питання, які стосуються розвитку продуктивних сил та якості, серед яких питання екологічної безпеки об'єктів навколишнього середовища займають особливе місце [8, 13, 25, 28, 85, 168, 169, 189]. Швидка трансформація сучасного суспільства та його перехід від постіндустріального до інформаційно-комунікаційного суспільства [1, 7, 43, 60, 119, 139] зумовлює інтенсивний розвиток всіх без винятку засобів комунікацій [26, 44, 64, 137]. Невід'ємною складовою комунікаційних технологій є транспортні системи, в структурі яких автомобільний транспорт посідає одне з визначальних місць [178]. Збільшення обсягів пасажирських і вантажних перевезень, інтенсифікація автотранспортних потоків призводить до розвитку всієї інфраструктури автотранспортного комплексу в цілому [229, 261, 285]. Центральним об'єктом цієї інфраструктури є мережа автомобільних доріг, яка має забезпечувати екологічну та техногенну безпеку, економічну доцільність, технічну надійність та мобільність функціонування всього автотранспортного комплексу [8, 12, 81, 91, 107, 113, 167, 290, 291, 293].

Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування в Україні (розпорядження №432-р Кабінету міністрів України від 31.03.2015 р.) передбачає, що "... забезпечення розвитку мережі автомобільних доріг та поліпшення їх транспортно-експлуатаційного стану є необхідною умовою для подальшого соціально-економічного розвитку держави і суспільства.

Середньорічне підвищення рівня інтенсивності дорожнього руху на основних магістральних автомобільних дорогах ... досягає 20 %. У складі транспортних потоків зростає частка великовагових та великогабаритних транспортних засобів, що призводить до швидкого руйнування автомобільних доріг...” [94, 286,287].

Мережа автомобільних доріг, як невід’ємна техногенна складова сучасних природно-техногенних геоекосистем, є одним з визначальних чинників екологічної небезпеки та порушення рівноваги природно-територіальних комплексів [94, 95, 99, 100, 140, 157, 161]. Так зокрема, Законом України “Про оцінку впливу на довкілля” до першої категорії видів планової діяльності та об’єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають подальшій оцінці віднесено “...будівництво автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення, що мають чотири чи більше смуги руху, або реконструкція та/або розширення наявних смуг руху до чотирьох і більше, за умови їхньої безперервної протяжності 10 кілометрів і більше; автомобільних доріг першої категорії” [76, 89,285].

1.1. Сучасні тенденції та перспективи розвитку автотранспортного комплексу в Україні та світі

Динаміка зростання в другій половині ХХ ст. об’ємів світового автомобільно парку (рис1.1) зумовила тенденцію до інтенсифікації будівництва мережі автомобільних доріг [126]. Загалом протяжність автомобільних доріг у світі (за даними *CIA World Factbook*) наближається до 65 млн км, з яких понад 10 % протяжності припадає на США. До п’ятірки країн з найрозвиненішою мережею автомобільних доріг у Європі входять Франція, Іспанія, Німеччина, Італія та Швеція (без урахування якості покриття, ширини проїжджої частини та інших важливих показників якості автомобільної дороги). Україна за протяжністю автомобільних доріг (близько 169,5 тис. км) (додаток Р) посідає 30 місце серед 191 країни світу і

характеризується відносно рівномірною щільністю автодорожньої мережі по окремих регіонах країни (додаток С). При цьому щільність автомобільних доріг в Україні в 6,6 рази менша ніж у Франції (0,28 та 1,84 км/км² – відповідно). Довжина швидкісних автомагістралей в Україні становить лише 0,28 тис. км, в той час, як у Німеччині – 12,5 тис. км, а у Франції – 7,1 тис. км.

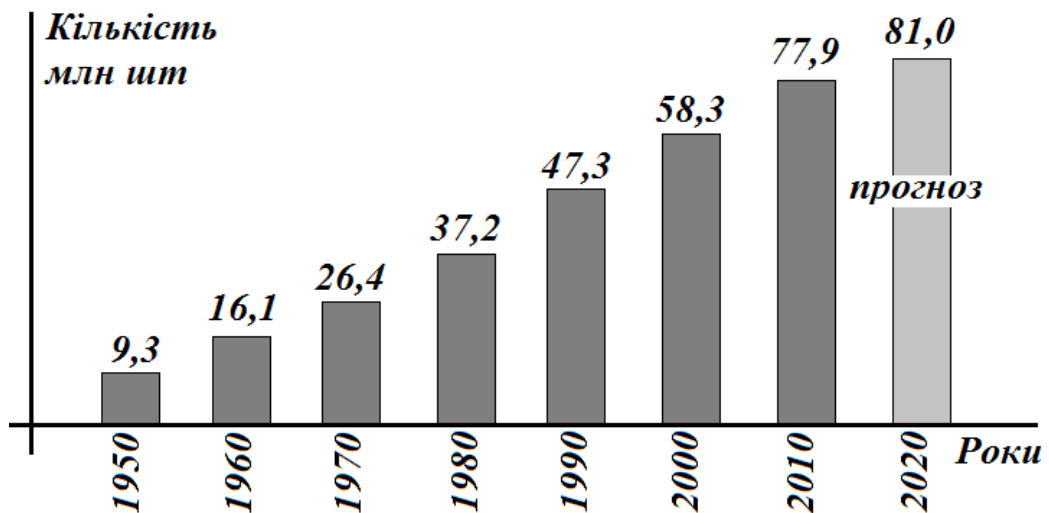


Рис. 1.1. Динаміка світового виробництва автотранспортних засобів

Транспортно-експлуатаційні характеристики автомобільної дороги, які визначаються такими ознаками як її ресурс, міцність і довговічність, трибологічні властивості дорожнього покриття, швидкість розвитку тріщин тощо, зумовлюють рівень екологічної безпеки не лише безпосередньо самої автомобільної дороги, але і всієї природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею вцілому [177, 211, 224, 228, 233, 248]. Дійсно, якщо проаналізувати структуру балансових викидів [92, 219, 222], які продукуються автотранспортними потоками, то очевидно, що практично весь обсяг викидів мінерального пилу зумовлений процесами дезінтегрування конструкційних матеріалів автодороги, а обсяги газових викидів щільно корелюють з стабільністю режиму роботи двигунів

сукупності автотранспортних засобів, який в свою чергу визначається в основному транспортно-експлуатаційною якістю автомобільної дороги [46, 53, 59]. Таким чином, рівень екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автокомунікаційною інфраструктурою визначається, в першу чергу, конструкційною надійністю і технологічною “культурою” при будівництві (реконструкції) автомобільних доріг.

Найпомітнішого прогресу в галузі проектування (у Х’юстонському і Техаському університетах) та будівництва автомобільних доріг досягнуто в наш час в США. Всі автомобільні дороги в США можна поділити на декілька груп, які в свою чергу поділяють на певні класи [281]. Найбільш значимими є автодороги *Interstate Highways* (позначаються індексом *I*) та *US Highways* (позначаються – *US*). До менш значимих автодоріг відносять дороги: *State Highways (TX)*, *Farm to Market (FM)*, *Road (Rd)*, *Avenue (Ave)*, *Junction (Jct)* тощо [281]. Головними конструкційними та технологічними особливостями автомобільних доріг США є [288]:

- всі автомобільні дороги групи *I* та *US* виготовляються виключно з бетонів високих марок;
- для зменшення величини “просідання” багатошарової конструкції автодороги під впливом варіювання вологості (особливо в пісках та глинах), кожний шар конструкції оброблюють 35-ти відсотковим розчином хлориду кальцію ($CaCl_2$), що на 80-85% підвищує експлуатаційні властивості автодороги в порівнянні з простою трамбівкою;
- після цього вкладається 5-7 сантиметровий шар асфальту, який не лише забезпечую рівну поверхню для укладення бетону, але і є надійною гідроізоляцією, яка запобігає потраплянню води в конструкцію автодороги через термічні шви бетонних стиків;
- над асфальтовою стяжкою на висоті $> 1/2$ товщини бетонного полотна автодороги виконують монтаж арматури (рис.1.2) з межею міцності

- сталевий прутка не менше ніж 415 МПа, яка не лише підвищує характеристики міцності полотна автодороги при згині, але і запобігає контактному руйнуванню (виникненню каверн) бетонної поверхні;
- після монтажу арматури виконується заливка бетонного полотна автомобільної дороги;
 - здійснюється заробляння температурних швів бетонного полотна за допомогою асфальту (рис.1.3).

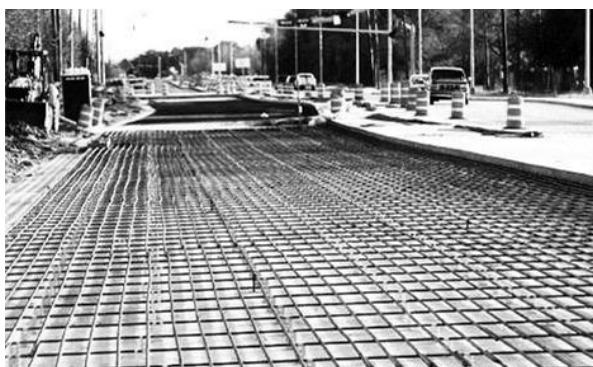


Рис.1.2. Армуння бетонного полотна автомобільної дороги

(інтернет ресурс <https://censor.net.ua/r257965>)



Рис.1.3. Температурний шов бетонного полотна автомобільної дороги, який заповнено асфальтовим наповнювачем (інтернет-ресурс

<https://censor.net.ua/r257965>)

Після завершення будівництва автомобільна дорога протягом наступних 28 днів не підлягає експлуатації і лише після цього терміну по ній дозволяють рух автотранспортних засобів. Гарантійний експлуатаційний термін такої автодороги становить 25 років. Потрібно відзначити, що в Далласі та Х'юстоні є ділянки автомобільних доріг, які було здано в експлуатацію ще в 1960 році і які експлуатуються без капітального ремонту і реконструкції до нинішнього часу. Ці ділянки автомобільних доріг використовуються не лише для моніторингу, але і для різноманітних наукових досліджень в галузі дорожнього будівництва.

Останнім часом досвід будівництва автомобільних доріг в США поширюється в Європі, Азії та Австралії [268,283,288].

Значна частина автомобільних доріг Німеччини була побудована в першій половині ХХ століття і розрахована на рух колон важкої військової техніки [268]. Саме тому ці автомобільні дороги до нашого часу витримують інтенсивні трафіки великовантажних транспортних засобів. На відміну від США для будівництва дорожнього одягу на автодорогах Німеччини застосовують не лише бетон, але і асфальт, хоча конструкційно профіль автомобільної дороги принципово не відрізняється від конструкції автодоріг в США. Необхідно також відзначити, що в Німеччині зовсім не застосовуються технології ямкового ремонту автодоріг, за необхідності здійснюється повна заміна відразу всієї пошкодженої ділянки автомобільної дороги [264, 267, 288].

В ряді країн, таких як Великобританія, Фінляндія, Швеція, Об'єднані Арабські Емірати, Австралія та інші при будівництві автомобільних доріг значна увага приділяється кліматичним особливостям регіону, відповідно до чого і здійснюється коригування конструкції та технологій будівництва мережі автодоріг [51, 267, 283].

Значний досвід у проектуванні та будівництві автомобільних доріг набуто у Франції, Канаді, Японії, Китаї та в ряді інших країн. Так зокрема, завдяки впровадженню у будівництво автомобільних шляхів сучасних

технологій в Китаї забезпечено небувалу швидкість будівництва в 750 метрів автодороги за годину [264]. При цьому автомобільна дорога побудована з такою швидкістю за своїми транспортно-експлуатаційними характеристиками і якістю не поступається кращим автобанам США та Європи.

В Україні основним нормативним документом, який регламентує вимоги до транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільних доріг є Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-4:2007 “Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво” [77]. Цей документ встановлює вимоги на проектування та будівництво нових і реконструкцію існуючих автомобільних доріг загального користування, зокрема щодо технічної класифікації автодоріг за розрахунковою перспективною інтенсивністю та швидкістю руху автотранспортних потоків, габаритами автотранспортних засобів та навантаженням на автодорогу, генеральною схемою планування території України та окремих регіонів, основними конструкційними властивостями, безпекою дорожнього руху та вимоги щодо розробки матеріалів ОВД. Документ визначає також і технічні норми на проектування основних елементів автомобільних доріг, зокрема на параметри поперечного профілю автодоріг та кількість смуг руху, вимоги до земляного полотна з урахуванням погодно-кліматичних факторів, природних умов регіону та інженерно-геологічних умов будівництва, вимоги до конструкційних матеріалів і конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги, споруд автодорожнього сервісу тощо [85, 157].

Типові конструкційні елементи поперечних профілів дорожніх конструкцій з удосконаленим капітальним покриттям дорожнього одягу, які використовуються при будівництві автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3 наведено на рис.1.4, а на рис.1.5 наведено типову конструкцію поперечного профілю автомобільної дороги, яка є характерною для автодоріг України [80, 83, 100, 126, 94].

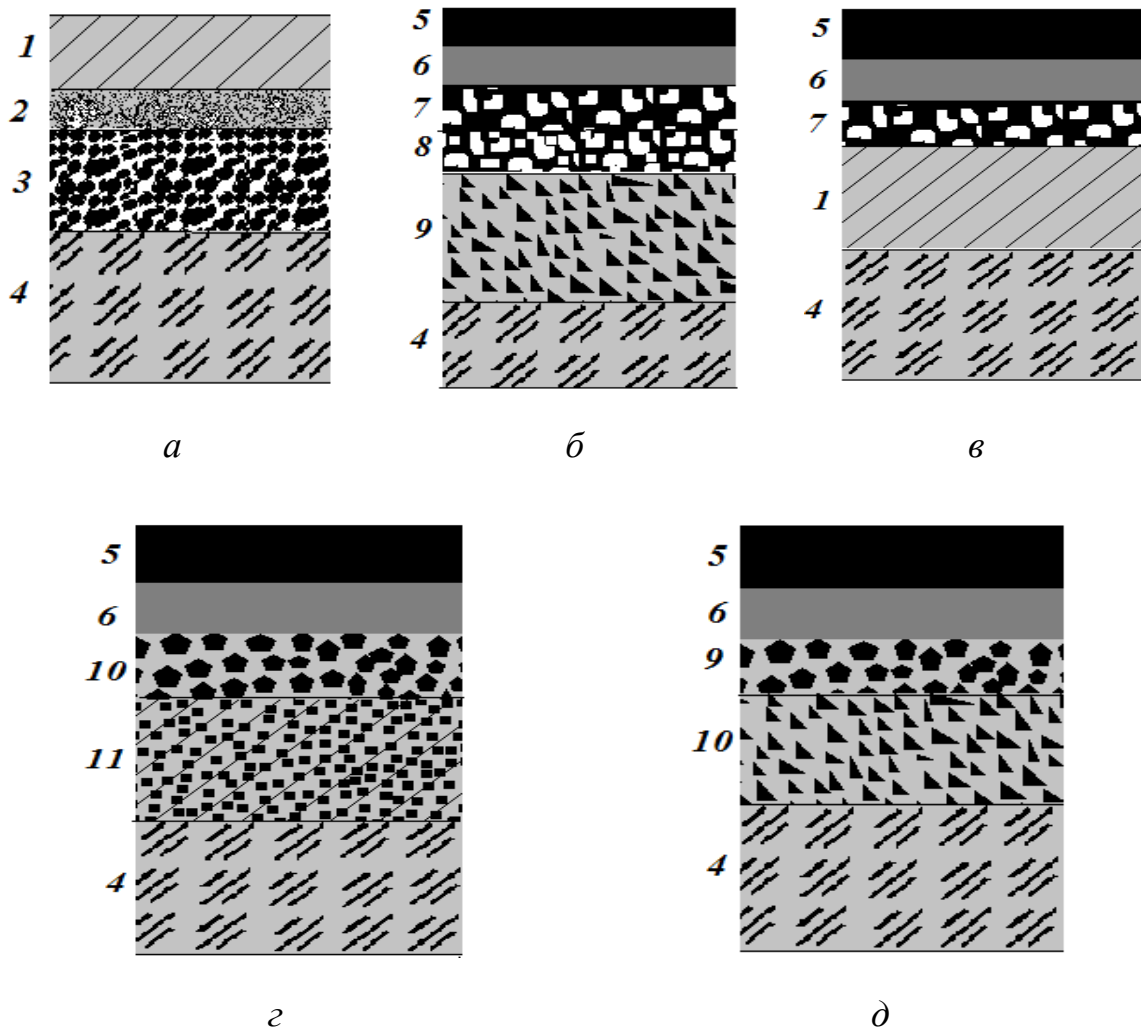


Рис. 1.4. Удосконалені капітальні покриття автомобільних доріг: а) цементно-бетонні покриття; б) асфальтобетонні покриття на гравійній основі; в) тришарові асфальтобетонні покриття на бетонній основі (найбільш розповсюджені в містах); г) асфальтобетонне покриття на основі із щебня, обробленого в установці органічними зв'язуючими, і ґрунту, скріпленім бітумом та цементобетоном; д) асфальтобетонне покриття на основі гравію; 1 – цементобетон; 2 – прошарок із піску, обробленого органічними зв'язуючими матеріалами; 3 – шар із щебеню; 4 – додатковий морозостійкий шар основи із піску, гравію чи інших морозостійких камінних матеріалів даної місцевості (товщина встановлюється розрахунковим шляхом); 5 – середньозернистий, дрібнозернистий або піщаний асфальтобетон; 6 – крупнозернистий пористий асфальтобетон; 7 – щебінь, оброблений органічним зв'язуючим методом просочення; 8 – щебінь, оброблений в установці органічними зв'язуючими; 9 – гравійна суміш; 10 – гравійна суміш з додаванням щебеню, оброблена в'язуючими в установці; 11 – ґрунт, укріплений добавками неорганічних зв'язуючих.

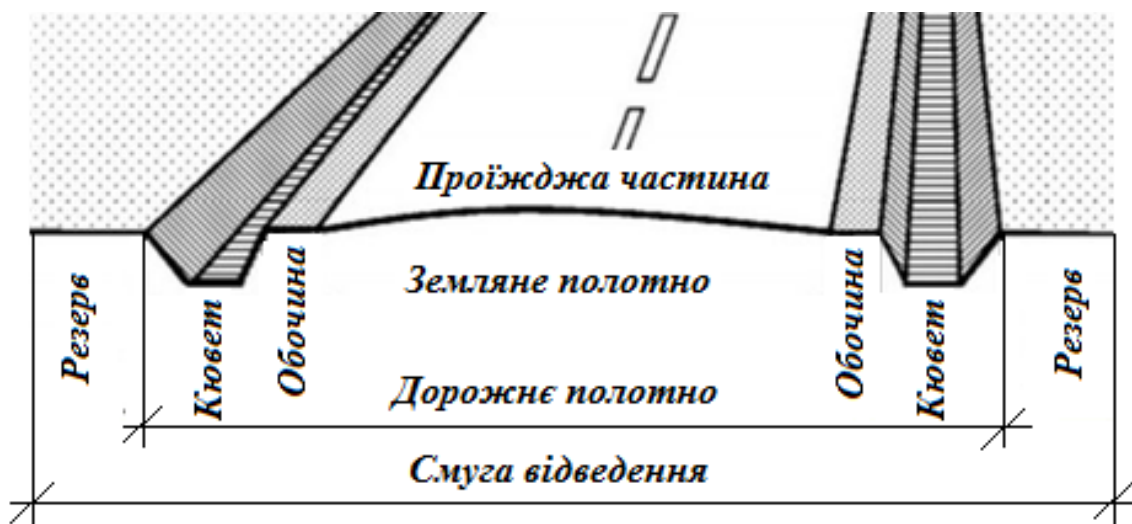


Рис. 1.5. Типовий поперечний профіль автомобільної дороги

В якості конструкційного матеріалу верхніх шарів дорожнього покриття на дорогах України (додаток Т) застосовуються, як правило за незначним виключенням, гарячі щільні дрібнозернисті асфальтобетони I-ої та II-ої марок для автодоріг категорій 1-а, 1-б, 2 та 3, а для автодоріг категорій 3 та 4 – кам'яні подрібнені матеріали, а також підібрані матеріали з промислових відходів, оброблені в'язучими методом змішування в установці або на дорозі, а також з просочування та улаштуванням поверхневої обробки [104, 126]. В деяких випадках у незначних обсягах в якості конструкційного матеріалу для будівництва верхніх шарів автодорожнього покриття використовують цементобетон з портландцементу, який має відповідати вимогам ДСТУ Б.В. 2.7-46: 2010 “Цементи загального будівельного призначення. Технічні умови” [80]. В конструкції полотна автомобільної дороги не передбачається армування їх покриттів навіть у випадках будівництва автодоріг категорій 1-а та 1-б з інтенсивністю руху автотранспортних засобів понад 10000 авт./добу. Потрібно однак зазначити, що останнім часом на деяких ділянках автомобільних доріг в Україні при проведенні їх капітальних ремонтів почали застосовувати армування верхніх шарів конструкції автодороги за допомогою вертикально-комірчастих армованих структур (рис.1.6), які

виготовлено з полімерних матеріалів або композиційних ґраток з склокомпозитних сіток марки СКС відповідно до “Рекомендації по застосуванню ґраток композитних при влаштуванні асфальтобетонних шарів дорожнього одягу РВ.2.7-31911658-823:2013” [162].



Рис.1.6. Армування верхніх шарів автомобільної дороги полімерними вертикально-комірчастими конструкціями

Наведений вище порівняльний аналіз характерних конструкційних ознак та відмінностей у технологіях будівництва автомобільних доріг в Україні та в країнах-лідерах у галузі автодорожнього будівництва свідчить про те, що автодороги, які побудовані в Україні відповідно до ДБН В.2.3-4:2007, за своїми характеристиками конструкційної міцності, надійністю, трибологічними властивостями щодо абразійної міцності, за фретінг-втомою, пітінговим зношуванням тощо значно поступаються кращим світовим аналогам. Цей факт засвідчує і такий показник експлуатаційної надійності автомобільної дороги як гарантійний термін роботи. Якщо в індустріально розвинених країнах гарантійні терміни експлуатації автомобільної дороги до першого капітального ремонту коливаються в межах 20-30 років, то в Україні цей показник не перевищує 4-5 років, що і становить значну небезпеку.

Механічні властивості дорожньо-будівельних матеріалів визначаються емпіричними методами шляхом безпосередніх прямих лабораторних випробувань підготовлених зразків на відповідних випробувальних машинах і стендах [72]. При цьому, головна увага навіть при проведенні поглиблених випробувань, приділяється випробуванням на стискання, згин, зчеплення при зсуві в умовах статичного прикладення навантажень до зразків конструкційного матеріалу [70, 86]. З об'єктивних причин (здебільшого через відсутність випробувального обладнання) не проводяться дослідження механіки контактної руйнування матеріалів автодорожніх покриттів, дослідження в умовах динамічних навантажень на малоциклову (багатоциклову) втому, динамічну в'язкість конструкційних матеріалів, не досліджуються процеси утворення та розвитку каверн і тріщин, фретінг-втоми та пітінгового зношування тощо [171, 172, 210].

Необхідно однак зазначити, що за даними ДержДорНДІ вартість будівництва 1 км автомобільної дороги значно менша ніж в інших провідних країнах світу. Так, орієнтовна нормативна вартість 1 км автодороги категорій 1-а, 1-б в прив'язці до цін 2016 року становить 70-100 млн. грн., реконструкції – 40-80 млн. грн., капітального ремонту 20-30 млн. грн., поточного (середнього) ремонту – 8-12 млн. грн. В той же час в США будівництво 1 км автомобільної дороги групи *I* або *US* коштує близько 10 млн. доларів, у Канаді – 11 млн. доларів, а в країнах Європи – від 10,5 до 14,5 млн. євро. Отже, зменшення капітальних вкладень в конструкцію автомобільної дороги та витрат на реалізацію технології її будівництва в 3-5 разів призводить до зменшення експлуатаційного ресурсу автодороги в 5-7 разів, що в свою чергу зумовлює додаткові витрати на здійснення капітальних і поточних ремонтів.

Погіршення транспортно-експлуатаційних властивостей конструкцій автомобільних доріг, відсутність поглиблених наукових даних щодо процесів контактної руйнування матеріалів автодорожніх покриттів, їх тріщиностійкості, фретінг-втоми, пітінгового зношування тощо в умовах

динамічних навантажень, зумовлює процеси інтенсивного дезінтегрування конструкційних матеріалів автодоріг [224], наслідком чого є збільшення обсягів викидів мінерального пилу, який продукується автотранспортними потоками, розбалансування узгоджених параметрів колективного руху автотранспортних потоків, нестабільність режимів роботи двигунів автотранспортних засобів, що як наслідок, призводить до посилення техногенного впливу на природно-техногенні геоекосистеми з розвиненими автодорожніми мережами [249,281, 282]

1.2. Характерні особливості динаміки та структури складу автотранспортних потоків

В загальному розуміння автотранспортним потоком є, впорядкований автодорожньою мережею рух автотранспортних засобів, який характеризується зокрема такими ознаками як: інтенсивність [1/с], швидкість [м/с], щільність [1/м], а також специфічними параметрами, які визначають особливі характеристики потоків автотранспортних засобів, їх взаємний вплив і перерозподіл в просторі і часі [243, 244]. Однак, з точки зору формалізації наведеного вище означення автотранспортним потоком можна вважати лише таку множину автотранспортних засобів, яка функціонально за певним визначенням значущим аргументом (аргументами) є неперервною функцією за деякою траєкторією, яку окреслено трасою автомобільної дороги. В загальному випадку неперервність функції $f(x)$ визначається такими трьома умовами [240]:

- функція $f(x)$ має бути обов'язково визначена в точці x_0 ;
- існує границя $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$;
- $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$.

Якщо хоча б одна умова, з трьох вищенаведених умов неперервності функції, порушується в будь-якій точці, то функція $f(x)$ має в даній точці

розрив. При цьому, розрив функції $f(x)$ може бути як усувним (завдяки операції до визначення функції до неперервної), так і неусувним розривом, зокрема так звана точка розриву “стрибок”, яка виникає для $f(x)$ у випадку якщо $\lim_{x \rightarrow (a-0)} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow (a+0)} f(x)$.

З точки зору аналізу інтенсивності впливу автотранспортних потоків на екологічну рівновагу природно-техногенної геоекосистеми, за умови наявності в цій системі деякої мережі автомобільних доріг, є структура, склад та обсяги газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними засобами цих потоків і функціонально залежать від інтенсивності q [1/с] та щільності ρ [1/м] автотранспортного потоку [135]. Отже, нижньою границею, яка визначає колективний рух автотранспортних засобів як автотранспортного потоку, є деяка площина в координатній системі $q \sim \rho \sim f(q, \rho)$, яка визначає мінімальні значення q та ρ , за яких функція $f(q, \rho)$ набуває ознак неперервності.

Загальна частка газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортним комплексом, в структурі викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря діяльністю основних галузей світового суспільного господарства на даний час становить понад 15 % (рис.1.7) [19, 27, 116, 300].



Рис.1.7. Структура викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря основними галузями господарського комплексу

Рух автотранспортних засобів у складі щільних автотранспортних потоків в межах автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми суттєво відрізняється від руху одиночного автотранспортного засобу при відсутності динамічно змінюваних перешкод руху [145]. Інтенсивні транспортні потоки спричиняють потужні впливи на рівень забруднення природно-техногенних геоекосистем. Основними чинниками впливу є склад, інтенсивність, щільність, швидкість і прискорення руху автотранспортного потоку, технічний рівень та експлуатаційний стан автотранспортних засобів, обсяги та структура вантажів та пасажиропотоків [234, 237, 242, 293].

Для розрахункового оцінювання питомих газо-пилових викидів (по окремих інгредієнтах: CO_2 , CO , CH , N_xO_y , аерозолі з твердих мінеральних частинок та сажі, ароматичні та поліциклічні вуглеводні приведені до $C_{20}H_{12}$ тощо), які продукуються автотранспортними потоками, а також питомих витрат палива автотранспортним потоком в цілому широко застосовуються рівняння регресії (найчастіше третього порядку) у вигляді [158, 179, 296]:

$$Y_i = A_4 \cdot q_{an}^3 + A_3 \cdot q_{an}^2 + A_2 \cdot q_{an} + A_1 \quad (1.1)$$

де Y_i [кг] – питома маса певного інгредієнту забруднюючого викиду, або питоми витрати палива автотранспортним потоком;

A_i – емпіричні коефіцієнти

q_{an} [1/с] – інтенсивність автотранспортного потоку.

При цьому:

$$A_i = f(S_i, S_j) \quad (1.2)$$

де S_i , S_j – частка автотранспортних засобів, які обладнано дизельними двигунами та частка автотранспортних засобів для перевезення пасажирів у загальній кількості автотранспортних засобів, відповідно [92, 297, 298]

Таким чином, якщо відомі інтенсивності руху та структура і склад автотранспортних потоків на будь-якій ділянці автомобільної дороги, або на автодорожній мережі вцілому, викиди шкідливих (токсичних) речовин, маса використаного кисню та витрати палива можуть бути визначені розрахунковим методом з використанням наведеного вище рівняння регресії [74, 78, 179, 190].

Разом з тим розрахунковий метод визначення балансу викидів, які продукуються автотранспортними потоками, не повною мірою враховує такі важливі транспортно-експлуатаційні ознаки автодорожньої мережі як геоморфологічний характер траси автомобільної дороги, її технічний стан, транспортну ємність території та погодно-кліматичні умови (дорожньо-кліматичне зонування) природно-техногенної геоекосистеми, експлуатаційний стан автотранспортних засобів в складі автотранспортних потоків та ряд інших важливих показників, які суттєво впливають на рівень техногенної трансформації та екологічну безпеку природно-територіального комплексу [45, 46, 49, 55, 56, 73, 189]

1.3. Вплив автодорожньої мережі на екологічну рівновагу природно-техногенних геоекосистем

В загальній структурі світових транспортно-комунікаційних мереж (таблиця 1.1) частка мережі автомобільних доріг становить понад 66 %. Внаслідок будівництва автодорожніх мереж відбувається техногенна трансформація природно-територіальних комплексів. Виникає нова ландшафтно-територіальна структура, яка віртуально може бути змодельованою у вигляді опорного каркасу територіальної структури організації виробництва, розселення та комунікацій. Прогнозування змін морфологічних властивостей та динаміки територіальної структури природно-техногенних геоекосистем на етапі розроблення проектів будівництва (реконструкції) автотранспортних мереж вимагає застосування

надійних методів оптимізації цих властивостей (в тому числі і забезпечення фіксованих рівнів екологічної безпеки) [5,10, 13, 15, 16, 48,51, 66].

Однією з визначальних складових частин опорного каркасу територіальної структури організації виробництва, розселення та комунікацій є опорний каркас автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми [203]. Опорний каркас автотранспортної мережі регіону при застосуванні до його аналізу (оптимізації) формально-феноменологічних методів має розглядатись як деякий зважений граф [220, 230] цієї мережі, в якому ребрами (дугами) графу є ділянки автомобільних доріг, а вершинами – вузли цих ділянок. Формально-феноменологічні методи аналізу дозволяють застосовувати для оптимізації структури зважених графів прийоми фізико-динамічних аналогів при моделюванні властивостей реальних структур [202]. Приклад оптимізації деякої агломерації за методом фізико-динамічної аналогії опорного каркасу транспортно-комунікаційної системи з плоскою стержньовою фермою наведено на рис.1.8.

В даному випадку структура ребер (дуг) графу транспортної мережі представлена пружними стержнями плоскої ферми, а напрямки розвитку природно-територіального комплексу, як певні прояви антропогенного (техногенного) впливу визначено, як деякі одномоментні зовнішні сили прикладені до структури опорного каркасу у вигляді функцій Хевісайда $H(t)$ [220].

Тим самим, аналіз динаміки опорного каркасу (графу) транспортної мережі віртуально може бути зведений до аналізу динаміки силових факторів в конструкції плоскої стержньової ферми, яку навантажено силами $H(t)$. Визначення зусиль S_i в стержнях моделі-аналогу (плоскій стержньовій рамі) опорного каркасу природно-техногенної геоекосистеми можна реалізувати або за методом перерізів (методом Ріттера), або за методом вирізання вузлів.

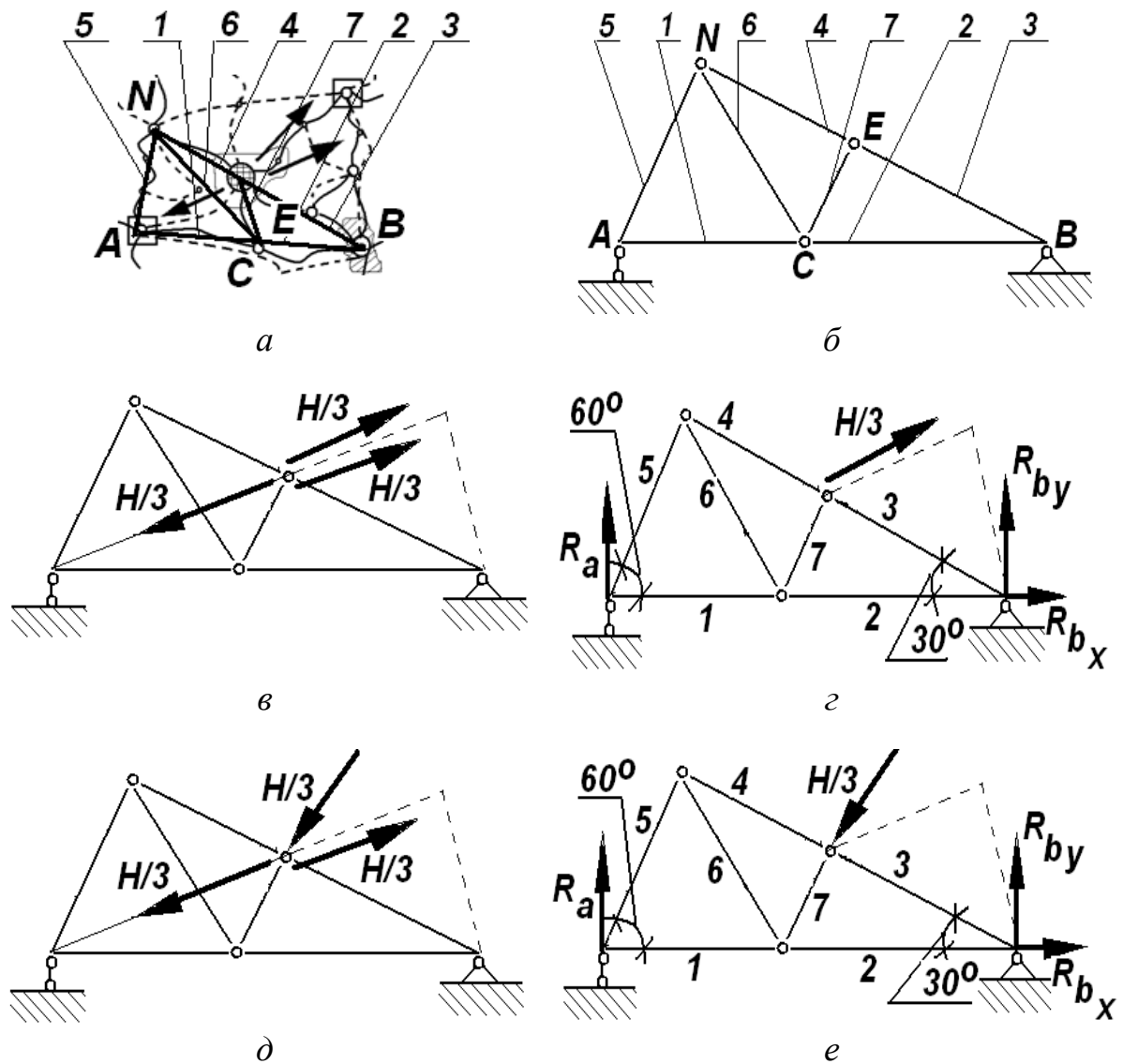


Рис.1.8. Віртуальне моделювання опорного каркасу транспортної системи:

a – структурна організація транспортної системи; *б* – віртуальна модель графу транспортних магістралей; *в* – фізико-динамічна модель зовнішніх впливів на граф опорного каркасу; *г* – розрахункова схема моделі-симулятора структури транспортної мережі; *д*, *е* – альтернативний варіант моделі та відповідна розрахункова схема опорного каркасу транспортних магістралей регіону; 1, 2, ..., 7 – елементи стержньової структури опорного каркасу; А, В, С, N, E – вузли стержньової моделі опорного каркасу.

На стадії проектування (реконструкції) автодорожньої мережі доцільним є порівняння декількох альтернативних варіантів опорного каркасу структурної організації території з точки зору досягнення максимально можливого рівня екологічної безпеки природно-територіального комплексу [209]. Метод, який розглядається, дозволяє реалізувати таке порівняння варіантів проекту (наприклад, рис.1.8-в та рис.1.8-д).

Як інший варіант пропонованого вище методу віртуального моделювання динаміки опорного каркасу природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею, може бути реалізований також метод моделювання за принципом електродинамічних аналогій [203]. Сутність цього методу зводиться до аналізу струмів в електричному контурі, який імітує сукупність структурних елементів опорного каркасу (вершин та ребер графу автотранспортної мережі) природно-техногенної геоекосистеми (рис.1.9). В цьому випадку одним з варіантів електродинамічної моделі опорного каркасу автотранспортної системи, яку наведено на рис.1.8-а, є електричний контур наведений на рис.1.9-а. Вузли контуру A, B, C, N (рис.1.9-б) є відповідними до точок A, B, C, N опорного каркасу (графу) автотранспортної мережі (рис.1.8-б), а електричні опори $R_{AC}, R_{CB}, R_{CN}, R_{EC}, R_{BE}, R_{NE}$, імітують відповідні елементи стержньової структури опорного каркасу (графу) природно-техногенної геоекосистеми [180, 212].

Аналіз електродинамічної моделі опорного каркасу природно-техногенної геоекосистеми може бути здійснено як аналітично (рис.1.9-а) на підставі другого закону Кірхгофа [181], так і за допомогою фізичного експерименту, для чого в реальний електричний контур необхідно ввести один або більше регульований опір наприклад, R_{EC}^{var} на рис.1.9-б.

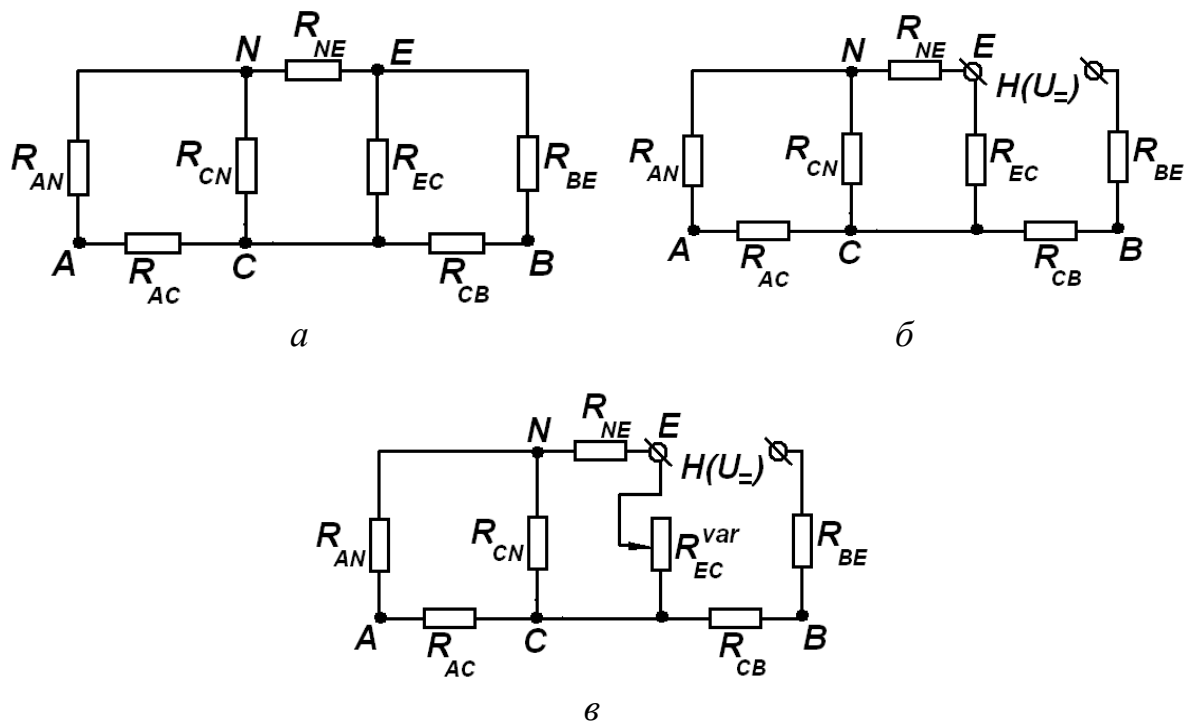


Рис.1.9. Електродинамічна модель-аналог опорного каркасу структурної організації транспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми:
 а – теоретичний електричний контур; б – електрична схема контуру для аналітичного дослідження моделі; в – електрична схема контуру для проведення фізичного експерименту

Пропоновані методики модельного аналізу динаміки територіальних структур (мережі автомобільних доріг) природно-техногенних геоекосистем під впливом антропогенної (техногенної) їх складової за допомогою віртуальних моделей-симуляторів опорного каркасу автотранспортного комплексу дозволяють на етапі проектування природно-техногенної геоекосистеми оптимізувати процеси трансформації ландшафтів природно-територіальних комплексів та забезпечити максимально можливий рівень їх екологічної безпеки.

Узагальнене поняття про граничну насиченість природно-техногенної геоекосистеми автотранспортними засобами та автодорожньою інфраструктурою складають на підставі оцінювання транспортної ємності території. Транспортна ємність території – це здатність ландшафту

природно-територіального комплексу забезпечувати транспортні потреби (в площах для розташування стаціонарних і рухомих об'єктах автотранспортного комплексу, природних об'єктів території та рекреаційних ресурсів) без порушення екологічної рівноваги [204, 208]. Транспортна ємність D_{max} виражається у вигляді максимально допустимої щільності автодорожньої мережі та автотранспортної інфраструктури в межах природно-територіального комплексу як [126, 209]:

$$\begin{cases} D_1^T = \frac{Y_a \cdot \Pi_H \cdot S_a}{S_T} \leq [D_{max}] \\ D_{max} = \frac{Y_a^{max} \cdot \Pi_H^{max} \cdot S_a}{S_T} \end{cases} \quad (1.3)$$

де Y_a – рівень автомобілізації регіону, авт./люд.;

Π_H – щільність населення, люд./км²;

S_a – приведена (з урахуванням об'єктів транспортної інфраструктури) площа території для одиниці рухомого складу автотранспортних засобів, м²/авт.;

S_T – загальна площа території природно-територіального комплексу, км²;

Y_a^{max} – максимальний (за умовою забезпечення транспортних потреб регіону) рівень автомобілізації, авт./люд. (варіює в межах 0,45-0,5 авт./люд.);

Π_H^{max} – щільність населення, які забезпечують сприятливі умови проживання, люд./км², приймають 30-50 люд./км².

За результатами експертних оцінок [3, 5, 8] автотранспортна ємність великих мегаполісів значно перевищує показник D_{max} (іноді більше ніж в 10-15 разів) [126]. В результаті на території міських агломерацій спостерігається інтенсивна деградація природних екосистем, особливо поблизу автомагістралей [270, 271, 272].

Здатність природно-техногенної геоекосистеми підтримувати властивості природно-територіального комплексу в межах деякої екологічно безпечної амплітуди визначається репродуктивною здатністю території по таких основних показниках як: відновлення атмосферного кисню, репродукція поверхневих водних ресурсів, ґрунтово-рослинного покриву, відновлення деревно-чагарникових насаджень.

Репродуктивна здатність Π_k території природно-техногенного комплексу за показником відновлення атмосферного кисню визначається через біологічне продукування органічної речовини рослинних спільнот за формулою [19, 21,23, 28, 30, 43]:

$$\Pi_k = \sum_{i=1}^n C_i \cdot S_T \cdot K_1 \quad (1.4)$$

де C_i – щорічне продукування органічної речовини i -ю рослинною спільнотою, т/га (обирається таким, що дорівнює: для мішаного лісу – 10-15, оранки – 5-6, зелених зон населених пунктів – 0,8-1,0);

K_1 – коефіцієнт переходу органічної речовини в кисень (за фотосинтезуючими ознаками).

Репродуктивна здатність Π_B території природно-техногенної геоекосистеми за водно-поверхневими ресурсами розраховується в залежності від модуля стоку місцевості, рельєфних характеристик та кліматичних ознак за формулою [43, 126]:

$$\Pi_B = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \lambda \cdot K_2 \quad (1.5)$$

де S_i – площа території, яка охоплюється ділянками з відомими модулями поверхневого стоку, га;

λ – модуль поверхневого стоку i -ї ділянки поверхні, л/м²;

K_2 – коефіцієнт нерівномірності модулів поверхневого стоку (варіює в межах $K_2=0,1-1,0$).

Репродуктивну здатність $\Pi_{\text{п}}$ ґрунтово-рослинного покриву визначають опосередковано через показники еродованості та розораності ґрунтів, їх засоленості та біохімічної активності, за формулою [31]:

$$\Pi_{\text{п}} = 100 \cdot K_e \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{B} \quad (1.6)$$

де K_e – коефіцієнт еродованості ґрунтів (обирається в межах 0,1-1,0 [71]);

S_i – площа i -ї ділянки території з індивідуальними характеристиками, га;

B – період (час) перетворення ґрунтово-рослинного покриву, років (обирається в межах – 25-30).

Репродуктивна здатність $\Pi_{\text{р}}$ рослинних угруповань дорівнює [126, 190]:

$$\Pi_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot S_i \quad (1.7)$$

де C_i – щорічне продукування органічної речовини i -ю рослинною спільнотою, т/га;

S_i – площа i -ї ділянки території з індивідуальними характеристиками деревно-чагарникових угруповань, га.

За обчисленими значеннями ($\Pi_{\text{к}}$, $\Pi_{\text{в}}$, $\Pi_{\text{п}}$, $\Pi_{\text{р}}$) репродуктивної здатності території природно-територіального комплексу через узагальнений індекс $I_{\text{р}}$ репродукції можна встановити граничні масштаби транспортного розвитку природно-техногенної геоекосистеми відповідно кожного з компоненті (1.4), (1.5), (1.6), (1.7).

Індексом репродукції (I_p) є відношення показників репродуктивної здатності території природно-територіального комплексу до показників фактичного та перспективного споживання основних біотичних та абіотичних компонентів екосфери в результаті автотранспортної діяльності [126, 163, 164, 166, 168, 169].

Якщо $I_p \rightarrow 1$, має місце збалансований, умовно екологічно безпечний стан природно-техногенної геоекосистеми. Якщо ж $I_p \ll 1$, то це свідчить про високу ймовірність екологічно небезпечного стану регіону і вимагає необхідність реалізації комплексу заходів з поновлення екологічної рівноваги природно-техногенної геоекосистеми у зв'язку з перспективою розвитку автотранспортного комплексу території. Необхідно прагнути до того, аби умова $I_p \rightarrow 1$ виконувалась для кожної з розглянутих вище компонент (P_k, P_v, P_n, P_r).

Індекс репродукції (I_p) природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею значною мірою зумовлений також і кліматичними умовами конкретного природно-територіального комплексу. Відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.3-4:2007 “Споруди транспорту. Автомобільні дороги” [77] дорожньо-кліматичне районування території України за погодно-кліматичними ознаками передбачає поділ на чотири зони: північну (У-I), центральну (У-II), південну (У-III) та гірську (У-IV), а за кліматичними умовами експлуатації автодорожніх асфальто-бетонних покриттів – на сім зон: А-1 – А-7 (додаток У).

Таким чином, структура автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми в поєднанні з кліматичними умовами природно-територіального комплексу зумовлює основні вимоги до транспортно-екологічної оптимізації автотранспортного комплексу, еколого-раціональної структури парку автотранспортних засобів та їх експлуатаційних властивостей [79].

1.4. Транспортно-екологічна раціоналізація структури автотранспортного комплексу

Основним нормативним документом в Україні, який регламентує вимоги до екологічної безпеки автодорожніх мереж є галузеві будівельні норми України ГБН В.2.3-218-007:2012 “Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування” [69]. Цей документ зокрема передбачав обов’язковість розроблення ОВНС в складі проектної документації на будівництво (реконструкцію) автомобільної дороги, граничні зони впливу на навколишнє середовище в залежності від їх технічних параметрів та екологічного класу дороги (до вступу в дію ОВД). Загалом ГБН В.2.3-218-007:2012 встановлює вимоги щодо захисту повітряного середовища, геологічного середовища, водного середовища, земельних ресурсів та ґрунтів, рослинного і тваринного світу, заповідних об’єктів, передбачає вимоги щодо запобігання та зменшення негативного впливу автомобільної дороги на соціальне і техногенне середовище, захист від фізичних факторів впливу.

Формування раціональної структури автотранспортних засобів з визначеним рівнем екологічної відповідальності за неперевищеним фіксованим обсягом валових викидів автотранспортними потоками $[W_j]$ передбачає оптимізацію цільової функції [59, 126, 183]:

$$W_j(t) = \sum_j \sum_i \sum_k w_{j,i,k}(t) \cdot N_{i,k}(t) \cdot L_{a,i,k}(t) \prod_n R_{j,i,k} < [W_j] \quad (1.8)$$

де $W_j(t)$ – валовий викид j -ї шкідливої речовини сукупністю автотранспортних засобів за розглядуваний період часу, г;

$N_{i,k}$ – кількість автотранспортних засобів, які обладнано k -им типом двигунів, що використовують i -ий тип палива, шт.;

$w_{j,i,k}(t)$ – питомий викид j -ї шкідливої речовини, г/км;

$L_{a i,k}(t)$ – сумарний пробіг автотранспортних засобів i -ї групи з двигуном k -го типу, тис. км;

$\prod_n R_{j,i,k}$ – добуток коефіцієнтів впливу n -го фактору на викид j -ї шкідливої речовини автотранспортного засобу i -ї групи з двигуном k -го типу.

Допустимий нормований обсяг $[W_j]$ валових викидів автотранспортного комплексу задається на підставі обсягів валових викидів попереднього року.

Розв'язок задачі екологічної оптимізації структури автотранспортного комплексу з використанням цільової функції (1.8) можливий за умови припущення усталених (стабільних) транспортних можливостей автотранспортного парку, тобто [82]:

$$N_{i,k}(t) \cdot L_{a i,k}(t) = const \quad (1.9)$$

Алгоритм формування структури автотранспортного комплексу за умовою неперевищення обсягів $[W_j]$ валових викидів має обов'язково містити: прогноз чисельності та структури парку автотранспортних засобів за термінами їх використання, видами та обсягами пального, яке використовується, обґрунтування річного пробігу та граничних обсягів викидів шкідливих речовин по окремих групах автотранспортних засобів, а також блок коригування кількісного складу автомобілів, приведених викидів і витрат пального [67,58].

Практична реалізація цільової функції (1.8) передбачає виконання ітерацій по $w_{j,i,k}(t)$ та $N_{i,k}(t)$ одночасно, або послідовно по кожному з цих параметрів. Найприйнятнішим варіантом проведення ітерацій функції (1.8) є варіант:

$$\begin{cases} w_{j,i,k}(t) = var \\ N_{i,k}(t) = const \end{cases} \quad (1.10)$$

В цьому випадку можуть бути обґрунтовані екологічні вимоги (нормативи) викидів, які продукуються окремими групами автотранспортних засобів в прогнозованому автотранспортному комплексі. При виконанні оптимізаційних розрахунків за умовою (1.8) чисельність та структура парку автотранспортних засобів, їх сумарний пробіг може бути визначений або за даними статистичної звітності, або розрахунковими методами. Зазначені показники визначають також і загальну потужність (прогнозовану) автотранспортної інфраструктури природно-техногенної геоекосистеми [52].

При реалізації задачі транспортно-екологічної раціоналізації автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми більш доцільним є використання цільової функції, яка була б прив'язана не до структури парку автотранспортних засобів, а до конкретної площі природно-територіального комплексу. Цільова функція $f_{c \leq [\Gamma ДК_j]}$ в цьому випадку матиме вигляд [46, 47, 49, 51, 126, 198, 200]:

$$f_{c \leq [\Gamma ДК_j]} = \frac{S_{c \leq [\Gamma ДК_j]}}{S} \rightarrow 100\% \quad (1.11)$$

де S – загальна площа природно-територіального комплексу, км²;

$S_{c \leq [\Gamma ДК_j]}$ – площа території природно-територіального комплексу де концентрація j -ї шкідливої речовини, яка продукується автотранспортним потоком, в приземних шарах атмосферного повітря не перевищують значення $[\Gamma ДК_{сд}]$.

Вважається, що автотранспортний комплекс природно-техногенної геоекосистеми 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.

При цьому, для узагальненого оцінювання екологічної безпеки при будівництві (реконструкції), ремонті та утримання під час експлуатації автомобільної дороги може бути застосовано в якості критерію інтегральний показник (K), який розраховується для системи “автомобіль – дорога – середовище” з урахуванням “ваги” окремих параметрів стану природно-територіального комплексу [45, 51, 197, 199]:

$$K = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (1.12)$$

де S_1, S_2, \dots, S_n – значення ступеня відповідності окремих параметрів впливу на об’єкти природно-територіального комплексу нормативним вимогам, бали;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коефіцієнти “ваги” i -го параметру впливу на об’єкти природно-територіального комплексу на окремих етапах її експлуатації.

Інтегральний показник (K) не лише визначає рівень екологічної безпеки системи “автомобіль – дорога – середовище”, але є також і підставою для розроблення комплексу заходів щодо забезпечення зменшення техногенного впливу мережі автомобільних доріг на об’єкти природно-територіального комплексу [50]. При проведенні такого комплексного оцінювання природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею мають бути враховані і фактори ризику, які виникають в процесі експлуатації об’єктів інфраструктури системи “автомобіль – дорога – середовище”. При цьому рівень експлуатаційної безпеки зазначеного комплексу визначається за формулою [45, 47, 50, 54]:

$$R = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \lambda_i \cdot G_i \quad (1.13)$$

де P_i – ймовірність (частота) виникнення i -ї ситуації;

λ_i – ймовірність (частота) розвитку i -ї ситуації до деякої кінцевої ситуації, яка характеризується формуванням неприйнятної ситуації за деяким фактором негативного впливу;

G_i – “вага” наслідків заподіяних i -ю ситуацією об’єктам інфраструктури природно-техногенної геоекосистеми.

Таким чином, транспортно-екологічна раціоналізація структури автотранспортного комплексу має передбачати комплексне конструювання всією природно-техногенної геоекосистеми вцілому на стадії проектування (реконструкції) мережі автомобільних доріг, як визначальної складової системи “автомобіль – дорога – середовище”.

1.5. Динаміка міграційних процесів та депонування викидів забруднюючих речовин, які продукуються потоками автотранспортних засобів

Однією з основних експлуатаційних ознак динаміки колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків є формування рухомої множини факелів газоподібних викидів, які є продуктами згоряння використовуваних палив. В сукупності з пиловими викидами (мінеральний пил, який утворений в результаті дезінтегрування конструкційних матеріалів автодороги і транспортних засобів і сажа, яка є продуктом згоряння деяких видів палива) множина факелів газоподібних викидів утворює газо-пилову хмару викиду, яка і продукується автотранспортним потоком [21, 90]. При надходженні в атмосферу аерозолі газо-пилової хмари викиду відбувається її дифузія з одночасною міграцією в складі повітряних потоків [24, 55]. При цьому, як газові, так і пилові (дрібнодисперсні) компоненти аерозолі газо-пилової хмари викидів, з достатнім рівнем припущення, є пасивними, тобто такими, які не спричиняють будь-яких суттєвих впливів на кінематику і динаміку рухів

повітряних мас [186], а отже, міграційні процеси шкідливих інгредієнтів, які продукуються автотранспортними потоками, в межах визначеної природно-техногенної геоекосистеми повністю узгоджені з динамічними ознаками переміщень приземних шарів атмосфери [194]. Відповідно, механізм переносу (міграції) газо-пилової хмари викиду є поєднанням її конвективного переносу в осередненому русі повітряних мас та дифузійного, який зумовлено турбулентними пульсаціями повітряних потоків [134]. Таким чином, міграційні потоки шкідливих інгредієнтів аерозолі газо-пилової хмари викидів, яка продукується автотранспортним потоком, загалом характеризуються ламінарно-турбулентними та перехідними ознаками руху повітряних мас в межах зони впливу автодорожньої мережі.

Якщо розглядати процес міграції інгредієнтів газо-пилової хмари з точки зору “принципу суперпозиції” (додавання), то цей процес описується сумою (f), яка складається з конвективних процесів певного усередненого потоку, який з певним наближенням має ознаки ламінарності і описується середніми значеннями \bar{f} стану повітряних мас та дифузії у турбулентних вихорах повітря, які можуть бути описані нерегулярними пульсаційними характеристиками \tilde{f} , тобто [226]:

$$(f) = \bar{f} + \tilde{f} \quad (1.14)$$

Складова \bar{f} , яку з певним наближенням за макро-ознаками можна вважати ламінарною, визначають на підставі усереднення миттєвих значень f . Процедура такого осереднення має здійснюватися за всією сукупністю можливих значень f з урахуванням ймовірності їх реалізації у просторі і часі, тобто має бути реалізоване так зване “усереднення ансамблю”. Для спрощення процедури усереднення значень f у випадку аналізу ергодичних залежностей може бути застосована процедура просторово-часового згладжування [217].

Значно складніший характер ознак має друга складова \tilde{f} рівняння (1.14), яка описує дифузійні неусталені нерегулярні пульсуючі процеси в турбулентних вихорах повітряних мас. Характерний приклад турбулентності в зоні так званої “аеродинамічної тіні” наведено на рис.1.10).

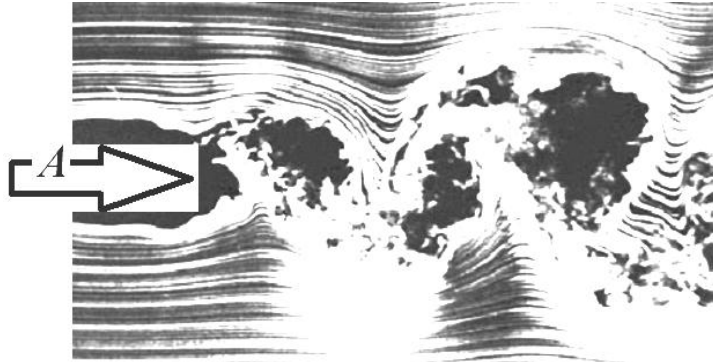


Рис.1.10. Зона турбулентності поміж двома зонами ламінарного потоку, яка виникає в зоні “аеродинамічної тіні” в напрямку стрілки А (vseslova.com.ua)

Критерієм переходу струменів потоку ламінарної течії до турбулентного стану є виконання умови [248, 280]:

$$Re = \frac{U^2}{L} \bigg/ \frac{\nu \cdot U}{L^2} = \frac{U \cdot L}{\nu} \geq Re_{кр} \quad (1.15)$$

де Re – число Рейнольдса;

$Re_{кр}$ – критичне значення числа Рейнольдса, яке визначає границю переходу течії потоку до турбулентного стану;

U – швидкість течії потоку;

ν – кінематична в’язкість речовини потоку (в даному випадку повітряної маси).

При зростанні значення числа Рейнольдса і переході в область його закритичних значень в потоках повітряних мас спочатку виникають великомасштабні збурення (пульсації) у вигляді турбулентних вихорів.

Лінійні розміри (l) цих пульсацій є сумірними з розмірами L всього потоку, а їх амплітуди (варіативність відносно усереднених значень) максимальні і сумірні з величиною варіабельності швидкостей δU потоку на довжинах L [57]. При подальшому поступовому збільшенні числа Рейнольдса в потоці виникають збурення (турбулентні вихори) все менших масштабів і при $Re \gg Re_{кр}$ в потоці спостерігається каскад турбулентних вихорів з масштабами від сумірних з довжиною L потоку до мікрозбурень (розвинена турбулентність) [215, 248].

Отже, визначального значення для аналізу процесів міграції складових інгредієнтів газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортними потоками, у “вільній” атмосфері природно-техногенної геоекосистеми набуває коректне встановлення значень довжини L ламінарно-турбулентних потоків повітряних мас, як довжини відстані перемішування (дифузії) газо-пилового аерозолю хмари викиду. Аналітична модель для визначення значень L була запропонована Прандлем на підставі обчислення “турбулентної” в’язкості речовини двомірного потоку:

$$\nu_t = l_m^2 \cdot \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \quad (1.16)$$

де ν_t – “турбулентна” в’язкість речовини двомірного потоку (в даному випадку повітряної маси);

U – компонента вектора швидкості вздовж течії потоку;

y – координата поперечного перерізу потоку;

l_m – відстань, яку проходить виокремлена частинка аерозолю до змішування з сусідніми частинками.

Представлена аналітична модель (1.16), як відзначав сам автор, є досить грубим наближенням і може використовуватись лише для перехідних шарів потоку від ламінарної течії до зони турбулентності. При аналізі процесів турбулентності в перехідних шарах потоку приймають лінійну зміну величини l_m в межах цього шару, а за межами перехідного

шару величина l_m обирається як така, що дорівнює товщині δ перехідного шару.

В реальних ландшафтах природно-техногенних геоекосистем розміри та шорсткість їх реальних об'єктів відрізняється достатньо широкою варіабельністю. Так, значущі розміри окремих об'єктів ландшафту варіюють від декількох сантиметрів до десятків кілометрів, а їх шорсткість визначається не лише фізичними та біоценотичними ознаками поверхонь ландшафту, але і динамікою та сезонними особливостями клімату розглядуваної природно-техногенної геоекосистеми [120, 133]. Отже, в реальних умовах значення L (1.15) та l_m (1.16) і, як наслідок значення Re , не можуть бути визначені достатньо коректно для реалізації аналітичних досліджень турбулентної дифузії газо-пилової хмари викидів, яка продукується автотранспортними потоками [132].

Більш доцільним в даному випадку є топологічний (фрактально-геометричний) аналіз [117, 121] характерних ознак турбулентної дифузії газо-пилових аерозолів в приземних шарах “вільної” атмосфери і векторний аналіз градієнтів переміщення повітряних мас [188] над ландшафтними поверхнями природно-техногенної геоекосистеми з ознаками розвиненої автодорожньої мережі. При цьому, фрактально-геометричний аналіз турбулентної дифузії має розглядатись, як геометричний аналог аналітичних досліджень турбулентності [87, 121]. Основною умовою (за Б. Мандельбротом) для реалізації фрактально-геометричних досліджень турбулентної дифузії у “вільній” атмосфері є зокрема те, що область розсіювання газо-пилового аерозолі (просторова множина на якій концентрується турбулентна дифузія) може бути змодельована фракталом [127, 143, 192]. Приклад такої просторової множини, на якій концентрується турбулентна дифузія газо-пилового аерозолі, у вигляді нерегулярного фракталу наведено на рис.1.11.



*Рис.1.11. Фрактально-геометрична модель (нерегулярний фрактал) турбулентної дифузії газо-пилової хмари у “вільній” атмосфері
(<https://www.google.com.ua>)*

Таким чином, загальною задачею аналізу фрактально-геометричного аналізу турбулентної дифузії потоків повітряних мас вздовж ландшафтних поверхонь з різною фрактальною шорсткістю є описання фрактальних границь цих поверхонь та границь турбулентно-дифузійної області газо-пилової хмари викиду, всередині якої реалізуються фрактальні властивості газо-пилового аерозолю. Такий аналіз практично може бути реалізований з використанням регулярних фракталів (рис.1.12) з фрактальною розмірністю (розмірністю Хаусдорфа-Безиковича) $D=1,2618$ [187].

Процес турбулентної дифузії завершується розсіюванням газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортними потоками. При цьому, одні області газо-пилової хмари характеризуються високим ступенем розсіювання, тоді як в інших областях у порівнянні з першими розсіювання аерозолю практично відсутнє. Ця ознака турбулентно-дифузійного процесу отримала назву перемежовуваності. Найбільш видимо дана ознака виявляється при досить великих значеннях Re числа Рейнольдса, тоді коли зовнішня межа турбулентності достатньо велика по відношенню до її внутрішньої межі. Области, в яких зосереджено інтенсивне розсіювання газо-пилового аерозолю, називають несучими або опорними. Для реалізації фрактально-геометричного аналізу турбулентної дифузії

Річардсон [65, 87, 183] запропонував концепцію ієрархії турбулентних вихорів, які пов'язані каскадними ознаками, що чітко виявляється в фрактально нерегулярній моделі турбулентної дифузії газо-пилової хмари, яку наведено на рис.1.12.

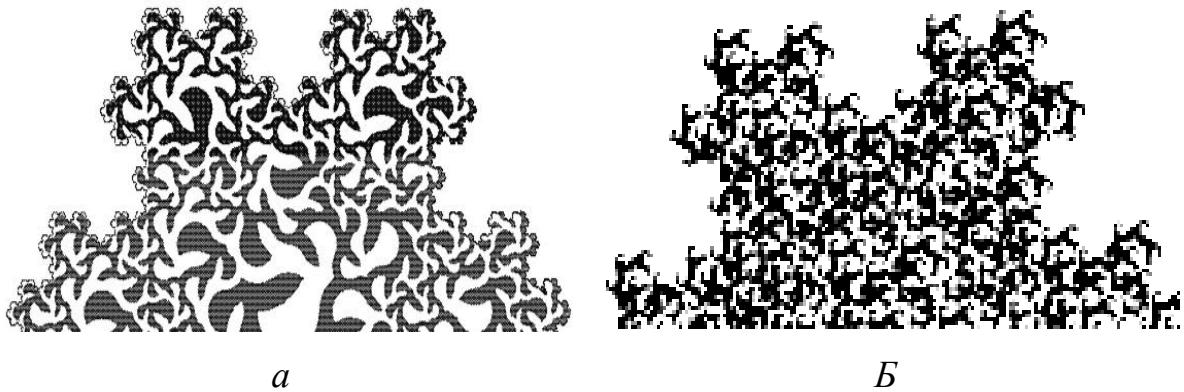


Рис.1.12. Регулярні фрактали з розмірністю $D=1,2618$, як моделі турбулентно-дифузійної хмари викиду, який продукується автотранспортним потоком:

a – “потрійне озеро Коха”, б – фрактал Пеано

З урахуванням наведених вище припущень, узагальнене рівняння міграції диспергованих речовин у газо-пиловій хмарі викиду в турбулентній атмосфері набуде вигляду [122]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} (\bar{v}_\alpha \bar{q}) - \frac{\partial}{\partial x} K_S \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} K_S \frac{\partial q}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} K_S \frac{\partial q}{\partial z} + G\bar{q} = \bar{f} \quad (1.17)$$

де q – значення миттєвої концентрації диспергованих інгредієнтів газо-пилової хмари викидів;

K_S – коефіцієнт турбулентної дифузії інгредієнтів q газо-пилової хмари викидів;

$\bar{v}_\alpha = \{\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}\}$ – складові усередненої швидкості повітряного потоку;

G – величина, обернено пропорційна інтервалу часу, за який концентрація диспергованих в газо-пиловій хмарі викиду інгредієнтів зменшується у порівнянні з початковою в e разів і описує ефекти трансформації інгредієнтів в результаті фізико-хімічних процесів;

x, y, z – просторові координати газо-пилової хмари викиду.

З аналізу рівняння (1.17) походить, що основними фізичними факторами, які визначають процеси перенесення і розсіювання інгредієнтів аерозолі газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком є [201, 236, 243]:

- усереднене перенесення інгредієнтів аерозолі в складі повітряного потоку $\left(\frac{\partial}{\partial x_\alpha} (\overline{v_\alpha \bar{q}}) \right)$;
- турбулентна дифузія інгредієнтів аерозолі в горизонтальній площині $\left(\frac{\partial}{\partial x} K_S \frac{\partial q}{\partial x} \right)$ та $\left(\frac{\partial}{\partial y} K_S \frac{\partial q}{\partial y} \right)$;
- турбулентна дифузія інгредієнтів аерозолі у вертикальній площині $\left(\frac{\partial}{\partial z} K_S \frac{\partial q}{\partial z} \right)$.

Окрім того, до фізико-хімічних процесів трансформації інгредієнтів аерозолі газо-пилової хмари викидів, які описані у рівнянні (1.17) параметром G , можна віднести [249]:

- гравітаційне осадження диспергованих інгредієнтів аерозолі під дією поля сил тяжіння;
- хімічні трансформації газоподібних інгредієнтів аерозолі в результаті хімічних та фотохімічних реакцій в атмосфері;
- вимивання інгредієнтів газо-пилової хмари викидів атмосферними опадами.

Практично всі наведені вище фізичні та фізико-хімічні фактори процесів перенесення та дифузійного розсіювання інгредієнтів аерозолі газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортними

потоками, перебувають в залежності від метеорологічних умов приземних шарів “нижньої” атмосфери, де і відбуваються процеси міграції та подальшого депонування забруднюючих речовин [134].

Загалом процес депонування пилових інгредієнтів газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортними потоками, передбачає сепарацію дрібнодисперсного пилового компоненту з ламінарно-турбулентного потоку повітряного аерозолі з наступною його адгезією поверхнями ландшафтних об’єктів природно-техногенної геоекосистеми. Отже, основною задачею захисту природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами від впливу викидів автотранспортних потоків має бути розроблення таких конструкцій автодорожньої інфраструктури, які забезпечували б інтенсифікацію процесу депонування забруднюючих інгредієнтів викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг (з урахуванням метеорологічних і погодно-кліматичних умов природно-територіального комплексу) і максимально звужували б сумарну ширину смуг впливу автодорожньої мережі [6, 7, 20, 42, 68, 70, 79, 85].

1.6. Аналіз методів захисту природно-техногенних геоекосистем від впливу автотранспортного комплексу

Основними завданнями щодо зниження негативного впливу сукупності автотранспортних засобів та автодорожньої мережі на природно-техногенну геоекосистему пов’язані з впорядкуванням (синхронізацією) колективного руху автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків, формуванням раціональної структури парку автотранспортних засобів, оптимізацією автодорожньої інфраструктури загалом і мережі автомобільних доріг зокрема, а також конструюванням штучних споруд та об’єктів (в тому числі і об’єктів ландшафту) на придорожніх територіях [17, 22, 33].

Відсутність систем захисту автодорожньої мережі (рис.1.13) призводить до неконтрольованого забруднення природно-техногенної геоекосистеми, яке залежить від умов міграції забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, рівнів хімічної активності цих речовин, погодно-кліматичних та метеорологічних умов регіону, характерних ознак ландшафту та підстилаючої поверхні його об'єктів тощо [2, 25, 26]. Отже, екологічна раціоналізація ландшафтної організації природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею є дієвим заходом щодо можливості управління екологічною безпекою природно-територіального комплексу вцілому [3, 4, 11, 193, 194].



Рис.1.13. Відсутність засобів захисту на ділянці автодороги М-18 Харків-Дніпропетровськ

Зокрема, для зниження рівнів розчленованості ландшафту природно-техногенних геоекосистем автодорожньою мережею застосовується спорудження екодуків (рис.1.14), які однак характеризуються несуттєвими захисними властивостями щодо міграційних процесів забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками [40, 111, 139].

Для захисту придорожніх територій від газо-пилових викидів, які продуковані автотранспортними потоками, забруднення важкими металами, фізичних аномалій та різного роду випромінювань застосовують екранування автомагістралей з високими інтенсивностями автотранспортних потоків [111]. Для будівництва таких екранів використовують різні матеріали (рис.1.15), зокрема і матеріали, які є

діловими відходами будівництва (реконструкції) автомобільних доріг [126, 170].

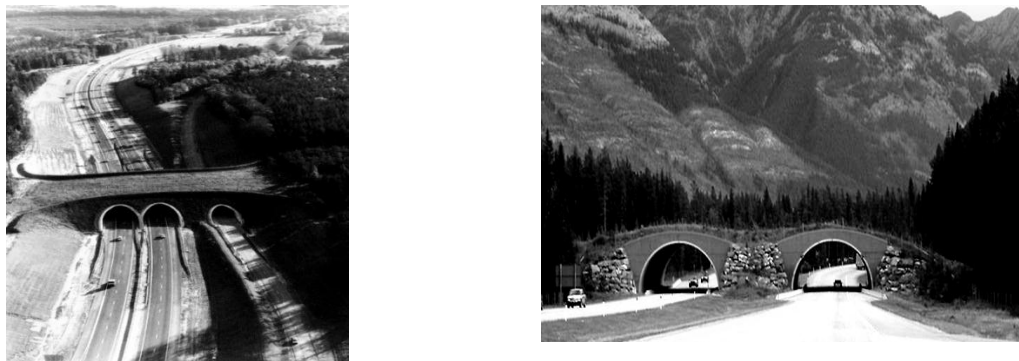
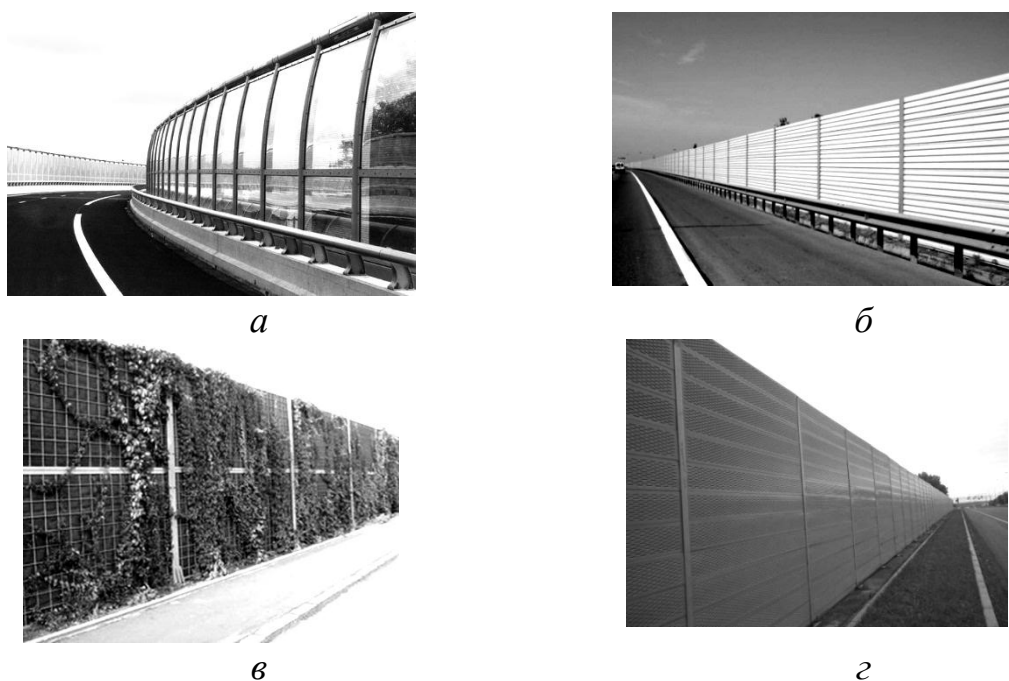


Рис.1.14. Приклади спорудження екодуків (за даними IENE)



*Рис.1.15. Приклади захисного екранування автодоріг:
а, б – екранування автомагістралей з високою інтенсивністю
автотранспортних потоків, в – екран-шпалера з плющовими рослинами,
г – екранування шумозахисними панелями ПМК*

Значна кількість проектів захисних споруд автомобільних доріг є комбінацією інженерно-технічних та біологічних методів захисту природно-техногенних геоекосистем. Прикладом такого сполучення технічного та біологічного методів захисту може бути будівництво бетонно-земляного насипу з відповідним його озелененням, який окрім реалізації

суто захисних функцій має також і певне декоративне призначення (рис.1.16) [17, 69, 75, 81, 82, 154].

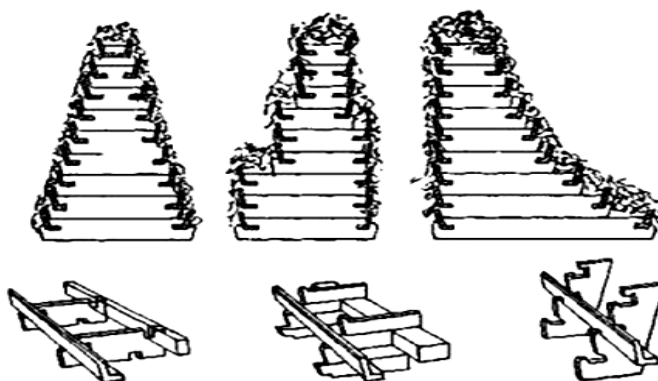


Рис.1.16. Бетонно-земляний вал з озелененням (варіанти будівництва та елементи конструкції)

Досить ефективним прийомом захисту придорожніх ландшафтів природно-техногенних геоекосистем від хімічних та фізичних забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками є застосування комбінованих захисних споруд [77], окремі приклади облаштування яких наведено на рис.1.17.

Доведено [36, 39, 224], що екологічно найефективнішими захисними спорудами автомобільної дороги є двобічні геохімічні бар'єри у вигляді лісових газо-пилрозахисних смуг деревно-чагарникового типу (рис.1.18). Деревно-чагарникові насадження вздовж автомобільних доріг створюють не лише з метою захисту придорожніх ландшафтів від транспортних забруднень, але і для захисту самої автодороги та її конструктивних елементів від впливу негативних природно-кліматичних факторів (наприклад від впливу снігових переметів), для облаштування елементів благоустрою та архітектурного оформлення автомобільної дороги [154, 182]. Озеленення придорожніх територій, згідно з галузевими будівельними нормами ГБН В.2.3-218-007:2012 “Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування” [69], здійснюється відповідно до

робочого проекту будівництва автомобільної дороги на спеціально відведених придорожніх ділянках – резервно-технологічних смугах (смугах відведення) [22, 129, 142, 214, 223]

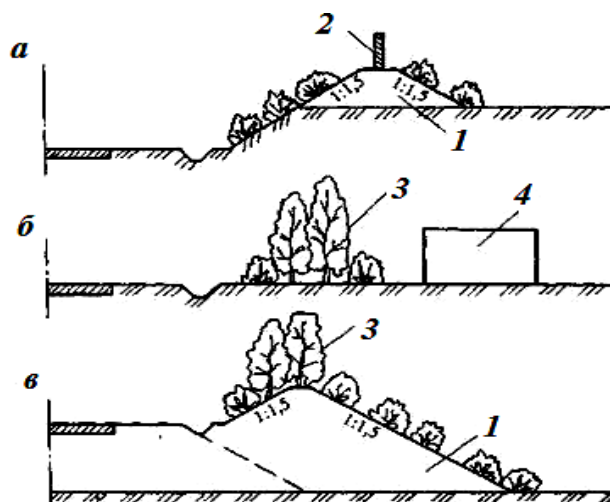
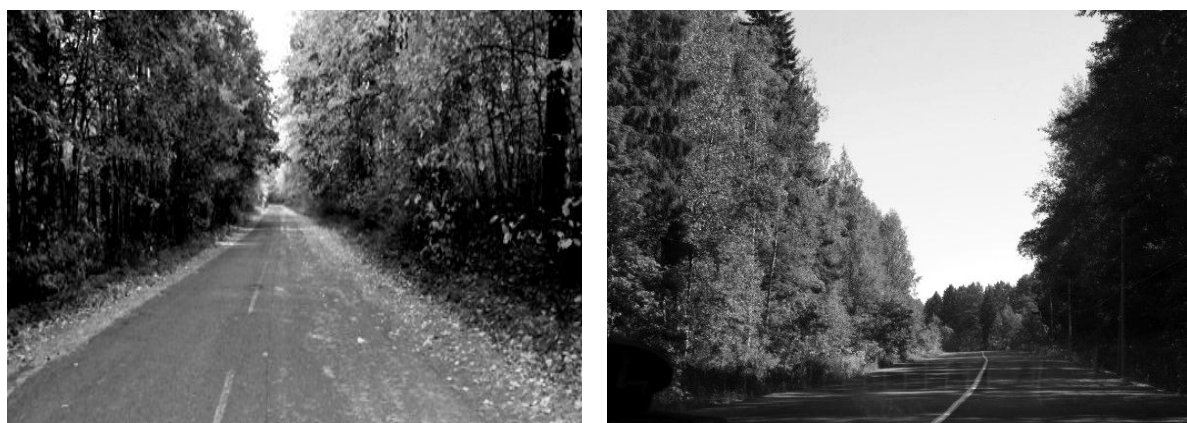


Рис.1.17. Приклади (а, б, в) комплексного застосування захисних споруд:

*1 – земляний вал, 2 – захисний екран, 3 – зелені насадження,
4 – нежитлові будівлі та споруди*



*Рис.1.18. Варіанти лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг
дервно-чагарникового типу*

Для захисту автомобільних доріг та їх інфраструктури від снігових та піщаних переметів застосовують ряд конструкцій (рис.1.19) захисних деревно-чагарникових смуг, конструкція яких визначається екстремальними обсягами перенесення снігу або піщаної пилу [136].

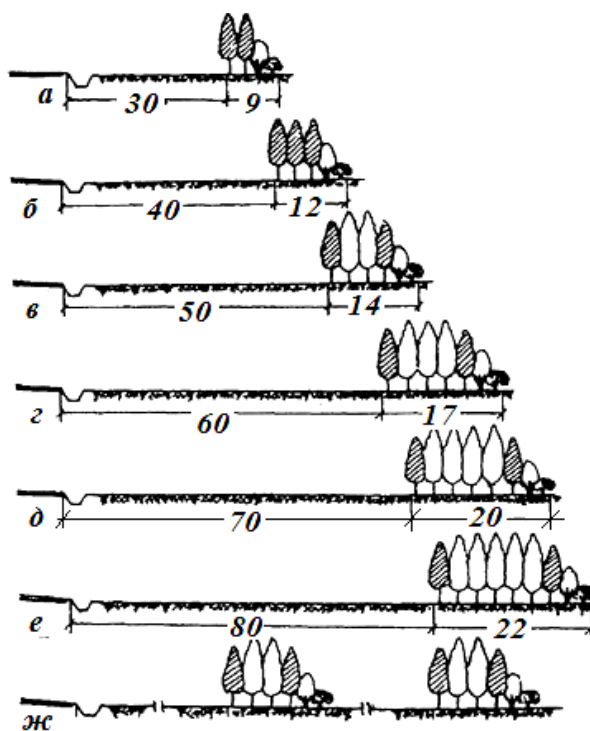


Рис. 1.19. Типові схеми снігозахисних лісових насаджень вздовж автомобільних доріг при обсягах снігоперенесення ($\text{м}^3/\text{м}$):
а – до 50, б – до 75, в – до 100, г – до 125, д – до 150, е – до 200, ж – до

250

Аналіз конструкційних особливостей наведених вище конструкцій захисних лісосмуг деревно-чагарникового типу свідчить про їх спрямованість на захист проїжджої частини автомобільних доріг від зовнішніх погодно-кліматичних факторів та особливостей ландшафтної організації пришляхових територій, але жодна з наведених на рис.1.19 конструкцій не забезпечує надійного захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними засобами.

Значно досконалішою за розглянуті вище конструкції (рис.1.19) захисних лісосмуг деревно-чагарникового типу (за функціональними ознаками захисту придорожніх територій від газо-пилових викидів автотранспортних потоків) є конструкція триярусної лісової газо-пилозахисної смуги, модель поперечного перерізу якої наведено на рис.1.20

[146, 148, 215]. Верхній ярус такої лісосмуги утворюють крони деревних насаджень головної породи, середній ярус – крони дерев супутньої породи і нижній ярус – насадження чагарнику, які загалом визначаються такою схемою посадки:

$$\text{Ч} \leftrightarrow \text{Г} \leftrightarrow \text{Ч} \leftrightarrow \text{С} \leftrightarrow \text{Ч} \leftrightarrow \text{Г} \leftrightarrow \dots \leftrightarrow \text{Ч} \leftrightarrow \text{С} \leftrightarrow \text{Ч} \quad (1.18)$$

де Г – головна деревна порода;

С – супутня деревна порода;

Ч – чагарник.

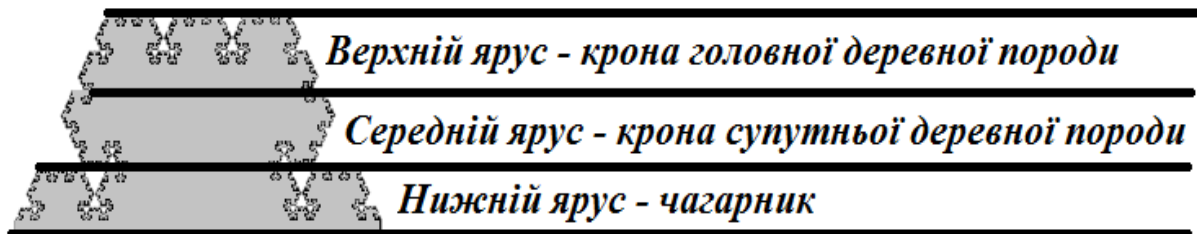


Рис.1.20. Фрактально-інваріантна модель перерізу висотно-просторової структури фітогоризонтів у лісовій газо-пилізахисній смугі ізолюючого типу

Структурна фітоценотична організація моделі поперечного перерізу такої лісосмуги передбачає її фрактально-інваріантну будову, яка відповідає регулярному фракталу Пеано-Пойа [206]. Процедуру виокремлення фітоценотичних складових головної деревної породи, супутньої деревної породи та чагарнику з вихідного фракталу наведено на рис.1.21. В залежності від ландшафтних ознак природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею, категорії автомобільної дороги, інтенсивності та щільності автотранспортних потоків визначено відповідні фрактально-інваріантні конструкції лісових газо-пилізахисних смуг, які наведено на рис. 1.22 [136, 147, 205, 214. 215, 216, 218, 223,229, 246, 247].

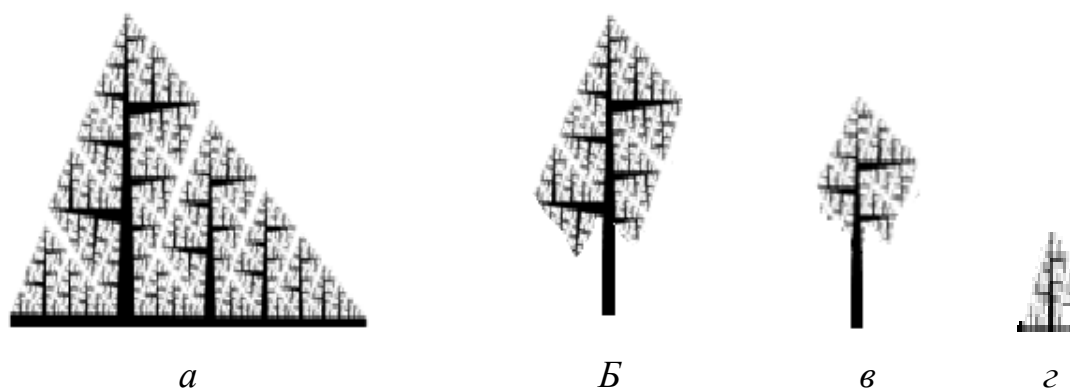


Рис.1.21. Процедура виокремлення модельних складових газо-пилозахисної смуги деревно-чагарникового типу з регулярного фракталу

Пеано-Пойа:

a – вихідний фрактал, б – фрактальна модель головної деревної породи;

в – фрактальна модель супутньої деревної породи,

г – фрактальна модель чагарнику

Характерною ознакою такої конструкції лісової газо-пилозахисної смуги деревно-чагарникового типу є трапецієвидний профіль її поперечного перерізу з різними кутами нахилу бічних аверсної (обернена до проїжджої частини автомобільної дороги) і реверсної поверхонь. При цьому, кут α нахилу аверсної поверхні лісосмуги в 1,5–2,5 разів менший за кут β нахилу її реверсної поверхні (рис.1.23). Такі геометричні параметри контуру поперечного перерізу захисної лісосмуги ізолюючого типу внаслідок специфічних аеродинамічних умов [216] обтікання смуги повітряними потоками зумовлюють виникнення на її реверсному боці “аеродинамічної тіні”. Конструкція такої газо-пилозахисної лісосмуги є досить ефективною з точки зору захисту природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею від газоподібних викидів, які продукуються автотранспортними потоками, і забезпечує зменшення індексу забруднення атмосфери на реверсному боці смуги в

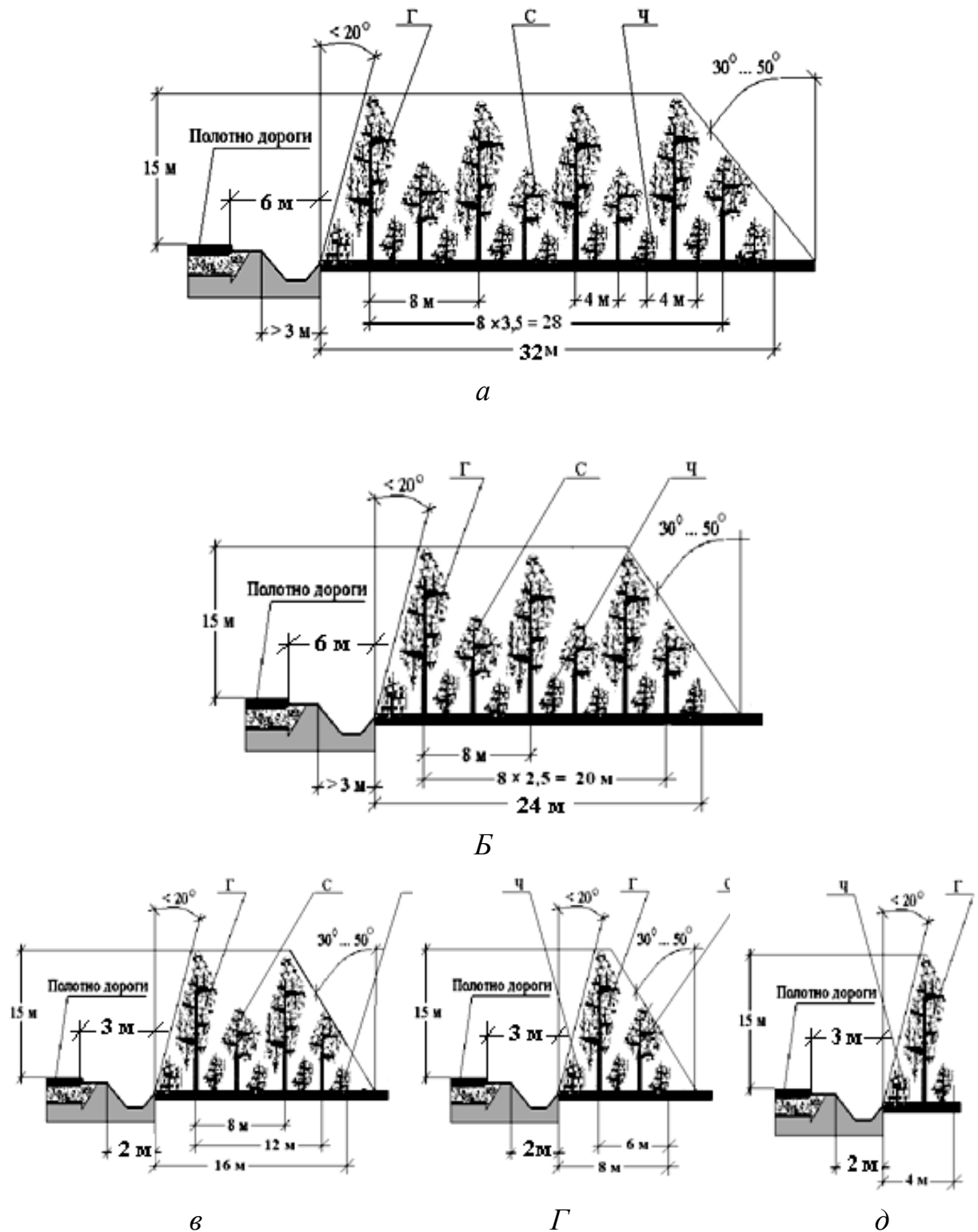


Рис.1.22. Фрактально-інваріантні моделі лісових газо-пилосахисних смуг автошляхової мережі в залежності від категорії автодороги:
 а – категорії 1а, 1б; б – категорія 2; в – категорія 3; г – категорія 4;
 д – категорія 5; Г – головна деревна порода; С – супутня деревна порода;
 Ч – чагарник.

порівнянні з її аверсною стороною за такими інгредієнтами як CO , N_xO_y , SO_2 – в $\sim 10,7$ рази, а рівень відновлення спожитого автотранспортним потоком кисню складає 39–47 % [146, 215, 216].

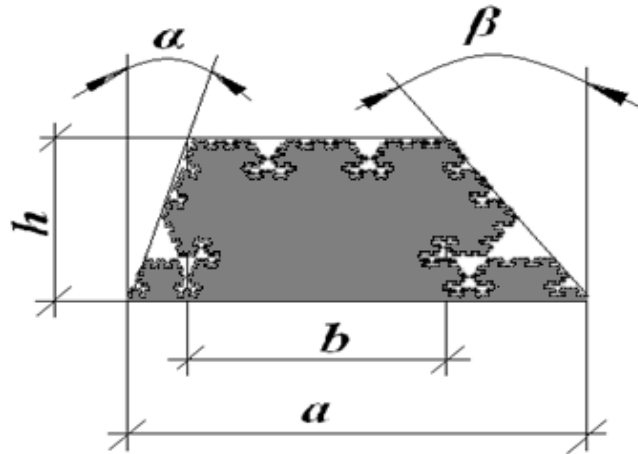


Рис. 1.23. Геометричні параметри профілю поперечного перерізу газо-пилозахисної смуги деревно-чагарникового типу

Для покращення пилозахисних властивостей наведених вище конструкцій газо-пилозахисних лісосмуг автомобільних доріг можуть бути застосовані похідні від неї конструкції [173, 176] з розрідженою посадкою деревних рослин супутньої породи (рис.1.24), або з лабіринтом лакунарних порожнин в структурі фітоценозу лісосмуги (рис.1.25) [57, 148, 149, 213].

Лабіринт лакунарних порожнини у внутрішній структурі фітоценозу такої лісової газо-пилозахисної смуги автомобільної дороги, як правило, зумовлений морфологічними та фітоценотичними властивостями деревних і чагарникових порід [223], однак за необхідності може бути створений штучно [57, 61, 62] при проведенні санітарних рубок лісосмуги (рис.1.26).



Рис. 1.24. Похідна конструкція захисної лісосмуги автомобільної дороги з розрідженою посадкою (супутня деревна порода відсутня):
 а – типова конструкція, б – конструкція лісосмуги із заміною супутньої деревної породи породами чагарнику
 (<http://www.gosthelp.ru/text/ObzornayainformaciyaAvtom17.html>)

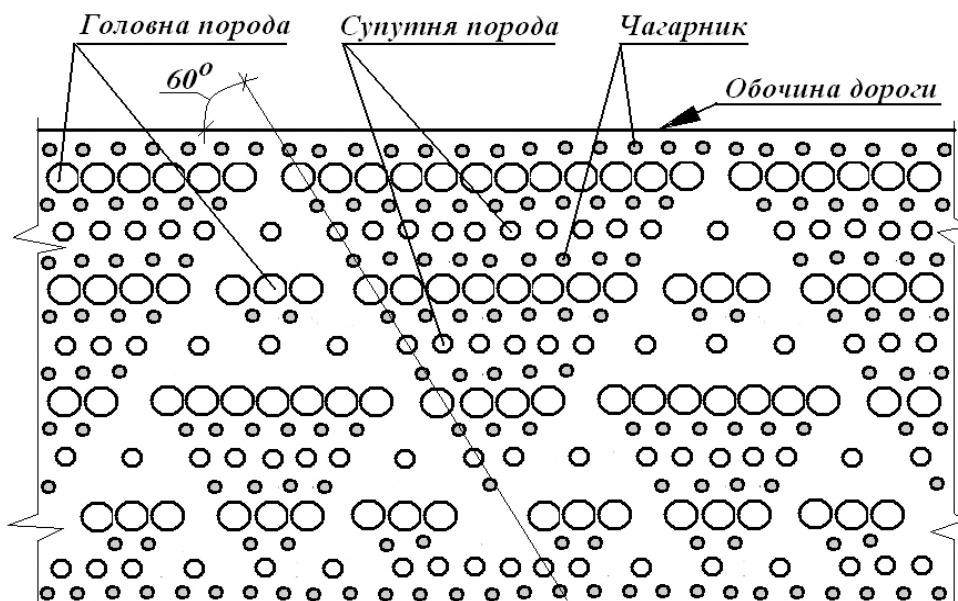


Рис. 1.25. План структурної організації посадки деревних і чагарникових порід лісової газо-пилізахисної смуги з лабіринтом лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш)



Рис.1.26. Штучно створені лакунарні порожнини (фітоценотичні ніші) в структурі деревно-чагарникової посадки лісової газо-пилізахисної смуги автомобільної дороги

Конструкційне збереження фрактальної інваріантності штучно створених лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш) такої газо-пилізахисної лісосмуги (рис.1.27) до вихідної конструкції (рис.1.22) забезпечує підтримання її функціональної ефективності за показниками газоподібних забруднювачів (CO , CO_2 , N_xO_y , SO_2), які продукуються автотранспортними потоками [61, 149]. Разом із цим встановлено, що розглядувана конструкція газо-пилізахисної смуги з лабіринтом лакунарних порожнин забезпечує повне депонування частинок мінерального пилу в межах масиву лісосмуги з фракціями > 150 мкм. Дисперсні частинки мінерального пилу з фракціями < 150 мкм лише частково депонуються в межах лісосмуги, а частково можуть залишатися диспергованими в повітряному аерозолі, при цьому масова частка недепонованих пилових забруднювачів не перевищує 0,04 % влітку та 0,12 % взимку від загальної маси мінерального пилу, який продукується автотранспортним потоком [57, 218, 219, 225, 251].

Однак, штучно створюваний лабіринт лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш) в структурі деревно-чагарникової посадки (рис.1.25) призводить до зміни фрактально-інваріантних ознак верхнього ярусу

(рис.1.20) газо-пилозахисної лісосмуги, який сформовано кронами дерев головної породи (рис.1.24).

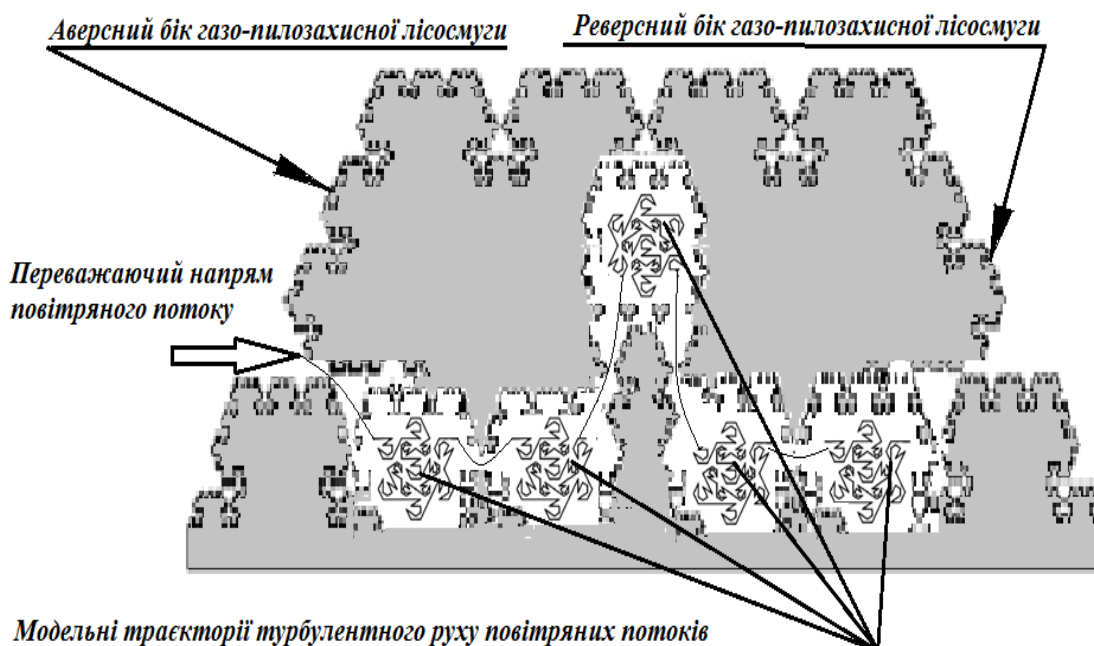


Рис.1.27. Фрактально-інваріантна модель турбулентної субколяції повітряних аерозольних потоків в лабіринті лакунарних порожнин лісової газо-пилозахисної смуги автомобільної дороги

Як наслідок, контур профілю поперечного перерізу конструкції такої смуги не може бути визначений трапецією (рис.1.23), верхню основу якої окреслено прямолінійною асимптотою-контуром регулярного фракталу Пеано-Пойа (рис1.21), що призводить до зміни характеристик аеродинамічних потоків в складі яких мігрують аерозолі газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортними потоками. Отже, покращення захисних властивостей лісосмуги з лабіринтом лакунарних порожнин за показником контрастності [227] по пилових забруднювачах призводить до погіршення її функціональних властивостей щодо відновлення хімічного складу “нормальної атмосфери” за газоподібними інгредієнтами газо-пилової хмари викиду. Таким чином розглянута конструкція лісової газо-пилозахисної смуги з лабіринтом лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш) вимагає доопрацювання за структурною композицією деревних та чагарникових порід для покращення її

функціональних ознак щодо захисту природно-техногенних геоекосистем від газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортним комплексом.

Необхідно також зазначити, що дослідження функціональних властивостей газо-пилозахисних лісосмуг в ландшафтних умовах, як правило, є ускладненим, а іноді і взагалі неможливим з огляду на методологічні особливості експериментів: відсутність ділянок лісосмуг з конструкційно визначеними захисними властивостями (період виведення газо-пилозахисної смуги на експлуатаційні показники з моменту її створення може досягати десяти і більше років, що зумовлено біологічними особливостями деревних і чагарникових порі), мінливість аеродинамічних та метеорологічних умов (опис атмосферних потоків аналітично наближений до атрактору Лоренца), варіативність погодно-кліматичних факторів тощо [40, 51]. Тому для оптимізації захисних властивостей лісових газо-пилозахисних смуг доцільним є застосування методів фізичного моделювання аеродинамічних процесів масопереносу в лабораторних умовах з використанням спеціально розроблених експериментальних моделей, лабораторних установок та випробувальних стендів (рис.1.28, рис.1.29) [35, 41, 115, 118, 122, 114, 125].

Отже, встановлено, що одним з найефективніших заходів підтримання екологічної рівноваги природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею є створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар'єрів у вигляді газо-пилозахисних смуг, як складової частини інженерної інфраструктури системи “автомобіль – дорога – середовище”, хоча їх конструкції потребують певного доопрацювання спрямованого на підвищення їх функціональної ефективності шляхом поєднання пилозахисних властивостей та здатності до відновлення складу “стандартної атмосфери” [45, 46, 57, 61, 215]

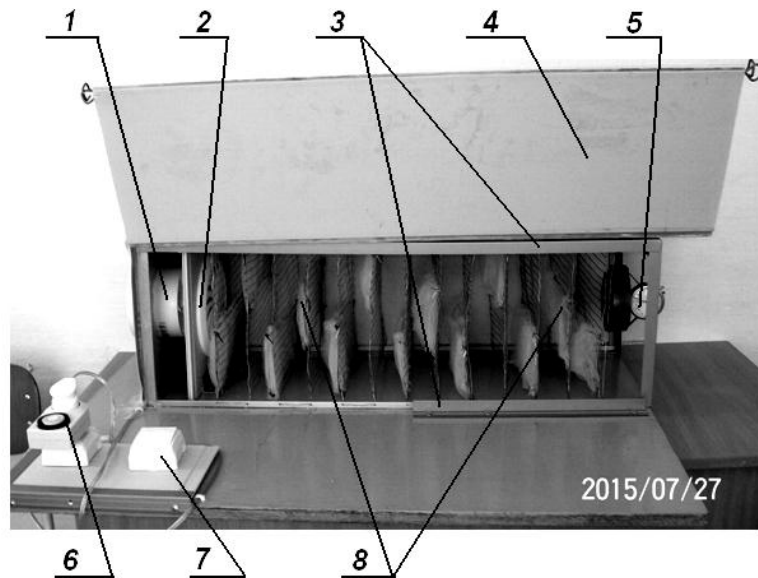


Рис.1.28. Аеродинамічний короб:

1 – вузол осьового вентилятора VENTS-125ВКО-турбо; 2 – жалюзі VENTS-125ПФ для регулювання швидкості вітрового потоку; 3 – опорний каркас; 4 – панелі короба (передня панель піднята); 5 – анемометр лопатевий АСО-3; 6 – таймер; 7 – вмикач електроживлення; 8 – шпалера з моделями гілчасто-листяних ярусів смуги

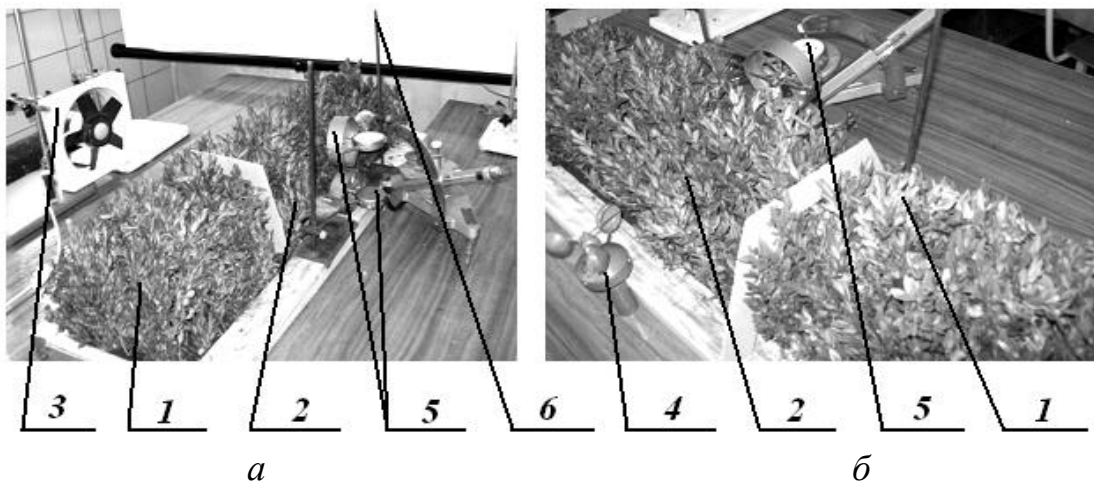


Рис.1.29. Загальний вигляд моделі-імітатора деревно-чагарникової газо-пилозахисної смуги, а – вигляд з боку, б – вигляд зверху:

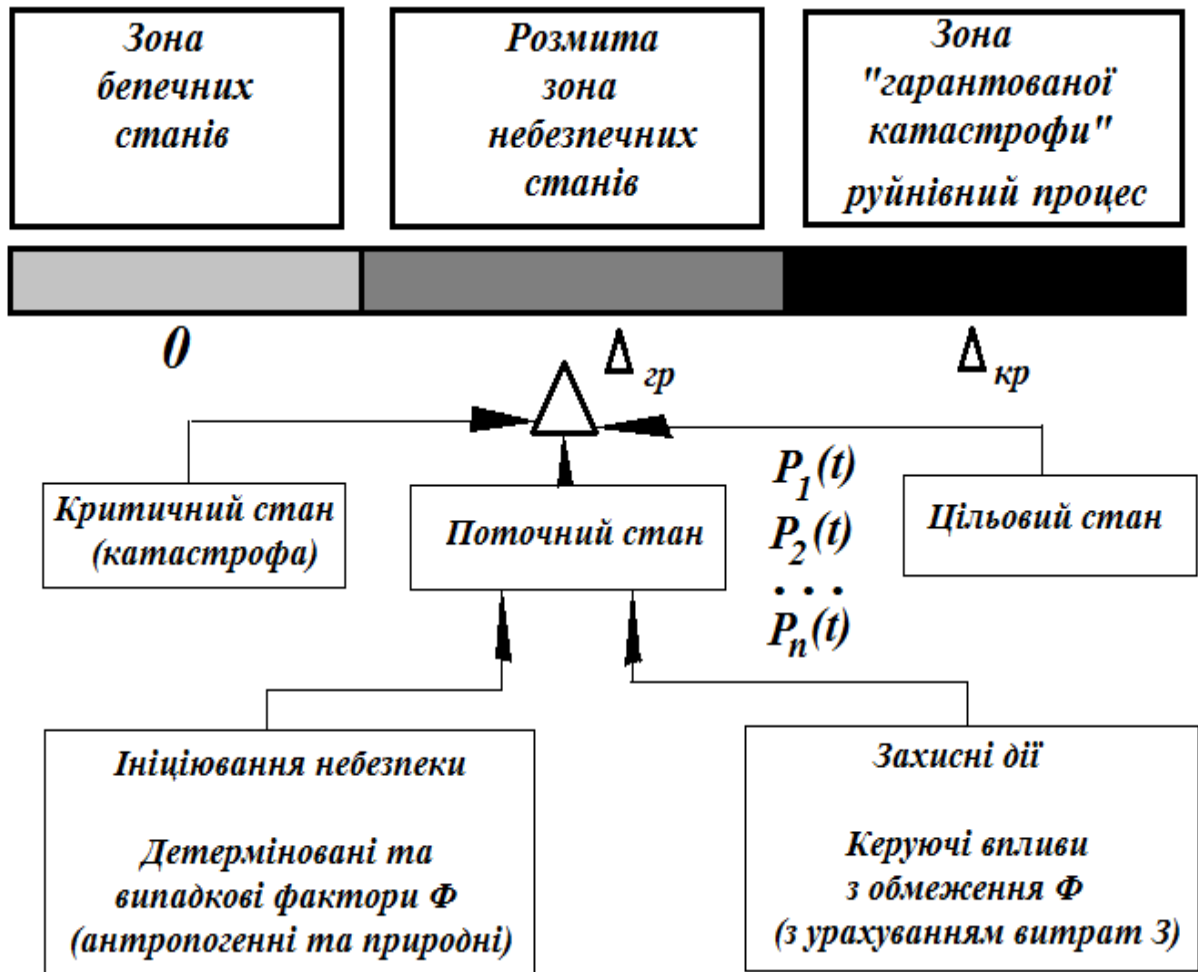
1 – ділянка муляжу лісосмуги з ажурністю $K^a=0,12$; 2 – ділянка муляжу лісосмуги з ажурністю $K^a=0,59$; 3 – вентилятор типу АF-890; 4 – анемометр індукційний АРІ-49; 5 – анемометр лопатевий АСО-3; 6 – рейтер

1.7. Управління екологічною безпекою територій з щільною мережею автомобільних доріг

Забезпечення оптимально стабільних фіксованих рівнів екологічної безпеки (рис.1.30) природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною інфраструктурою в першу чергу передбачає розробку оптимального за ландшафтно-екологічними ознаками (вимогами) робочого проекту автодорожньої мережі [160, 194, 256]. Загалом, основну мету ландшафтно-екологічного проектування автодорожньої мережі можна сформулювати як перспективну оцінку у часі динаміки техногенної трансформації ландшафту під впливом будівництва (реконструкції) автотранспортної інфраструктури [60, 74, 105, 107, 110, 235, 244, 245].

Ландшафтно-екологічне проектування повинне передбачати комплексну оцінку територій, що є основою (вихідними даними) планування та проектування основних чинників їх господарського використання та обґрунтування екологічних наслідків розвитку ландшафтних структур або природно-територіальних комплексів [45, 49, 50, 108, 119, 130, 150].

Ландшафтно-екологічне проектування є широкою розгалуженою за результатами мережею прогнозування динаміки станів природно-техногенної геоекосистеми, які визначають еколого безпечні властивості природно-територіального комплексу [10]. Ландшафтно-екологічне прогнозування має обов'язково враховувати загальнотеоретичні аспекти географічного, ґрунтового, погодно-кліматичного, метеорологічного, гідрологічного та інших прогнозів в межах вирішення спеціальних завдань екологічної безпеки всієї природно-техногенної геоекосистеми в цілому. Складністю є недостатня розробленість загальнонаукових основ методології еколого-ландшафтного прогнозування, що зумовлює спрямованість прогнозних оцінок, як правило, у межах лише кількох компонентів ландшафту [9, 11, 14, 63, 64, 66, 96, 97,98].



$\Delta = P_i(t) - P^ц$ – відхилення актуального параметру від цільового екологічно безпечного показника

$\Delta_{гр}$ – гранично допустиме відхилення

$\Delta_{кр}$ – критичне відхилення

$P_{пр}$ = оптимізація [небезпека (Φ), корисність (Z)] – прийнятна ймовірність

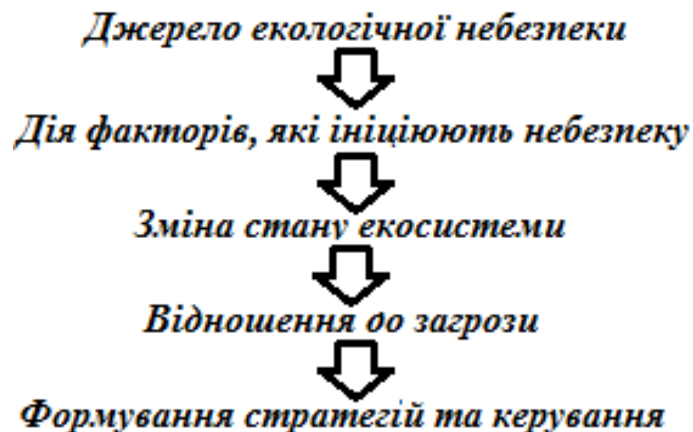


Рис.1.30. Цикл забезпечення екологічної безпеки

Таким чином, виникає потреба у розробленні надійних методів узагальнення та комплексного (інтегрального) оцінювання багатопараметричної інформації про динаміку станів природно-техногенних геоекосистем (в тому числі і з розвиненою автотранспортною інфраструктурою), які дозволили б на стадії проектування будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі забезпечити достатній рівень екологічної безпеки природно-територіального комплексу.

Функціонування об'єктів автотранспортної інфраструктури безпосередньо пов'язане з виникненням певних систематичних екологічних та експлуатаційних ризиків [47, 91]. Проектоване функціонування об'єктів автотранспортної інфраструктури, при якому виникає систематичний ризик може бути визначене через математичне очікування окремих чинників екологічної небезпеки протягом встановленого періоду роботи (технічного ресурсу). Ризик R визначається ймовірністю P виникнення небажаної події і обсягом X її (цієї події) наслідків [179]. За умови такого визначення екологічний ризик визначається як [63, 118]:

$$R = \{P, X\} \quad (1.19)$$

Для визначення показника екологічного ризику доцільним є визначення математичного очікування у вигляді деякої скалярної величини [227]:

$$R = P \cdot X \quad (1.20)$$

Аналіз ризиків техногенного впливу автотранспортного комплексу на природно-техногенну геоекосистему починається з оцінювання ризику джерел небезпеки (автодорожня мережа, автотранспортні потоки, об'єкти інфраструктури автотранспортного комплексу) та вимірювання цієї небезпеки з рівнем ефективних впливів на природно-територіальний

комплекс. Прийнятний техногенний (транспортно-експлуатаційний) ризик не повинен перевищувати рівнів ризиків від об'єктивних чинників, які визначають екстремальний перебіг природних процесів (зливи, повені та паводки, зсуви або обвали ґрунту, снігові лавини, буревії тощо) [45].

Оцінювання ризиків джерел небезпеки автотранспортного комплексу має також містити сукупність методів аналізу транспортно-експлуатаційної надійності його окремих об'єктів. На підставі аналізу всіх статистичних рядів розраховують кінцеву ймовірність можливості виникнення ризиків втрати транспортно-експлуатаційної якості функціонування автотранспортної системи, що призводить до погіршення встановленого рівня екологічної безпеки природно-територіального комплексу [262].

Екологічно небезпечні впливи автотранспортної системи на навколишнє середовище та об'єкти природно-територіального комплексу наведено в таблиці 1.1 [47, 50, 113, 228, 258].

При цьому, потрібно також зазначити, що проблемними, з точки зору екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами, є випадки різкого збільшення інтенсивності руху та щільності автотранспортних потоків і пов'язані із цим підвищення наднормативних рівнів розрахункових навантажень на окремі ділянки автомобільної дороги, а також збільшення обсягів газо-пилових викидів та рівнів фізичних забруднень на придорожніх територіях.

Отже, структура і склад парку автотранспортних засобів, їх технічний стан, технічне обслуговування та ремонт, ландшафтна організація мережі автомобільних доріг, організація вантажних і пасажирських перевезень, будівництво об'єктів автотранспортної інфраструктури, виробництво будівельних матеріалів, організація руху автотранспортних потоків – призводить до зовнішніх впливів на природно-техногенну геоекосистему з розвиненою автотранспортною мережею. Головним завданням проектного управління є досягнення екологічної безпеки природно-територіального комплексу з одночасним збалансуванням матеріальних і ресурсних витрат

на будівництво та експлуатацію автотранспортної системи з одночасним виконанням завдань та зобов'язань щодо превентивно визначених обмежень проекту будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі.

Таблиця 1.1

Вплив автошляхової мережі на навколишнє середовище

Характер негативного впливу	Прояв негативного впливу
Вичерпання місцевих природних ресурсів	Відчуження земельних площ. Видобуток кам'яних матеріалів, піску, ґрунту. Руйнування родючих шарів ґрунту та дернини.
Зміни рельєфу ландшафту	Облаштування насипів вище (нижче) профілю природного рельєфу, будівництво відкосів, виїмок, бічних резервів, узбіч, кавальєрів невикористаного ґрунту, розробка зосереджених резервів, глибоких кар'єрів, які поєднуються з природним рельєфом.
Гідротехнічні роботи	Осушення (дренаж) земель та боліт, регулювання стоку (водовідвід), облаштування напірних гідроспоруд, зміна русл водотоків, облаштування насипів на болотах.
Технологічні забруднення	Мінеральне запилення, шуми, вібрації від будівельної техніки та вибухових робіт, стоки ґрунтових суспензій, забруднення поверхні ґрунту в місцях тимчасових споруд та стоянок техніки, прокладка комунікацій на пришляхових смугах, обробка антижеледевіми матеріалами тощо.
Транспортні забруднення	Відпрацьовані гази транспортних засобів, транспортні шуми та вібрації, побутове забруднення пришляхових територій, рекреаційні навантаження.

1.8. Завдання досліджень

На підставі вищевикладеного аналізу сучасного стану проблем екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвинутою інфраструктурою автокомунікаційних мереж та відповідно до поставленої мети визначено такі завдання дисертаційної роботи:

- 1) розробити методологічні аспекти дисертаційного дослідження, виявити та застосувати ефективні апробовані методи проведення теоретичних та прикладних досліджень;
- 2) поглибити та розширити наукові уявлення щодо закономірностей та особливостей виникнення екологічної небезпеки в умовах впливу автодорожніх мереж з інтенсивними потоками автотранспортних засобів; розробити модель формування екологічної небезпеки;
- 3) визначити ознаки колективного синхронізованого руху в складі автотранспортного потоку автомобільних доріг категорій I-а, I-б, II, III, IV, V, встановити балансові обсяги, структуру та хімічний склад газо-пилових викидів, відповідно до їх проектних характеристик;
- 4) розробити базові принципи, структуру об'єктно-орієнтованого моделювання стратифікації приземних шарів атмосфери в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг та відповідних процесів масопереносу забруднювачів в залежності від характеристик рельєфу ландшафту та конструкційних параметрів профілю автодороги;
- 5) виконати ландшафтно-транспортну раціоналізацію типових структур опорних каркасів територій природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами, в тому числі на ділянках з особливими умовами руху;
- б) обґрунтувати екологічно оптимальні конструкційні параметри профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг різних категорій, відповідних систем та об'єктів інженерного захисту придорожніх ландшафтів;

7) розробити принципи прогнозування техногенної трансформації ландшафтів та управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами на підставі узагальнення еколого-економічного обґрунтування та інформації про ресурсні потенціали для будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі.

РОЗДІЛ II

СТРУКТУРА, СКЛАД ТА ОБСЯГИ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЯКІ ПРОДУКОВАНІ ПОТОКАМИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Викиди забруднюючих речовин, які здійснюються автотранспортними засобами, їх структура, склад та обсяги, неможливо визначити застосовуючи принцип суперпозиції, тобто додаванням динаміки впливу окремих одиничних автотранспортних засобів. Автотранспортні потоки завжди функціонально прив'язані до існуючої або проектованої автодорожньої мережі, а отже і до ландшафтно-територіальних умов конкретної природно-техногенної геоекосистеми. Пов'язана з цим варіабельність умов руху автотранспортних потоків призводить до зміни режимів руху, роботи двигунів транспортних засобів, витрат пального, надійності та довговічності конструкцій автодоріг і, як наслідок, до специфічних для кожної конкретної природно-техногенної геоекосистеми, функціональних характеристик викидів шкідливих речовин, умов їх міграції та депонування [178, 185, 191]. Основними аргументами цих функціональних характеристик є: структурний склад, усереднена швидкість та інтенсивність руху автотранспортного потоку, а також конструкційні особливості, технічний рівень та експлуатаційний стан автомобільної дороги. При цьому, транспортна здатність автодороги визначається не лише її конструкційними особливостями, але і специфікою організації руху, який забезпечує як достатню безпеку кожного учасника, так і визначає рівень техногенної та екологічної безпеки всього природно-територіального комплексу в цілому.

До небезпечних впливів автотранспортного комплексу (в тому числі і за їх обсягами) необхідно віднести: продукти руйнування (дезінтеграції) та зношування мінеральних матеріалів конструкції автомобільних доріг,

газоподібні токсичні та небезпечні шкідливі речовини, які є продуктами згоряння пального у двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів [122, 116].

2.1. Викиди мінерального пилу та пилових аерозолів

Викиди мінерального пилу та пилових аерозолів, які здійснюються автотранспортними засобами, відрізняються за своїм походженням, складом, структурою та обсягами. Основним диспергованим компонентом пилового забруднення є мінеральний пил, який утворюється внаслідок руйнування (дезінтеграції) та зношування конструкційних матеріалів автомобільних доріг в результаті фретінг-втоми і пітінгового пошкодження [128]. Загалом під дезінтеграцією будемо розуміти процес подрібнення багатокомпонентної мінеральної суміші конструкції автомобільної дороги, яка утворена відносно слабо зв'язаними поміж собою складовими частинами і характеризується утворенням каверн (рис.2.1) [15, 16, 80].

2.1.1. Процеси дезінтеграції мінеральних речовин при експлуатації автомобільних доріг

Внаслідок взаємодії рушія транспортного засобу з поверхнею автодороги в останній в місці дотику виникає напружено-деформований стан зумовлений тиском, який припадає на достатньо малу площу окреслену деякою плямою контакту (рис.2.1). Конструкційний матеріал (як шари асфальтобетону, так і підстилаючі шари щебеню), не маючи можливості вільно деформуватися, зазнають об'ємного напруженого стану [210]. На підставі розв'язування задачі Бусінеска-Фламанна контактні напруження

мають явно місцевий характер і досить швидко зменшуються в міру віддалення від зони контакту (рис.2.2).



Рис.2.1. Характер профілю каверн поверхонь автомобільних доріг

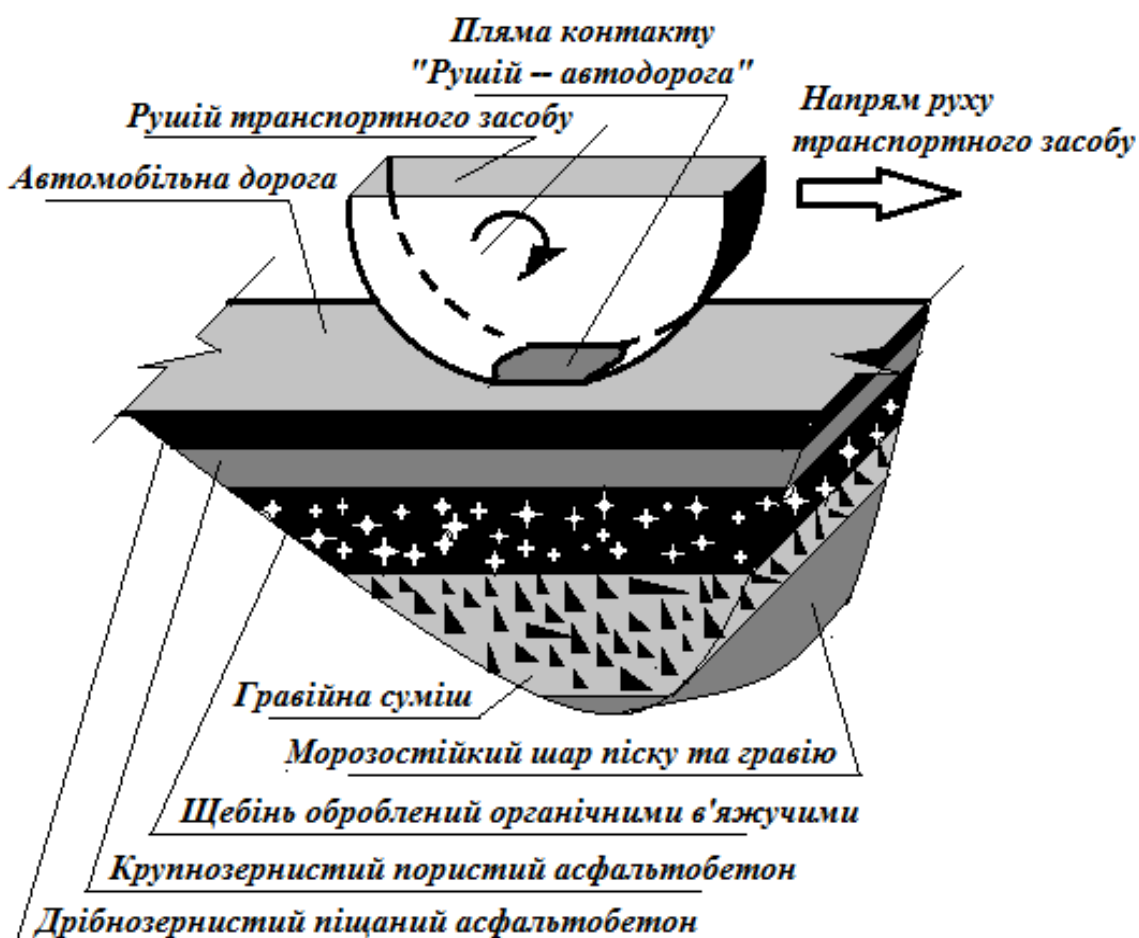


Рис.2.2. Характер контакту рушія транспортного засобу з автомобільною дорогою

На підставі розв'язку “задачі Герца” про контакт двох циліндрів [240]:

$$b = 2,15 \sqrt{q \frac{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}} \quad (2.1)$$

встановлено, що найбільше напруження стискання, яке діє в точках осі плями контакту [198]:

$$\sigma_{max} = 1,27 \frac{q}{b} = 0,418 \sqrt{2q \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}} \quad (2.2)$$

де: q – інтенсивність розподіленого за твірними циліндрів навантаження;

E_1 та E_2 – модулі пружності матеріалів першого і другого циліндрів відповідно;

R_1 та R_2 – радіуси першого і другого циліндрів відповідно.

При цьому, аналіз напружено-деформованого стану конструкції автомобільної дороги свідчить про те, що небезпечна точка розташована в площині, яка проходить через паралельні осі циліндрів на глибині $0,8b$, де b – півширина контактної площинки “рушій транспортного засобу – автомобільна дорога” (рис. 2.3). Головні напруження в цій точці матимуть такі значення [73]:

$$\begin{cases} \sigma_I = -0,180 \cdot \sigma_{max} \\ \sigma_{II} = -0,288 \cdot \sigma_{max} \\ \sigma_{III} = -0,780 \cdot \sigma_{max} \end{cases} \quad (2.3)$$

а найбільше дотичне напруження в небезпечній точці становить:

$$\tau_{max} = 0,32 \cdot \sigma_{max} \quad (2.4)$$

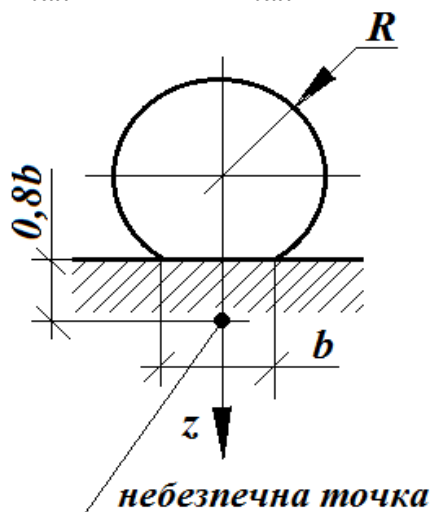


Рис.2.3. Схема контакту “циліндр – площина” (“рушій – дорога”)

При розгляді контактної взаємодії (рис.2.3) рушія транспортного засобу і автомобільної дороги (циліндр – площина) приймаємо у формулі (1.2) $R_2 = \infty$. І в цьому випадку отримуємо:

$$\sigma_{max} = 0,418 \sqrt{2q \frac{1}{R} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}} \quad (2.5)$$

де R – радіус рушія транспортного засобу (рис.2.3);

E_1 – модуль пружності рушія транспортного засобу;

E_2 – модуль пружності конструкційного матеріалу автодороги.

Враховуючи “м’якість” напруженого стану в небезпечних точках (всі три головних напруження у формулі (2.3) є стискаючими), перевірку міцності при контактних напруженнях виконується за третьою або четвертою теоріями міцності:

$$\sigma_{еквIII} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma] \quad (2.6)$$

$$\sigma_{еквIV} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma] \quad (2.7)$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруження для матеріалу дороги.

Підставивши в формули (2.6) і (2.7) значення головних напружень в небезпечній точці, які виражені через найбільше напруження σ_{max} в центрі плями контакту, умови міцності можна записати в такому вигляді:

$$\sigma_{екв} = m \cdot \sigma_{max} \leq [\sigma] \quad (2.8)$$

де m – обраний коефіцієнт запасу міцності конструкційного матеріалу дороги. Звідки:

$$\sigma_{max} \leq \frac{1}{m} [\sigma] = [\sigma]_{конт} \quad (2.9)$$

В формулах (2.8) і (2.9):

$$[\sigma]_{конт} = \frac{1}{m} \cdot [\sigma] \quad (2.10)$$

що є допустимим значенням для найбільшого напруження в зоні контакту.

Окрім процесів контактного руйнування дорожнього покриття під дією рушіїв транспортних засобів поверхневий шар полотна автомобільної дороги, перебуваючи на жорсткій основі зазнає деформацій складного згину (рис.2.4). У вертикальних ярусах деформованого полотна автодороги завжди можна виокремити деякі елементарні прямокутні шари або пластини [138, 224], які (з певним наближенням) зазнають циліндричного згину (рис.2.5).

Вираз для визначення відносної деформації в шарі, що перебуває на відстані z від серединної площини за аналогією з зігнутою балкою матиме вигляд:

$$\varepsilon_x = \frac{(\rho_x + z)d\theta - \rho_x d\theta}{\rho_x dx} = \frac{z}{\rho_x} \quad (2.11)$$

де ρ_x - радіус кривизни серединної поверхні.

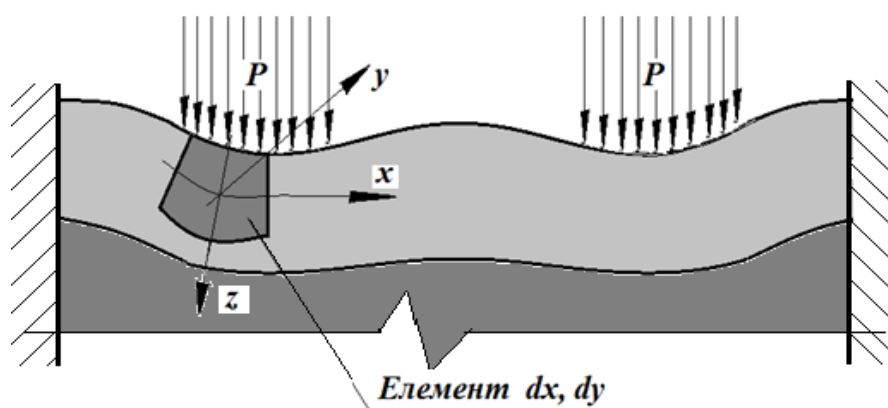


Рис.2.4. Згин поверхневого шару полотна дороги

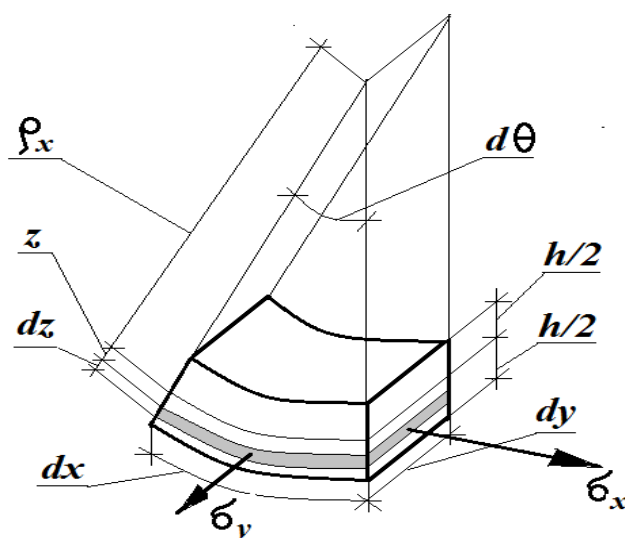


Рис.2.5. Елементарний об'єм циліндрично здеформованої пластини

Окрім того:

$$\varepsilon_y = 0 \quad (2.12)$$

Так як маємо плоский напружений стан, то відповідно до закону Гука:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.14)$$

З (2.11) – (2.14) отримуємо:

$$\sigma_y = \mu\sigma_x \quad (2.15)$$

$$\sigma_x = \frac{z}{\rho_x} \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} \quad (2.16)$$

При малих прогинах кривизну $1/\rho_x$ можна замінити на другу похідну прогину:

$$\frac{1}{\rho_x} = -\frac{d^2w}{dx^2} \quad (2.17)$$

Тоді:

$$\sigma_x = -\frac{Ez}{1 - \mu^2} \cdot \frac{d^2w}{dx^2} \quad (2.18)$$

$$\sigma_y = -\mu \cdot \frac{Ez}{1 - \mu^2} \cdot \frac{d^2w}{dx^2} \quad (2.19)$$

Відповідно до формул (2.18) і (2.19) встановлено, що напруження σ_x та σ_y змінюються за товщиною пластинки відповідно до лінійного закону в залежності від z і по різні напрями від серединної площини мають різні знаки. Ці напруження пов'язані із згинаючими моментами такими інтегральними статистичними залежностями:

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz \quad (2.20)$$

$$M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz \quad (2.21)$$

Індекси згинаючих моментів відповідають напрямкам тих напружень, якими вони створюються. Згинаючі моменти будемо вважати додатними, якщо вони намагаються зігнути елемент пластинки опуклістю донизу.

Якщо підставити у залежності (2.20) та (2.21) вирази напружень з (2.18) та (2.19), отримаємо наступні диференційні рівняння:

$$M_x = \frac{d^2 w}{dx^2} \cdot D \quad (2.22)$$

$$M_y = -\mu \cdot \frac{d^2 w}{dy^2} \cdot D \quad (2.23)$$

де

$$D = \frac{E h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (2.24)$$

Де величина D є жорсткістю пластини при циліндричному згині, або циліндричною жорсткістю.

Відповідно до (2.22) і (2.23) моменти M_x та M_y пов'язані поміж собою залежністю:

$$M_y = \mu \cdot M_x \quad (2.25)$$

Запишемо рівняння (2.22) у вигляді:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M_x}{D} \quad (2.26)$$

Вираз (2.26) є диференційним рівнянням зігнутою пружної поверхні пластинки. Таким чином, обчислення прогинів пластинки при циліндричному згині зводиться до інтегрування рівняння (2.26).

Застосувавши у рівняннях (2.18) та (2.19) вирази кривизни d^2w/dx^2 через згинаючі моменти і циліндричну жорсткість, отримані відповідно у (2.22) та (2.23), отримаємо формули для визначення напружень:

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{M_x}{h^3/12} \cdot z \\ \sigma_y = \frac{M_y}{h^3/12} \end{cases} \quad (2.27)$$

Відповідно залежності (2.27), циліндричний згин в чистому вигляді за всією довжиною пластини може виникнути лише в тому випадку, коли до її бічних (коротких) сторін прикладено моменти $M_y = \mu \cdot M_x$, величина яких вздовж осі x змінюється так само, як змінюються моменти M_x . Якщо ж моментів M_y немає, то поблизу бічних крамок форма пружної поверхні пластинки дещо відхиляється від циліндричної.

В реальних умовах згин прямокутних пластин (шарів конструкції автомобільних доріг) є дещо складнішим ніж розглянуті вище випадки. Внутрішні силові фактори в поперечних перерізах пластини визначають безпосередньо через зовнішні навантаження, а прогини – інтегруванням простого диференційного рівняння другого порядку. Внутрішні силові фактори і прогини є функціями двох незалежних змінних x та y в прямокутній системі координат. Сумісний розгляд рівнянь статки, геометричних і фізичних залежностей дозволяє виразити всі внутрішні силові фактори через функцію прогину $w(x, y)$. Розв'язок цієї функції зводиться до інтегрування диференційного рівняння четвертого порядку в частинних похідних з постійними коефіцієнтами. Це основне диференційне рівняння теорії згину пластинок має такий вигляд [210]:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D} \quad (2.28)$$

де p – інтенсивність поперечного навантаження.

Обчислення функції $w(x, y)$, яке задовольняло б рівнянню (2.28) і граничним умовам пластини, є достатньо складною задачею. Зазвичай вирази для прогинів, зусиль і моментів отримують у вигляді нескінченних рядів.

В реальних умовах згину поверхневих шарів дорожнього одягу, які за всією розглядуваною площиною оперті на шари нижніх ярусів конструкції, їх розрахунок ще більше ускладнюється. Так, диференціальне рівняння зігнутої осі балки постійного перерізу на пружній основі матиме вигляд:

$$\frac{d^4 w(x)}{dx^4} = \frac{1}{EJ} \cdot [q(x) - \alpha \cdot w(x)] \quad (2.29)$$

де q – інтенсивність навантаження;

w – величина прогину;

E – модуль пружності конструкційного матеріалу;

J – момент інерції перерізу.

Наведені вище розрахунки на міцність поверхневих шарів конструкцій автомобільних доріг засновані на оцінці міцності конструкційних матеріалів у небезпечній точці. При таких розрахунках найбільші нормальні, дотичні або еквівалентні напруження (в залежності від виду напруженого стану і обраної теорії міцності) в небезпечній точці порівнюють із допустимим напруженням. Якщо найбільші розрахункові напруження не перевищують допустимих, то вважається, що необхідний запас міцності конструкції цим забезпечується. Такий спосіб розрахунків на міцність є розрахунком за допустимими напруженнями. Метод розрахунків міцності за допустимими напруженнями забезпечує міцність матеріалів

конструкції, однак в багатьох випадках не дозволяє раціонально використовувати всі властивості конструкційного матеріалу з точки зору його міцності.

При розрахунках за допустимими напруженнями небезпечним, або граничним, станом конструкції вважають такий її стан при якому найбільше напруження хоча б в одній точці матеріалу конструкції досягає небезпечної величини. Стан же решти маси матеріалу не враховується [104].

Практика експлуатації реальних конструкцій автодоріг свідчить, що при появі місцевих пластичних деформацій конструкція ще може задовольняти поставлені до неї вимоги і для переходу її в граничний стан необхідне подальше зростання зовнішніх навантажень. Таким чином, в реальності конструкція автомобільної дороги має запас міцності, більший ніж встановлено при розрахунках за допустимими напруженнями [128, 250].

У зв'язку із зазначеним недоліком розрахунків на міцність за допустимим напруженням виникає необхідність удосконалення підходів до оцінки міцності конструкцій. Як альтернативний підхід може бути використано метод розрахунку конструкцій автомобільних доріг за граничним станом [247]. Під граничним станом конструкції автомобільної дороги, необхідно розуміти такий її стан, при якому конструкція втрачає здатність протидіяти зовнішнім навантаженням або припиняє задовольняти поставлені до неї експлуатаційні вимоги.

Розрізняють три види граничних станів:

- перший граничний стан – за несучою здатністю (міцності та витривалості при повторних змінюваних зовнішніх навантаженнях);
- другий граничний стан – за розвитком значних деформацій (прогинів, втрати форми), які не допустимі за умовами експлуатації;
- третій граничний стан – за утворенням та критичним “розкриттям” берегів тріщин.

Для виконання проектних розрахунків при будівництві автомобільних доріг застосовується теорія пластичності Сен-Венана. Відповідно до цієї історії, пластичний стан конструкційного матеріалу при складному напруженому стані спостерігається тоді, коли найбільші дотичні напруження досягають граничного значення – межі текучості при зсуві [210]:

$$\tau_{max} = \tau_m \quad (2.30)$$

Розрахунок за граничними станами дозволяє виявити додаткові резерви міцності конструкційних матеріалів. Розрахунок за граничними станами з визначеним запасом міцності не гарантує запобігання появи місцевих пластичних деформацій, що є допустимим лише при дії постійних (стабільних) зовнішніх сил (впливів). При змінюваних навантаженнях, що і є характерним для конструкцій автомобільних доріг, поява пластичних деформацій в більшості випадків є недопустимою. Тому, в таких випадках необхідно виконувати розрахунки за допустимими напруженнями.

Отже, під дією рушіїв транспортних засобів, яка змінюється в часі як за напрямком, так і за інтенсивністю, поверхневі шари покриття автомобільної дороги зазнають деформацій складного згину. Внаслідок таких деформацій у найбільш деформованих (як правило розтягнутих) поверхневих шарах конструкції автодороги виникають тріщини (рис.2.6). Під дією повторно-змінюваних навантажень відбувається розвиток (зростання) розмірів тріщин, розкриття їх “берегів” та їх взаємне перехрещення, що призводить до руйнування поверхневих шарів дорожнього одягу. Поєднання декількох факторів руйнування дорожнього одягу (рис.2.7), таких як багатоциклове розтягування-стискання окремих шарів покриття в результаті знакозмінюваного згину, складний напружено-деформований стан покриття в зоні контакту рушія транспортного засобу з полотном автодороги і, як наслідок його крихке руйнування з утворенням

каверн, що призводить до інтенсифікації руйнування поверхневих шарів покриття автомобільних доріг (рис.2.8) [210].

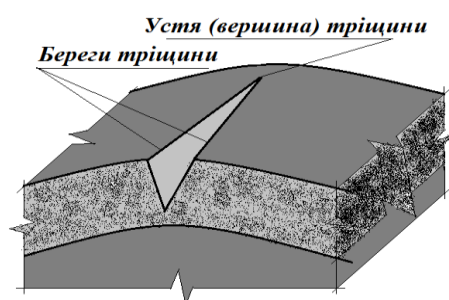


Рис.2.6. Характер утворення тріщини на поверхні дорожнього одягу

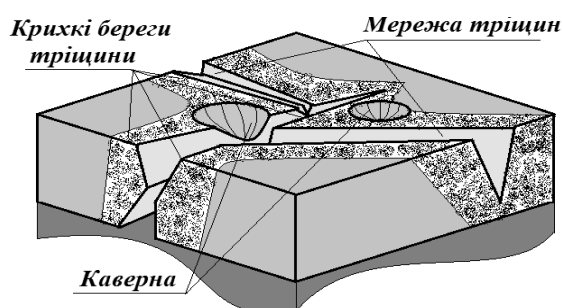


Рис.2.7. Комплексний характер руйнування покриттів автомобільних доріг



Рис.2.8. Характер утворення мережі тріщин на поверхні дорожнього одягу автомобільної дороги

2.1.2. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття

На підставі аналізу характеру процесів руйнування дорожнього одягу було виконано профілювання контурів типових каверн за допомогою спеціально розробленого профілометра (рис.2.9) [252].

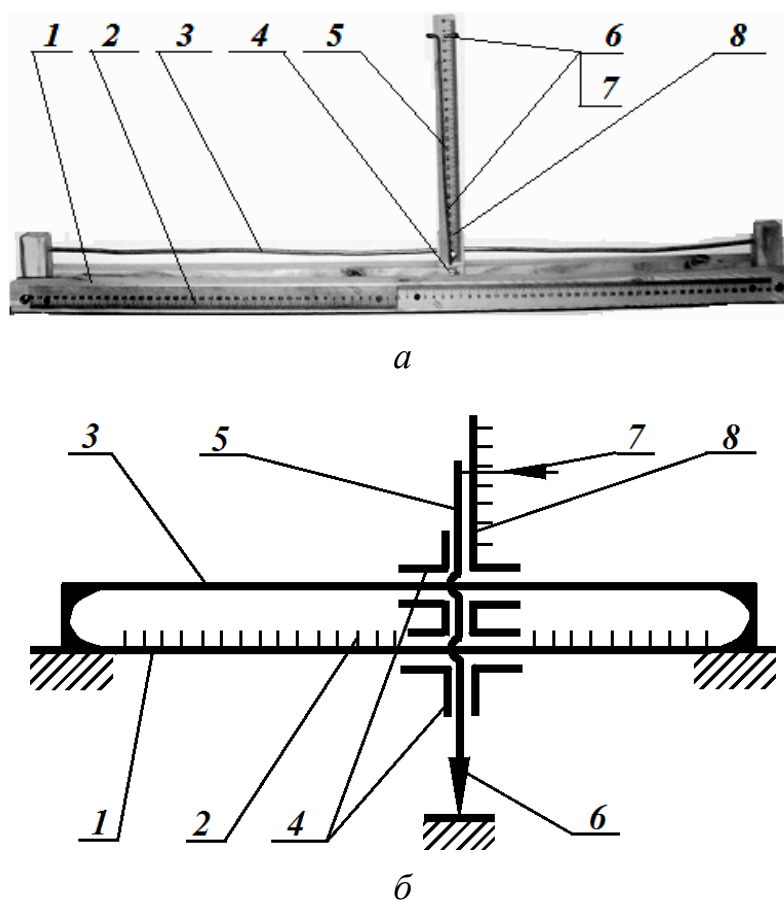


Рис.2.9. Профілометр: а – загальний вигляд, б – конструкційна схема:
 1 – опорна рейка; 2 – установочна шкала; 3 – напрямляюча;
 4 – повзун; 5 – вимірювальна штанга; 6 – глибиновказівник;
 7 – вимірювальна стрілка з аретиром; 8 – вимірювальна шкала

Профілометр (рис.2.9) складається з опорної рейки (п.1) з установочною шкалою (п.2) та жорстко встановленій на рейці напрямляючої (п.3). Вздовж напрямляючої вільно переміщується повзун

(п.4), в напрямлюючому отворі якого вільно рухається у вертикальному напрямі вимірювальна штанга (п.5), на робочому кінці якої міститься глибиновказівник (п.6). На вимірювальній штанзі жорстко встановлено вимірювальну стрілку (п.8) з аретиром для фіксації показань глибини профілю каверни. Показання глибини профіля каверни визначається за вимірювальною шкалою (п.8). Загальний принцип застосування профілометра для профілювання контуру каверни наведено на рис.2.10.



Рис.2.10. Профілювання контуру каверни, утвореної на поверхні автомобільної дороги

За результатами профілювання типових каверн, які утворюються при руйнуванні поверхневих шарів автомобільних доріг, встановлено, що профіль контуру каверн достатньо задовільно може бути описаний рівнянням кола (рис.2.11):

$$x^2 + y^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (2.31)$$

або еліпсу (рис.2.11):

$$\left(\frac{x}{d_1/2}\right)^2 + \left(\frac{y}{d_2/2}\right)^2 = 1 \quad (2.32)$$

де d – діаметр профілю каверни у вигляді кола;

d_1 , d_2 – малий і великий діаметри профілю каверни у вигляді еліпсу, відповідно.

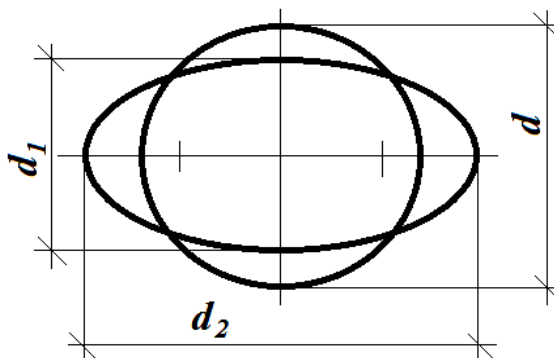


Рис.2.11. Профілі контуру каверн автомобільних доріг

При цьому, площа A поверхні каверни, окреслена колом (2.33) або еліпсом (2.34) буде визначатись як:

$$A_k = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (2.33)$$

$$A_e = \pi \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right) \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right) \quad (2.34)$$

Якщо визначати добуток d_1 , d_2 , як їх середнє геометричне, то:

$$d_\Sigma = d = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad (2.35)$$

А отже для подальшого аналізу дезінтегрування мінерального матеріалу конструкції автомобільної дороги при утворенні каверн, профіль їх контуру має обиратись у вигляді кола з усередненим діаметром d_Σ .

За результатами профілювання поверхонь автомобільних доріг в зонах утворення каверн (типовий профіль каверни наведено на рис.2.12) запропоновано графоаналітичну модель поверхні каверни у вигляді еліптичного параболоїду обертання симетричного відносно вертикальної осі z (рис.2.13), рівняння якого в загальному випадку має вигляд:

$$z = \frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q} \quad (2.36)$$

де $p > 0; q > 0$ – параметри еліптичного параболоїда обертання.

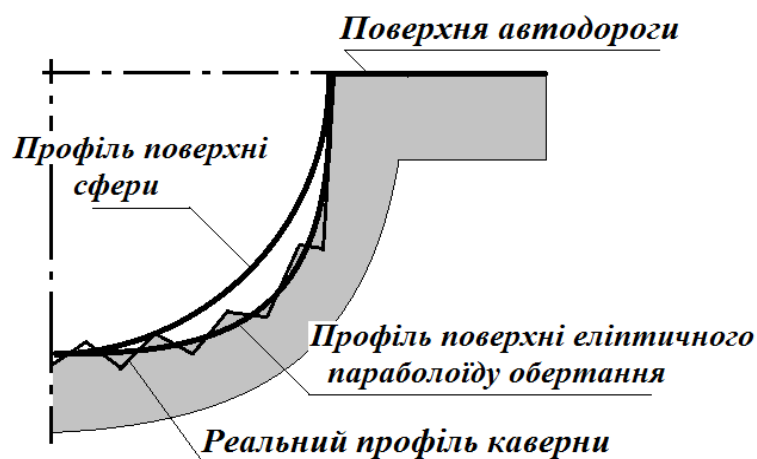


Рис.2.12. Графоаналітична модель контуру поверхні каверни автомобільної дороги

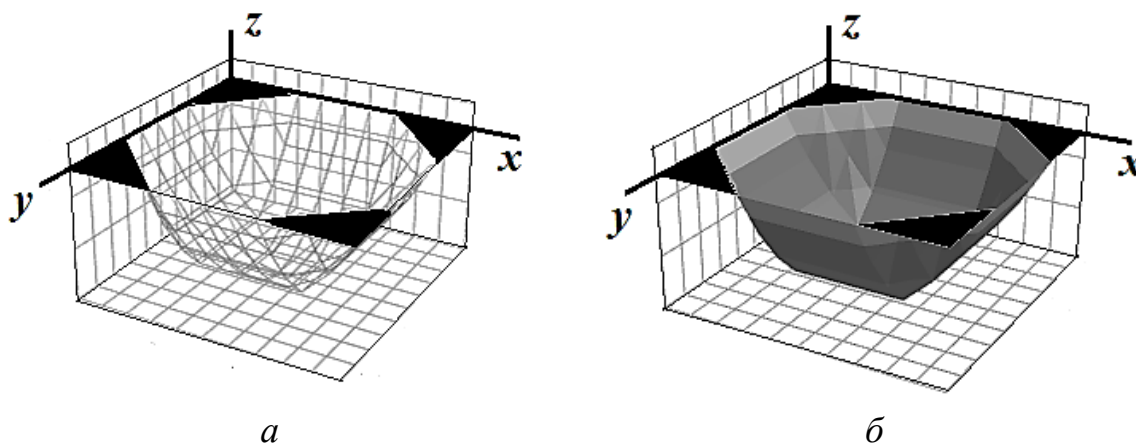


Рис.2.13. Модель дорожньої каверни: а – ізолінійна; б – просторова

Відповідно, об'єм параболоїда обертання за умови обмеження його верхньої частини деякою областю D , що окреслена колом з діаметром d_{Σ}

$$x^2 + y^2 = \left(\frac{1}{2} d_{\Sigma}\right)^2 \quad (2.38)$$

становитиме:

$$V = \iiint_V dx \cdot dy \cdot dz = \iint_D z(x, y) \cdot dx \cdot dy \quad (2.39)$$

Для визначення об'єму моделі каверни (рис.2.13), переходимо від декартової системи координат до циліндричної і, з огляду на симетричність параболоїда відносно осі z , знаходимо об'єм четвертої частини параболоїда для $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ (рис.2.14):

$$\begin{aligned} v &= \int_0^{\pi/2} d\varphi \int_0^a \rho \frac{\rho^2 \cdot \cos^2 \varphi + \rho^2 \cdot \sin^2 \varphi}{2d} \cdot d\rho = \\ &= \int_0^{\pi/2} d\varphi \int_0^a \rho \frac{\rho^2}{2d} \cdot d\rho = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{d^{(4-1)}}{2} = \frac{\pi}{32} \cdot d^3. \end{aligned} \quad (2.40)$$

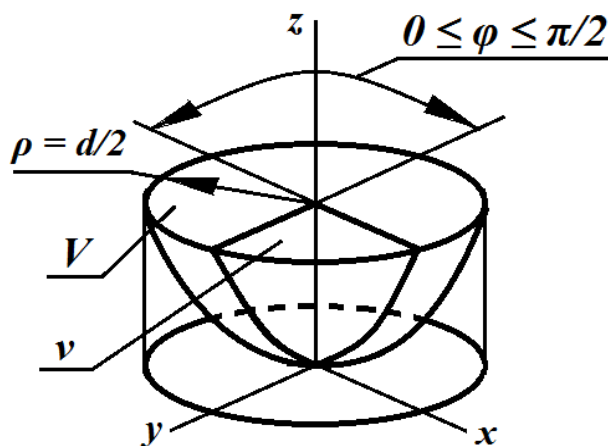


Рис.2.14. Модель дорожньої каверни в циліндричних координатах

За результатами розв'язання (2.40) отримуємо значення V об'єму параболоїда:

$$V = 4v = 4 \frac{\pi}{32} d^3 = \frac{\pi}{8} d^3. \quad (2.41)$$

Якщо визначити частку зруйнованого полотна проїжджої частини дороги через деякий коефіцієнт k , як:

$$k = \frac{A_k}{A_\Sigma} \quad (2.42)$$

де A_k – сумарна площа каверн, м²;

A_Σ – площа проїжджої частини автодороги м²;

то після відповідних перетворень, отримуємо вираз для визначення обсягів $V_{дз}$ дезінтегрованих мінеральних речовин на довжині в 1 км, при руйнуванні дорожнього одягу автомобільної дороги в залежності від рівня (частки) k його руйнування:

$$V_{дз} = \frac{10^4(a \cdot k)^{3/2}}{\sqrt{0,1\pi}} \quad (2.43)$$

або:

$$V_{дз} = 1,76 \times 10^4(a \cdot k)^{3/2} \quad (2.44)$$

де a_i – ширина проїжджої частини дороги визначеної категорії.

Результати аналітичного дослідження об'ємів $V_{дис}$ утворення дезінтегрованих мінеральних речовин на довжині в 1 км, при руйнуванні дорожнього одягу автомобільної дороги [222] в залежності від рівня (частки) k його руйнування наведено в таблиці 2.1 та на рис.2.15.

За результатами визначення об'ємів дезінтегрованого мінерального матеріалу в результаті руйнування конструкції автомобільної дороги можна розрахувати відповідні масові (кг/год.×км) показники $M_{дз}$ (таблиці 2.2):

$$M_{дз} = \frac{\gamma \cdot V_{дис}}{t_p} \quad (2.45)$$

де $\gamma = 1,5 \dots 1,8$ (т/м³) – усереднена густина асфальтобетонних та щебених шарів конструкції автомобільної дороги [80];

$t_p = 8760$ (год.) – річний фонд часу.

Дезінтегрована частка $M_{дз}$ мінеральних матеріалів конструкції автомобільної дороги, з огляду на характер процесу їх руйнування (рис.2.16) відрізняється багатоконпонентністю за фракційним складом (для розклинюючих фракцій $\sim 0...20$ мм – ДСТУ Б.В.2.7-34-2001 [80]). Таким чином, для виокремлення з загального обсягу $M_{дз}$ частки $M_{дис}$ мінерального пилу, який може утворювати забруднюючі аерозолі, необхідно визначити обсяги мінерального пилу з фракційним складом меншим за 500 мкм.

Таблиця 2.1

Обсяги утворення дезінтегрованих мінеральних речовин залежно від частки зруйнованої поверхні дорожнього одягу автодороги, m^3

Частка зруйнованого полотна автодороги, $k \times 10^{-3}$ (%)	Категорія автомобільної дороги				
	I-а, I-б	II	III	IV	V
0,20	2,91	1,03	0,93	0,74	0,48
0,40	8,30	2,93	2,65	2,10	1,36
0,60	15,24	5,38	4,87	3,85	2,50
0,80	23,46	8,28	7,49	5,93	3,85
1,00	32,78	11,57	10,46	8,28	5,37
1,20	43,10	15,21	13,76	10,89	7,06
1,40	54,32	19,17	17,34	13,72	8,90
1,60	66,36	23,42	21,18	16,61	10,88
1,80	79,25	27,95	25,28	20,01	12,98
2,00	93,60	32,74	29,61	23,44	15,21
2,20	-	37,77	34,16	27,04	17,54
2,40	-	43,03	38,92	30,80	19,99
2,60	-	48,52	43,88	34,73	22,54
2,80	-	54,23	49,04	38,82	25,19
3,00	-	60,14	54,39	43,05	27,93

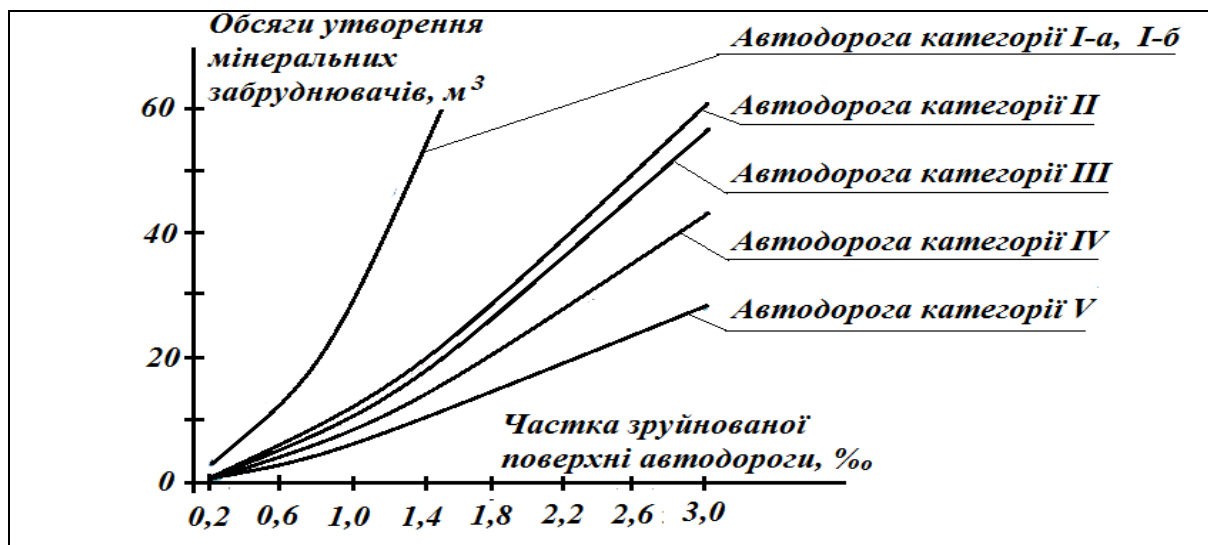
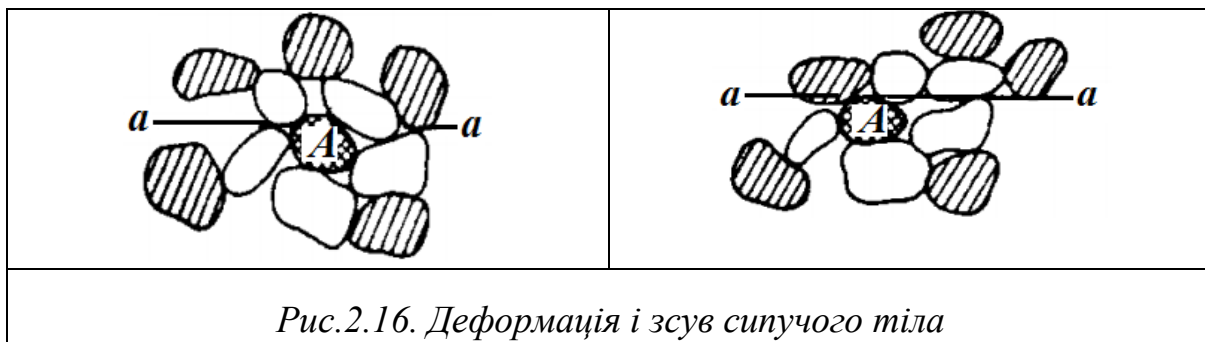


Рис.2.15. Динаміка утворення диспергованих мінеральних речовин залежно від частки зруйнованої поверхні дорожнього одягу автодороги

Таблиця 2.2

Маса дезінтегрованих мінеральних речовин залежно від частки зруйнованої поверхні дорожнього одягу автодороги, кг/год.×км

Частка зруйнованого полотна автодороги, $k \times 10^{-3}$ (‰)	Категорія автомобільної дороги				
	I-а, I-б	II	III	IV	V
0,20	0,599	0,212	0,192	0,152	0,099
0,40	1,710	0,604	0,546	0,433	0,280
0,60	3,139	1,108	1,003	0,793	0,515
0,80	4,833	1,706	1,543	1,222	0,793
1,00	6,753	2,383	2,155	1,706	1,106
1,20	8,879	3,133	2,834	2,243	1,454
1,40	11,190	3,949	3,572	2,826	1,833
1,60	13,670	4,825	4,363	3,422	2,241
1,80	16,326	5,758	5,208	4,122	2,674
2,00	19,282	6,744	6,100	4,829	3,133
2,20	-	7,781	7,037	5,570	3,613
2,40	-	8,864	8,018	6,345	4,118
2,60	-	9,995	9,039	7,154	4,643
2,80	-	11,171	10,102	7,997	5,189
3,00	-	12,389	11,204	8,868	5,754



Для визначення обсягів диспергованого мінерального пилу з фракційним складом меншим за 500 мкм розглянемо фрактально-інваріантну модель композиційної будови гетерогенної структури шарів конструкції автомобільної дороги (гравійно-щебенева максимально ущільнена структура) відповідно до “гіпотези Кеплера” про максимально щільну упаковку куль у просторі. Регулярна фрактально-інваріантна структура зазначеної моделі наведена на рис.2.17 [184, 203, 275].

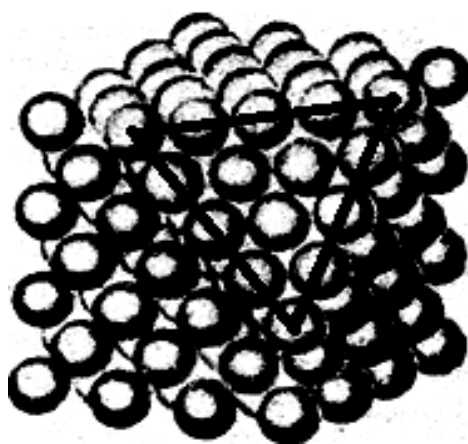


Рис.2.17. Морфологічна модель регулярної структури максимально щільної упаковки куль у просторі

Для подальшого структурного аналізу запропонованої моделі виконаємо побудову тришарового ґратчастого агрегату шляхом накладення шарів, в яких центри куль розташовано у відповідності до “гексагональної” ґратки (рис.2.18). Щільність ρ заповнення простору для “гексагональної” упаковки куль у просторі становитиме:

$$\rho = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{2}} \approx 0,7402 \quad (2.46)$$

і, відповідно, об'єм e дванадцяти тетраедричних порожнин (пористість) такої моделі буде визначена як:

$$e = (1 - \rho) = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{2}} \approx 0,2698; \quad (2.47)$$

а діаметр дезінтегрованих частинок гетерогенного заповнення об'єму при послідовному заповненні порожнин дисперсною фазою мінеральних частинок становитиме:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot e^r}{\pi \cdot (n \cdot m)^r}} = 1,241 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{e}{n \cdot m}\right)^r} \quad (2.48)$$

де $n = 12$ – кількість порожнин в одиниці об'єму тришарової моделі з “гексагональною” ґраткою;

$m = 13$ – кількість мінеральних частинок дисперсної фази в порожнині дезінтегрованого матеріалу.

r – порядок диспергування дисперсної фази.

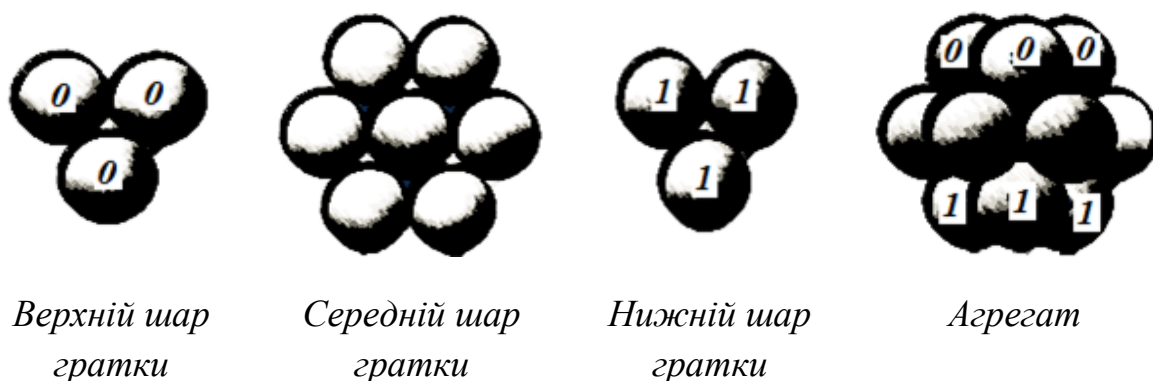


Рис.2.18. Побудова тришарової моделі з “гексагональною” ґраткою

При значенні $r > 1,85$ отримуємо $d \ll 500$ мкм. Отже, частка маси $M_{\text{дис}}$ дисперсної фази від загального значення $M_{\text{дз}}$, становитиме:

$$M_{\text{дис}} = e^{r=1,85} \cdot M_{\text{дз}} \approx 0,089 \cdot M_{\text{дз}} \quad (2.49)$$

Таким чином відповідно до (2.45) і (2.49) визначено масу утворюваного мінерального пилу та його частку дисперговану в атмосферному повітрі, яка утворює стабільний аерозоль, залежно від конструкційних особливостей автомобільної дороги [251], інтенсивності автотранспортних потоків, динаміки річного руйнування дорожнього покриття (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Маса пилових викидів та їх диспергована частка, які продукуються автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автодороги	I-а, I-б	II	III	IV	V
Інтенсивність автотранспортного потоку авт/добу	> 10000	3000 – 10000	1000 – 3000	150 – 1000	< 150
Маса мінерального пилу, кг/год.×км	19,3	12,4	11,2	8,9	5,8
Маса дисперсної фази в стабільному атмосферному аерозолі, кг/год.×км	1,75	1,12	1,01	0,80	0,52

Таким чином встановлено, що обсяги утворення автотранспортними потоками викидів мінерального пилу, залежно від конструкційних особливостей автомобільної дороги, інтенсивності автотранспортних потоків та динаміки річного зношування дорожнього покриття, варіюють в межах 6-19 кг/год.×км, а їх частка, яка утворює повітряний аерозоль становить 0,5-1,8 кг/год.×км.

2.1.3. Обсяги викидів диспергованих мінеральних речовин, які утворюються в результаті абразивного зношування конструкції автомобільних доріг.

Для дослідження обсягів диспергування мінеральних речовин конструкції автомобільної дороги в результаті її абразивного зношування мають бути застосовані методи моделювання трибологічних процесів, які відбуваються в поверхневих ярусах дорожнього одягу. При цьому суттєвого значення набувають дослідження деформування і руйнування (дезінтеграції) поверхневих ярусів конструкції автодороги на мікро- та мезорівнях пітінг- і фретінг- процесів [104, 240]. При моделюванні процесів мікро- та макрозношування поверхонь найефективнішими виявляються моделі аналізу кінетики мікро- та мезотріщин в поверхневих шарах конструкційних матеріалів. Отже, для визначення обсягів викидів мінеральних речовин, які утворюються в результаті абразивного зношування поверхневих шарів конструкцій автомобільних доріг має бути розроблено двомірний (плоский) аналог морфологічної моделі регулярної структури максимально щільної упаковки структурних елементів у просторі, яку наведено на рис.2.17.

Аналогом “гексагональної” упаковки куль у просторі в двомірному евклідовому просторі є розташування центрів куль у вершинах правильної шестикутної ґратки, в якій кожна куля оточена шістьма іншими. Щільність такої упаковки (рис.2.19) становитиме:

$$\rho = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \approx 0,9069 \quad (2.50)$$

Для практичної реалізації механічних випробувань динаміки морфологічних ознак формозміни гетерогенної структури щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги (рис.2.16) розроблено дві

їх двомірні моделі-аналоги – з “гексагональною” упаковкою куль на площині (рис.2.20-а) з щільністю упаковки відповідною до (2.50) $\rho \approx 0,9069$ та попередньо “структуровану” модель (рис.2.20-б), яка складена з окремих “гексагональних агрегатів” після відповідної формозміни вихідної моделі. Щільність такої упаковки кругів на площині відповідно становитиме $\rho \approx 0,6049$. Пропоновані моделі матеріалізовано за допомогою набору структурних елементів (рис.2.20-в), які зібрано у відповідні структури за допомогою каліброваних метизів.



Рис.2.19. Двомірний аналог (а) “гексагональної” упаковки куль у просторі та геометрична модель її структури (б)

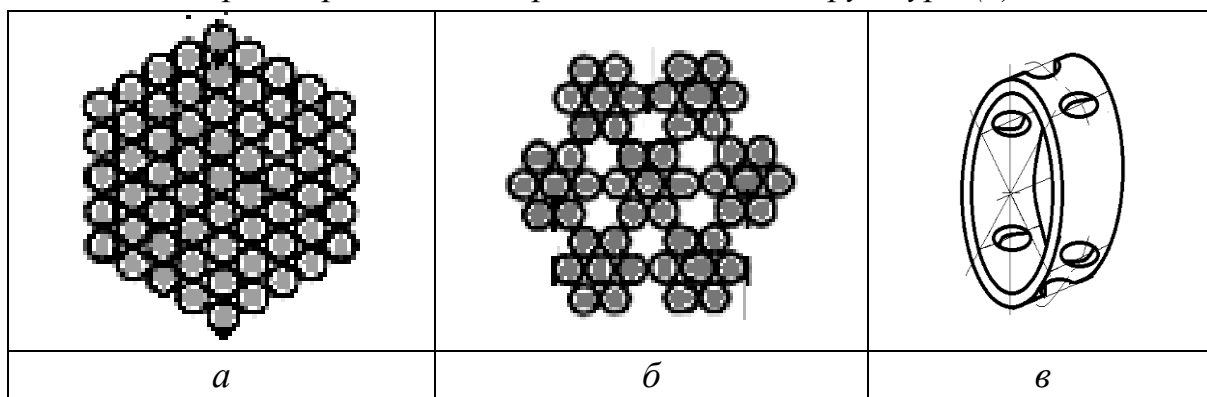
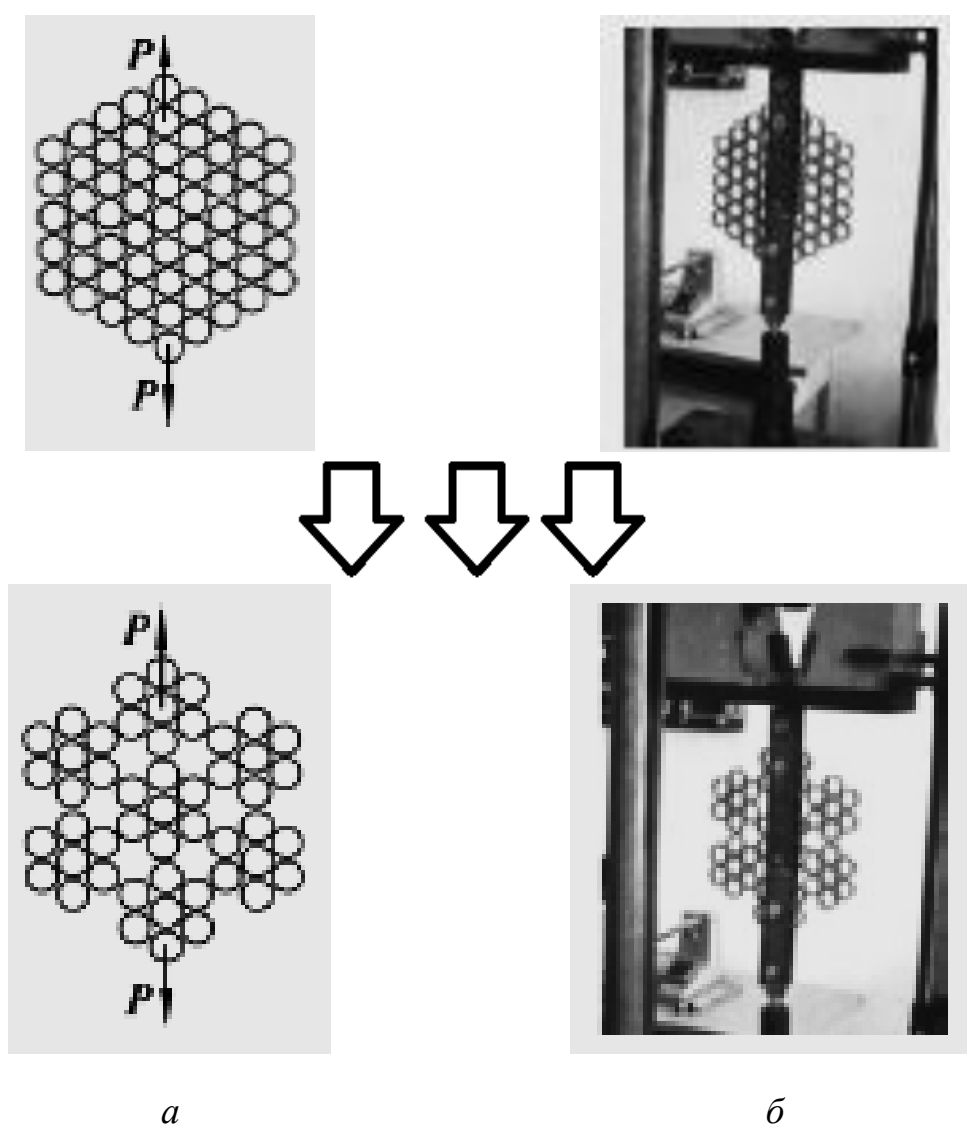


Рис.2.20. Варіанти двомірних моделей-аналогів гетерогенної структури щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги (а, б) і структурний елемент для їх виготовлення (в)

Відповідно до деформаційних особливостей та структурної міцності щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги визначено таку програму механічних випробувань розроблених моделей. Для процесу утворення каверн – послідовне випробування на розтягування моделі (а) та

моделі (б), наведених на рис.2.20, що імітує крихке руйнування поверхні автодороги в результаті дії контактних напружень в зоні контакту “дорога – рушій автотранспортного засобу” (рис.2.21). Для процесу дезінтеграції мінеральних матеріалів конструкції автодороги в результаті їх трибологічного зношування – послідовне випробування на зсув моделей (а) та (б) – рис.2.21, що імітує абразивне зношування поверхні автодороги в результаті фретінг-втоми та пітінгового пошкодження (рис.2.22).



*Рис.2.21. Послідовність механічні випробувань моделі щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги при імітації утворенні каверн на її поверхні:
а – схема навантаження моделі, б – практична реалізація експерименту*

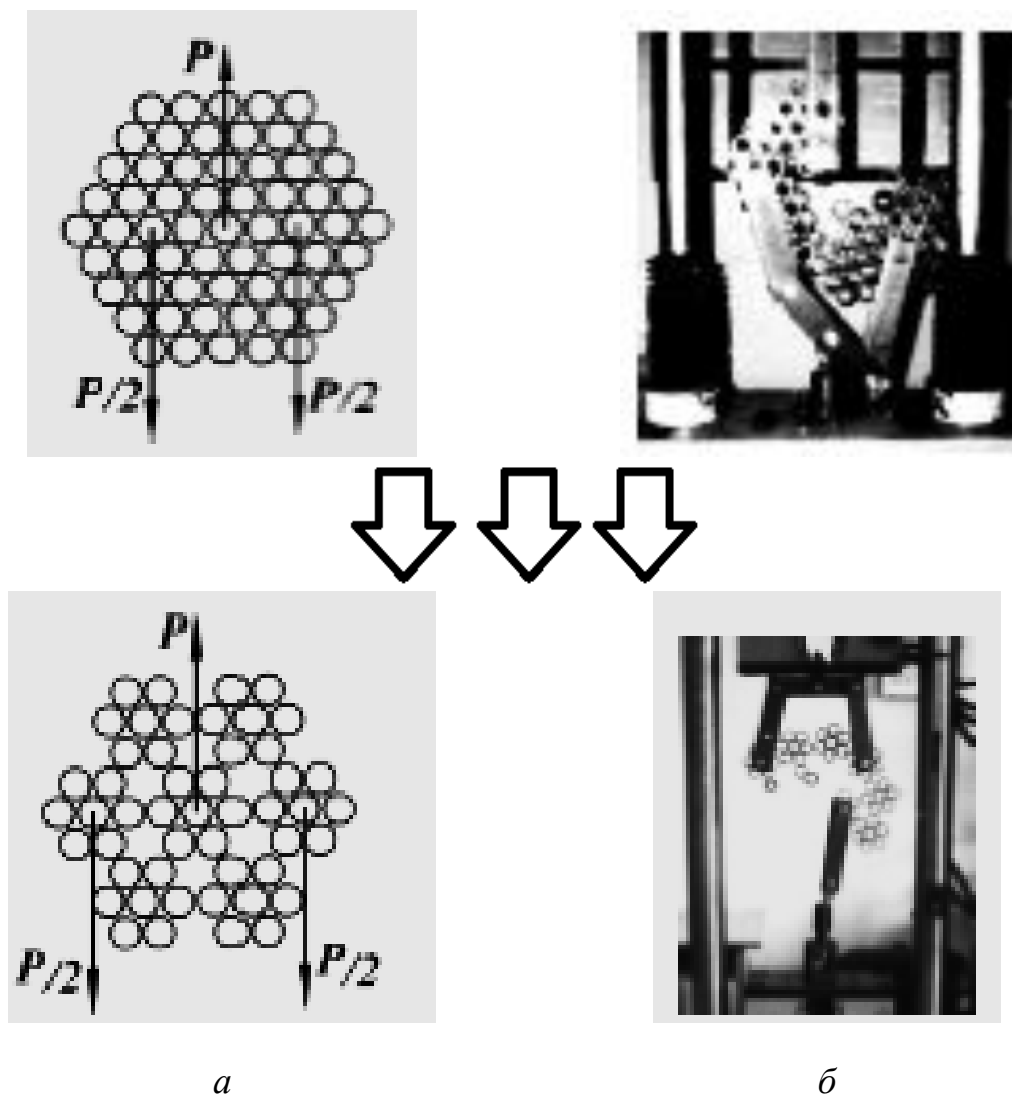


Рис.2.22. Послідовність механічних випробувань моделі щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги при імітації трибологічного зношування її поверхні:

а – схема навантаження моделі, б – практична реалізація експерименту

За результатами механічних випробувань моделей-аналогів щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільних доріг (додаток Ф) отримано відповідні діаграми (рис.2.23) в координатах:

$$P \cdot H(t) \sim \Delta l \quad (2.51)$$

де P – миттєве значення прикладеної сили;

$H(t)$ – хевісайд (функція Хевісайда);

Δl – деформація моделі, $\Delta l = l$ – повне руйнування структури.

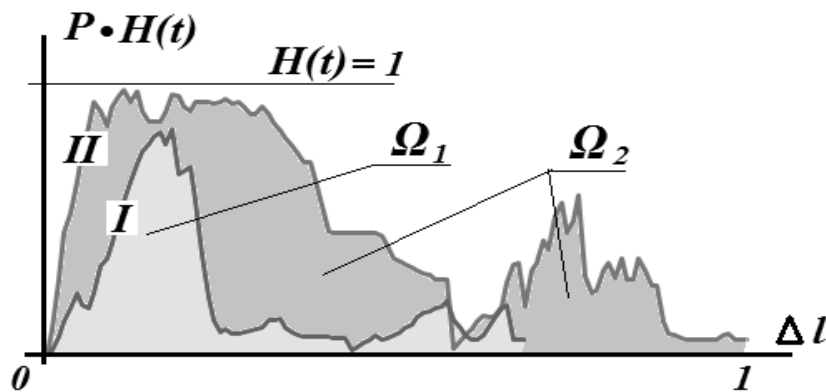


Рис.2.23. Діаграми механічних випробувань моделей щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільних доріг: I – імітація процесу утворення каверн на поверхні автомобільної дороги, II – імітація процесу трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги

За умови, що повна робота $\Omega_{\Sigma} = 1$ утворення мінеральних викидів продукованих автотранспортним засобом складається з роботи Ω_1 утворення каверн і роботи Ω_2 трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги, маємо:

$$\Omega_{\Sigma} = 1 = \Omega_1 + \Omega_2 \quad (2.52)$$

За результатами експерименту моделювання динаміки руйнування щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги робота Ω_1 витрачена на утворення каверн може бути визначена як площа A_1 діаграми I :

$$\Omega_1 = \int_{A_1} PH(t) \cdot dl_1 \quad (2.53)$$

і, відповідно робота Ω_2 витрачена на трибологічне зношування поверхні автомобільної дороги, визначена за площею A_2 діаграми II , становитиме:

$$\Omega_2 = \int_{A_2} PH(t) \cdot dl_2 \quad (2.52)$$

Числове інтегрування діаграм, наведених на рис.2.23, з урахуванням виразу (2.52) дозволяє встановити:

$$\Omega_{\Sigma} = 1,0 \left\{ \begin{array}{l} \Omega_1 = 0,222 \\ \Omega_2 = 0,778 \end{array} \right\} = 0,222 + 0,778 \quad (2.53)$$

Співвідношення k часток повної роботи Ω_{Σ} зовнішніх сил, які витрачаються на продукування мінеральних викидів, поміж роботою Ω_1 утворення каверн і роботою Ω_2 трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги, становитиме:

$$k = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{0,778}{0,222} = 3,505 \quad (2.54)$$

Зважаючи на те, що кількість роботи зовнішніх сил, яка витрачається на утворення одиниці маси мінеральних викидів є величиною сталою для конкретної конструкції автомобільної дороги, коефіцієнт k може бути представленим у вигляді:

$$k = \frac{m_2}{m_1} = 3,505 \quad (2.55)$$

де m_1 – маса мінеральних викидів, які зумовлені утворенням каверн на поверхні автомобільної дороги;

m_2 – маса мінеральних викидів, які утворені внаслідок трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги.

Отже, для утворення одиниці маси мінеральних викидів за рахунок трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги необхідно витратити роботи в 3,5 рази більше ніж за рахунок утворення каверн на її (дороги) поверхні.

За результатами експериментального визначення обсягів руйнування мінеральних матеріалів конструкції автомобільної дороги та їх (матеріалів) диспергованої частки внаслідок утворення каверн [229], встановлено повні екстремальні обсяги утворення мінерального пилу в залежності від категорії

автомобільної дороги та інтенсивності автотранспортних потоків (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4

Маса пилових викидів та їх диспергована частка, які продукуються автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автодороги	I-а, I-б	II	III	IV	V
Інтенсивність автотранспортного потоку, авт/добу	> 10000	3000 – 10000	1000 – 3000	150 – 1000	< 150
Маса мінерального пилу продукованого внаслідок утворення каверн, кг/год.×км	19,3	12,4	11,2	8,9	5,8
Маса мінерального пилу продукованого внаслідок трибологічного зношування поверхні дороги, кг/год.×км	5,05	3,54	3,20	2,54	1,65
Повна екстремальна маса мінерального пилу продукованого автотранспортним потоком, кг/год.×км	24,35	15,94	14,40	11,44	7,45
Маса дисперсної фази в стабільному атмосферному аерозолі продукована внаслідок утворення каверн, кг/год.×км	1,75	1,12	1,01	0,80	0,52
Маса дисперсної фази в стабільному атмосферному аерозолі, продукована внаслідок трибологічного зношування поверхні дороги, кг/год.×км	0,50	0,32	0,29	0,23	0,15
Повна екстремальна маса дисперсної фази в стабільному атмосферному аерозолі, кг/год.×км	2,25	1,44	1,30	1,03	0,67

Визначені вище обсяги викидів мінерального пилу та їх частка, яка диспергується в атмосферному повітрі у вигляді аерозолі, що продукуються автотранспортними потоками, дозволяють на стадії проектування або реконструкції автомобільних доріг оптимізувати заходи захисту придорожніх ландшафтів в умовах розвиненої автотранспортної мережі залежно від проекрованої інтенсивності автотранспортних потоків та міцності і довговічності конструкції автомобільних доріг відповідних категорій.

2.2. Структура та обсяги газових викидів, продукованими транспортними потоками

Перетворення хімічної енергії транспортних палив в роботу вантажо- та пасажиропотоків призводить до утворення шкідливих викидів, які як правило, є токсичними газами, що відпрацьовані автомобільними двигунами [53, 57, 153]. Тому, оцінка матеріального балансу “пальне – викиди” є важливим питанням для визначення рівнів екологічної безпеки автотранспортних комплексів, розробки заходів захисту придорожніх територій та екологічної раціоналізації природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею [191, 238].

В двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів протікають процеси ламінарного і турбулентного гомогенного згоряння палива, які відбуваються з речовинами, що перебувають у вигляді парів рідкої фази з використанням в якості окиснювача кисню, який міститься в атмосферному повітрі. Основним джерелом енергії при згорянні палив є окиснення атомів вуглецю *C* та водню *H*. Окрім зазначених компонентів, пальне може містити в незначних кількостях сірку, сполуки нітрогену, спирти, ефіри, важкі метали тощо [192].

“Умовну молекулу” рідкого палива можна представити в загальному вигляді як $C_xH_yO_z$ (для палив, які містять нітроген – $C_xH_yO_zN_g$, які містять сірку – $C_xH_yO_zN_gS_k$). Робочий матеріальний баланс палива формується через масовий вміст його окремих елементів і визначається як [237]:

$$w_C + w_H + w_O + w_N + w_S = 1 \quad (2.56)$$

де w – масові частки окремих елементів в 1 кг палива.

Якщо знехтувати значеннями w_N та w_S , отримуємо:

$$w_C + w_H + w_O = 1 \quad (2.57)$$

Частки маси w окремих елементів в 1 кг палива $C_xH_yO_z$ визначаються як [3]:

$$\begin{cases} w_C = \frac{12x}{12x + y + 16z} = \frac{12x}{M_T} \\ w_H = \frac{y}{12x + y + 16z} = \frac{y}{M_T} \\ w_O = \frac{16z}{12x + y + 16z} = \frac{16z}{M_T} \end{cases} \quad (2.58)$$

де M_m – молярна маса “умовної молекули” палива.

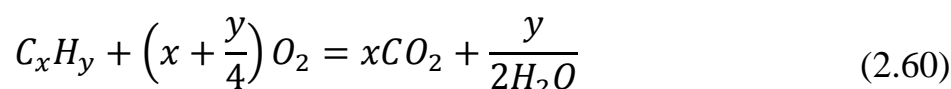
Для більшості реальних палив (бензин, дизельне паливо) наявністю кисню можна знехтувати і “умовна молекула” пального набуває вигляду C_xH_y , а отже:

$$M_T = 12x + y \quad (2.59)$$

Для визначення співвідношення поміж кількостями вихідних продуктів згорання (пальне і кисень атмосферного повітря) і відпрацьованими газами двигуна, необхідно зробити такі припущення:

- всі хімічні сполуки складаються з атомів окремих елементів, які пов'язані поміж собою у визначених числових співвідношеннях;
- в хімічних реакціях атоми речовин зберігають свою ідентичність і відбувається лише їх перегрупування.

Повне згоряння (окиснення) молекули пального C_xH_y до кінцевих продуктів (діоксид вуглецю CO_2 та водяної пари H_2O) визначається рівнянням (в кмоль) [126, 135, 258]:



x атомів C в 1 кмоль C_xH_y дають x кмоль CO_2 , $N_{CO_2} = x$;

y атомів H в 1 кмоль C_xH_y дають $y/2$ кмоль H_2O , $N_{H_2O} = y/2$.

Склад продуктів згоряння в перерахунку на 1 кг палива ($1/M_T$, кмоль) становитиме:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{x}{M_T} = \frac{x}{12x + y} \\ N_{H_2O} = \frac{y}{2} M_T = \frac{y/2}{12x + y} \end{cases} \quad (2.61)$$

або через елементний склад, з урахуванням отримуємо:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (2.62)$$

В реакції беруть участь $(x+y)/4$ кмоль O_2 , $N_{O_2} = x + y/2$.

Кількість кисню (кмоль), необхідна для повного згоряння палива є стехіометричною і визначається як [258]:

$$N_{O_2} = x + \frac{y}{4} = \frac{w_C}{12} M_T + \frac{w_H}{4} M_T \quad (2.63)$$

кількість (кмоль) кисню O_2 на 1 кг палива становитиме:

$$\tilde{L}_O = \frac{N_{O_2}}{M_T} = \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \quad (2.64)$$

а, маса (кг) кисню O_2 необхідна для окиснення 1 кг палива буде:

$$\tilde{L}_O = \tilde{L}_O M_{O_2} = \frac{32x + 8y}{12x + y} = \frac{8}{3} w_C + 8w_H \quad (2.65)$$

Таким чином, маса кисню, яка споживається з атмосферного повітря для повного згоряння палива (кг/ кг палива) становить:

$$m_{O_2} = 0,23 \cdot \alpha \cdot l_0 \quad (2.66)$$

де l_0 – стехіометричне число;

α – коефіцієнт надлишку повітря в паливо-повітряній суміші.

Обравши об'ємну частку кисню O_2 в атмосферному повітрі за 21 % і масову частку – за 23,2 %, можна обчислити стехіометричну кількість повітря, необхідну для повного згоряння палива [126]:

- кількість (кмоль) повітря на 1 кг палива:

$$L_0 = \frac{\tilde{L}_O}{0,21} = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (2.67)$$

- маса (кг) повітря на 1 кг пального:

$$l_0 = \frac{\tilde{L}_O}{0,232} = 138 \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = 138 \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (2.68)$$

При цьому, коефіцієнт α надлишку повітря в (2.66) є відношенням кількості повітря $G_{\text{в}}$, яке міститься у паливо-повітряній суміші, до його (повітря) мінімальної кількості G_m , необхідної для повного згорання всього палива, яке містить ця суміш:

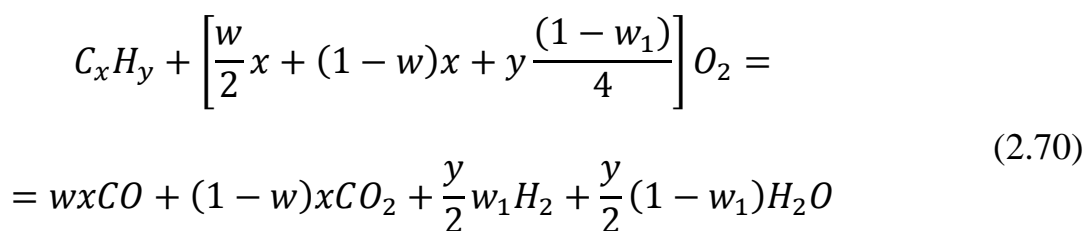
$$\alpha = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{т}} \cdot l_0} \quad (2.69)$$

де G_m – годинна витрата палива [кг/год];

$G_m \cdot l_0$ – мінімальна, теоретично необхідна для повного згорання палива, кількість повітря [кг/год].

Якщо $\alpha=1$, то паливо-повітряна суміш має стехіометричний (теоретичний) склад, якщо $\alpha>1$ – суміш є збідненою, а якщо $\alpha<1$, то суміш збагачена паливом. Для дизельних двигунів номінальний режим роботи характеризується показником $\alpha=1,4-2,2$ [126].

У випадку, коли кількість кисню буде меншою за стехіометричну, окислення буде неповним: частина вуглецю окислиться лише до CO , а частина водню взагалі не згорить. Окислення вуглеводневої молекули C_xH_y в загальному випадку відбувається за рівнянням:



де w – масова частка вуглецю, окисленого до CO ;

w_1 – масова частка незгорівшого водню;

x – маса вуглецю в молекулі палива;

y – маса водню в молекулі палива.

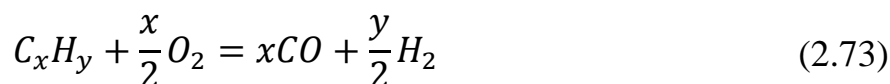
В продуктах згорання палива в цьому випадку виявляються незгорівший водень (N_{H_2}) та оксид вуглецю (N_{CO}):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = x \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{y}{2} \end{cases} \quad (2.71)$$

або на 1 кг пального (кмоль):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (2.72)$$

Із зменшенням кількості кисню в продуктах згоряння збільшується вміст CO та H_2 , а вміст H_2O та CO_2 – зменшується. За умови $w_I = w = 1$ в продуктах згоряння буде міститись лише CO та водень H_2 , який не згорів. Відповідне рівняння окиснення матиме вигляд [231, 236]:



Кількість кисню (кмоль) $N_{O_2} = x/2$ відповідає умові, відповідно до якої кількість атомів водню C дорівнює кількості атомів кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} = 1 \quad (2.74)$$

При подальшому збільшенні у паливо-повітряній суміші вмісту кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} > 1 \quad (2.75)$$

і в продуктах згоряння виявляється незгорівший вуглець у вигляді сажі.

На рис.2.23 наведено принципову схему утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згоряння.

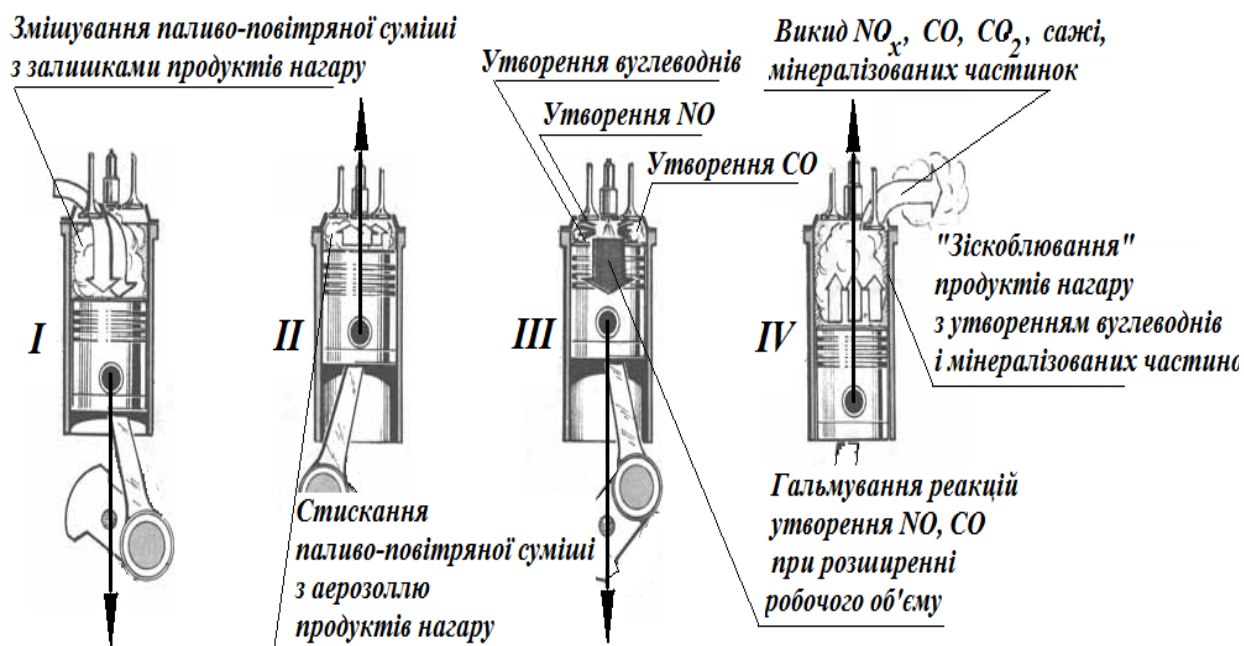


Рис.3.23. Принципова схема утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згорання:
I, II, III, IV – порядок робочих тактів двигуна

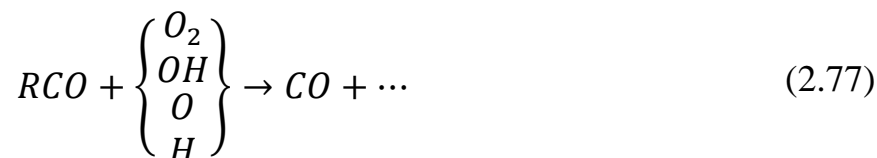
Шкідливі і токсичні гази у викидах двигунів внутрішнього згорання можна поділити на такі групи:

- вуглецевмісні речовини – продукти повного та неповного згорання палив (CO_2 , CO , вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні);
- оксиди азоту (N_xO_y), які, як правило, приведені до NO ;
- речовини, утворення яких пов'язане з наявністю домішок у паливі (сполуки сірки, важких металів та їх оксидів).

Монооксид вуглецю CO утворюється в результаті згорання палива з певним дефіцитом повітря, а також при дисоціації CO_2 . Послідовність утворення CO може бути представлена як:



Реакція радикалу RCO , яка призводить до утворення CO відбувається в результаті одночасної взаємодії з чотирма компонентами:



Окрім цього, частинки сажі, які утворені при “зіскоблюванні” частинок нагару, створюють можливість для здійснення реакції типу:

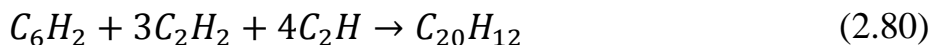


Діоксид вуглецю CO_2 є шкідливою речовиною, хоча і не належить до токсичних речовин. Типовою реакцією утворення CO_2 є реакція:



Окрім наведеної вище реакції (2.79), доокиснення CO в CO_2 відбувається у вихлопній трубі двигуна, а також у нейтралізаторних пристроях сучасних двигунів.

Вуглеводні (до десятка різних найменувань) утворюються в результаті неповного згоряння палива, зокрема при гальмуванні реакції горіння поблизу стінок циліндра двигуна. Максимальний рівень токсичності вуглеводнів має бенз(α)пірен $C_{20}H_{12}$. Реакція утворення $C_{20}H_{12}$ при піролізі вуглеводневих палив має вигляд:



Оксиди азоту N_xO_y , складаються, як правило з таких сполук N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 . Для практичних розрахунків перелічені вище сполуки приводять до NO . При горінні збіднених паливо-повітряних сумішей ($\alpha > 0,8$) характерними є ланцюгові реакції:



В збагачених паливо-повітряних сумішах ($\alpha < 0,8$) відбуваються такі реакції [52, 109]:



Рух автотранспортних засобів у складі щільних транспортних потоків значно відрізняється від режиму руху одиночного транспортного засобу. Пов'язана з цим зміна режиму роботи сукупності двигунів потоку призводить до зміни не лише витрат палива, але і до зміни структури, складу та обсягів викидів. В загальному вигляді викиди M_s [кг/год.×км] шкідливих речовин автотранспортними потоками можуть бути визначені як [124, 234]:

$$M_s = \sum_i \sum_j \sum_n B_i \cdot J_j \cdot N \quad (2.83)$$

де B_i – питома кількість витраченого палива, кг/км;

J_j – питомих викид шкідливої (токсичної) речовини, кг/кг;

N – інтенсивність автотранспортного потоку.

Статистична усереднена питома кількість витрати палива фізичною автотранспортною одиницею становить при частці вантажного автотранспорту і автобусів в транспортному потоці [33]: $S \geq 25\%$ – $B_s = 0,21$ кг/км, при $5\% < S < 25\%$ – $B_s = 0,18$ кг/км, при $S \leq 5\%$ – $B_s = 0,11$ кг/км [234]. При цьому, значення J_j становлять для CO – $201,8 \times 10^{-3}$ [кг/кг], CO_2 – 3183×10^{-3} [кг/кг], N_xO_y – $21,2 \times 10^{-3}$ [кг/кг], вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні ($C_{20}H_{12}$) – $33,1 \times 10^{-3}$ [кг/кг].

Таким чином, з урахуванням інтенсивності N автотранспортного потоку отримуємо значення M_s [кг/год.×км]:

$$M_s = \frac{B_s \cdot J_s \cdot N}{24} \quad (2.84)$$

При цьому:

$$B_s = \varphi(S) \quad (2.85)$$

Результати інвентаризації газових викидів автотранспортними потоками в залежності від їх інтенсивності та категорії автомобільної дороги, які визначені на підставі виразу (2.84), наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Обсяги газоподібних викидів автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Забруднюючий інгредієнт	Частка вантажних автомобілів і автобусів у автотранспортному потоці		
			$S < 5\%$	$5\% < S < 25\%$	$S \geq 25\%$
I-а, I-б	> 10000	CO	9,25	15,13	17,59
		CO_2	145,89	238,72	278,51
		N_xO_y	0,97	1,59	1,86
		Вуглеводні	1,52	2,48	2,90
II	3000 – 10000	CO	6,45	10,55	12,31
		CO_2	102,12	167,11	194,96
		N_xO_y	0,68	1,11	1,30
		Вуглеводні	1,06	1,74	2,03
III	1000 – 3000	CO	1,84	3,01	3,65
		CO_2	29,18	47,75	55,71
		N_xO_y	0,20	0,32	0,37
		Вуглеводні	0,31	0,50	0,59
IV	150 – 1000	CO	0,55	1,02	1,08
		CO_2	8,75	14,32	16,71
		N_xO_y	0,06	0,09	0,11
		Вуглеводні	0,09	0,15	0,17
V	< 150	CO	0,09	0,15	0,18
		CO_2	1,46	2,39	2,78
		N_xO_y	0,01	0,02	0,02
		Вуглеводні	0,02	0,02	0,03

Результати аналітичного оцінювання обсягів газових викидів автотранспортними потоками дозволяють встановити, що їх обсяги визначаються в першу чергу інтенсивністю і часткою вантажних автомобілів у транспортному потоці, режимом руху транспортних засобів та обсягами витрат палива. При цьому, обсяги викидів токсичних і шкідливих речовин для автомобільних доріг категорій I-а і I-б по окремих інгредієнтах можуть досягати: CO – 17,59 кг/год.×км, CO_2 – 278,51 кг/год.×км, N_xO_y – 1,86 кг/год.×км, вуглеводням – 2,90 кг/год.×км.

2.3. Обсяги викидів сажі потоками автотранспортними засобами, які обладнано дизельними двигунами

До небезпечних впливів автотранспортного комплексу на довкілля є викиди сажових аерозолів, які продукуються автотранспортними засобами обладнаними дизельними двигунами [19, 49, 50]. Нерозчинні викиди відпрацьованого пального двигунів внутрішнього згорання складають до 70-75% від загальної маси твердих викидів. Сажа (твердий технічний аморфний вуглець) є основним компонентом нерозчинних твердих викидів у відпрацьованих газах дизельних двигунів (рис.2.24).



Рис.2.24. Викиди сажі дизельним двигуном автомобіля

Сажа утворюється при об'ємному піролізі (термічному розкладенні вуглеводнів в газоподібній (паровій) фазі дизельних палив в умовах нестатку кисню. Сажові частинки формують у збагаченій дизельним паливом камері згоряння двигуна (особливо при безпосередньому вприскуванні палива в камеру згоряння – рис.2.25), де кількість кисню є недостатнім для здійснення вихідного вуглеводню в CO_2 та H_2O [126, 234].

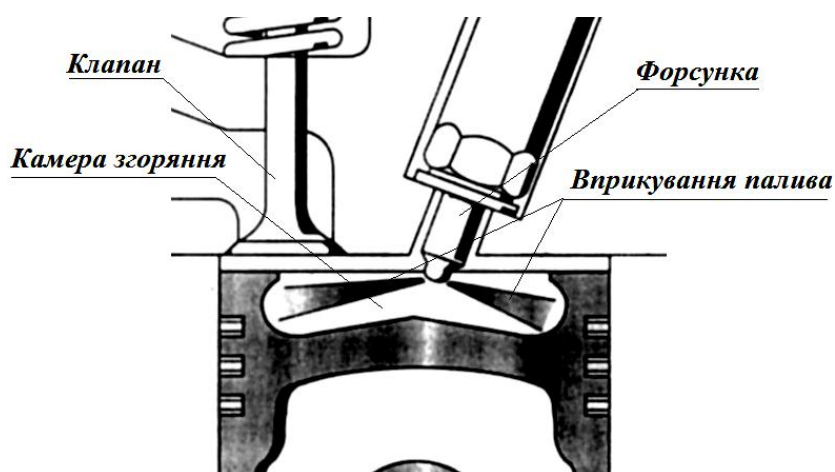


Рис.2.25. Принципова схема безпосереднього вприскування пального в камеру згоряння дизельного двигуна

Процес утворення сажі складається з таких стадій:

- утворення зародків з розміром до 5 нм, які містять декілька атомів вуглецю, внаслідок піролізу вуглеводнів;
- збільшення (зростання) зародків до первинних частинок з майже сферичною (або ланцюговою) формою і містять понад 3×10^5 атомів вуглецю;
- утворення сажових агломератів (кластерів), які містять іноді понад 500 первинних частинок (сферул) з діаметром до 100 нм;
- коагуляція кластерів до складних утворень – конгломератів з розміром від 10-20 нм до 300 нм з вмістом вуглецю 95,6% та водню – 4,2%, що відповідає хімічній формулі C_8H_4 .

В камерах згоряння дизельних двигунів, у порівнянні з двигунами іскрового запалювання, локальні перенасичені паливом зони утворюються значно частіше, а отже повною мірою реалізуються перераховані вище стадії сажоутворення. Утворення сажових викидів дизельних двигунів залежить від властивостей палива – чим більшим є співвідношення C/H в паливі, тим вміст сажі у відпрацьованих викидах більший. Маса кисню, який споживається з атмосфери, для повного згоряння дизельного палива $[кг/кг_{палива}]$ визначається формулою (2.66), а коефіцієнт надлишку повітря є відношенням кількості повітря, яке міститься у паливо-повітряній суміші G_n до його мінімальної кількості, яка теоретично потрібна для повного згоряння всього дизельного палива G_m суміші. Тобто, відповідно (2.69):

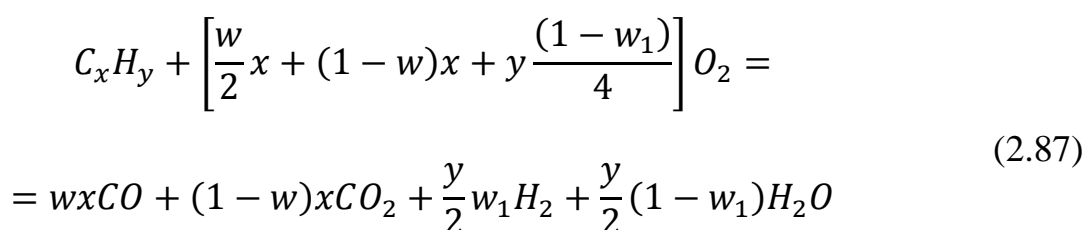
$$\alpha_{диз} = \frac{G_n}{G_T \cdot l_0} \quad (2.86)$$

де G_m – годинна витрата дизельного палива $[кг/год]$;

$G_m \cdot l_0$ – мінімальна, теоретично необхідна для повного згоряння дизельного палива, кількість повітря $[кг/год]$.

Якщо $\alpha_{диз}=1$, то паливо-повітряна суміш має стехіометричний (теоретичний) склад, якщо $\alpha_{диз}>1$ – суміш є збідненою, а якщо $\alpha_{диз}<1$, то суміш збагачена паливом. Для дизельних двигунів номінальний режим роботи характеризується показником $\alpha_{диз}=1,4-2,2$ [126].

У випадку, коли кількість кисню буде меншою за стехіометричну, окислення буде неповним: частина вуглецю окислиться лише до CO , а частина водню взагалі не згорить. Окислення вуглеводневої молекули C_xH_y в загальному випадку відбувається за рівнянням:



де w – масова частка вуглецю, окисленого до CO ;

w_I – масова частка незгорівшого водню;

x – маса вуглецю в молекулі палива;

y – маса водню в молекулі палива.

Для дизельного палива (якщо знехтувати наявністю кисню) “умовна” молекула палива C_xH_y буде мати молярну масу M_n [231]:

$$M_T = 12x + y \quad (2.88)$$

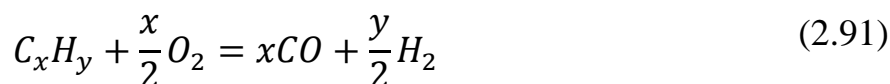
Відповідно (2.88), в продуктах згорання дизельного палива з’являється незгорівший водень (N_{H_2}) та оксид вуглецю (N_{CO}). Тоді:

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = x \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{y}{2} \end{cases} \quad (2.89)$$

і, відповідно на 1 кг палива (кмоль):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (2.90)$$

Із зменшенням кількості кисню в продуктах згорання палива буде збільшуватись вміст CO та H_2 і зменшуватись вміст H_2O та CO_2 . При $w_I = w = 1$ в продуктах згорання буде міститись лише чадний газ CO та незгорівший водень H_2 . Відповідне рівняння окислення матиме вигляд:



Кількість кисню (кмоль) $N_{O_2} = x/2$ відповідає умові, за якої кількість атомів вуглецю дорівнює кількості атомів кисню, тобто $C/O = 1$. При подальшому зменшенні вмісту кисню в паливо-повітряній суміші $C/O > 1$ в продуктах згорання палива з’являється незгорівший вуглець (сажа).

Обсяги викидів сажі автотранспортного засобу, обладнаного дизельним двигуном [кг/км], визначаються як:

$$M_s = B_s \cdot J_s \quad (2.92)$$

де M_s – валовий викид сажі фізичним автотранспортним засобом, кг/км;

B_s – питома кількість витраченого палива, кг/км;

$J_s = 0,0155$ – питомий викид сажі, кг/кг.

Статистична усереднена питома кількість витрати дизельного палива фізичною автотранспортною одиницею, яка обладнана дизельним двигуном становитиме $B_s = 0,55$ кг/км. Таким чином, з урахуванням інтенсивності N автотранспортного потоку отримуємо значення M_s [кг/год×км]:

$$M_s = \frac{B_s \cdot J_s \cdot N \cdot S}{24} = 3,55 \cdot 10^{-4} \cdot N \cdot S \quad (2.93)$$

Результати інвентаризації викидів сажі автотранспортними потоками в залежності від їх швидкості та інтенсивності, категорії автомобільної дороги і частки транспортних засобів у потоці, які обладнано дизельними двигунами, визначені на підставі виразу (2.93), наведено в таблиці 2.6 [152, 231, 233, 254]

Таблиця 2.6

Обсяги викидів сажі автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Частка автомобілів у автотранспортному потоці, які обладнано дизельними двигунами		
		$S < 5\%$	$5\% < S < 25\%$	$S \geq 25\%$
I-а, I-б	> 10000	0,266	1,065	1,864
II	3000 – 10000	0,173	0,693	1,212
III	1000 – 3000	0,053	0,213	0,373
IV	150 – 1000	0,017	0,070	0,122
V	< 150	0,023	0,011	0,087

За результатами оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі автотранспортними потоками встановлено, що при наявності в автотранспортних потоках частки транспортних засобів обладнаних дизельними двигунами понад 25%, сажові викиди можуть досягати для автомобільних доріг категорій I-а та I-б – 1,864 кг/год.×км, категорії II – 1,212 кг/год.×км, категорії III – 0,373 кг/год.×км.

2.4. Узагальнення матеріального балансу викидів, які продукуються автотранспортними потоками

Для забезпечення ефективного контролю рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею необхідно визначитись з критерієм комплексної оцінки всього матеріального балансу викидів, які продукуються автотранспортними потоками, залежно від інтенсивності цих потоків, категорії та якості і довговічності конструкції автомобільної дороги, погодно-кліматичних та ландшафтних особливостей природно-техногенної геоекосистеми, автотранспортної ємності території тощо. Загальноприйнятим показником для оцінювання рівнів забруднення атмосферного повітря об'єктами господарської діяльності є показник КНП (категорія небезпечності підприємства), який в загальному випадку розраховують відповідно виразу [84, 124, 135, 137, 175]:

$$\text{КНП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ГДК}_{\text{сд}}} \right)^\alpha \quad (2.94)$$

де M_i – маса i -тої речовини у викиді, [т/рік×км];

$\text{ГДК}_{\text{сд}}$ – середньодобова гранично допустима концентрація i -тої речовини у викиді, [мг/м³];

n – кількість шкідливих речовин, які викидаються об'єктом господарської діяльності (враховуються при розрахунку КНП);

α – безрозмірна константа, яка дозволяє привести ступінь шкідливості i -тої речовини до шкідливості дії діоксиду сульфуру.

При цьому:

$$M_i = f \cdot m_i \quad (2.95)$$

де $f=8769$ – річний фонд часу, год.;

m_i – годинне продукування маси i -тої речовини у викиді, кг/год.

За результатами визначення структури, складу та обсягів викидів, які продукуються автотранспортними потоками, по показниках CO , N_xO_y , кількості ароматичних і поліциклічних вуглеводнів ($C_{20}H_{12}$) та мінерального пилу розраховано показник КНП для автомобільних доріг відповідних категорій (таблиця 2.7 і таблиця 2.8).

Таблиця 2.7

Гранична розрахункова річна маса викидів,
які продукуються автотранспортними потоками, т/рік×км

Категорія	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт/добу	Маса річного викиду i -тої речовини, [т/рік×км]					
		CO	N_xO_y	$C_{20}H_{12}$ ароматичні та поліциклічні вуглеводні	Сажа	Мінеральний пил	Аерозолі
I-а, I-б	>1000	154,1	16,3	25,4	16,3	213,3	19,7
II	3000-10000	107,8	11,4	17,8	10,6	139,6	12,6
III	1000-3000	32,0	3,3	5,2	3,3	126,1	11,4
IV	150-1000	9,4	0,9	1,5	1,1	99,8	9,0
V	<150	1,6	0,2	0,3	0,8	65,5	5,9

Таблиця 2.8

Розрахунок категорії небезпечності автомобільної дороги, як об'єктів господарської діяльності

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт/добу	ГДК [мг/м ³] та клас небезпечності речовини						Приведені маси річних викидів [т/рік×км]						Показник КНП	Категорія небезпечності
		СО	N _x O _y	C ₂₀ H ₁₂ ароматичні та поліциклічні і вуглеводні	Саж а	Мінеральний пил	Аерозолі	СО	N _x O _y	C ₂₀ H ₁₂ ароматичні та поліциклічні і вуглеводні	Саж а	Мінеральний пил	Аерозолі		
I-а, I-б	>10000							93	408	18	326	1422	132	2,4×10 ³	III
II	3000-10000	1,0	0,04 (3)	0,04 (4)	0,05 (3)	0,15 (3)	0,15 (3)	68	285	13	212	930	84	1,6×10 ³	
III	1000-3000	(4)						23	83	4	66	840	76	1,1×10 ³	
IV	150-1000							8	25	<1	20	660	60	0,7×10 ³	IV
V	<150							2	5	<1	16	433	40	0,5×10 ³	

Аналіз наведених вище даних (таблиця 2.8) визначає ідентифікаційний рівень екологічної небезпеки автомобільних доріг категорій I-а, I-б, II і III (за показником КНП), як об'єктів господарської діяльності віднесених до 3-ої категорії небезпечності з межею мінімального розміру санітарно-захисної зони (СЗЗ) – 300 м. При цьому, максимальна ширина смуг відведення для автомобільних доріг відповідних категорій визначена ДБН В.2.3-4:2007 становить лише для доріг категорії I-а, I-б – 103 м, категорії II – 71 м, категорії III – 68 м.

Важливою характеристикою інтенсивності забруднення природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею є річні обсяги викидів транспортними потоками діоксиду вуглецю (CO_2), які наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Граничні обсяги викидів діоксиду вуглецю,
продукованого автотранспортними потоками, т/рік×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Обсяги викидів діоксиду вуглецю, т/рік×км
I-а, I-б	> 10000	2440
II	3000 – 10000	1708
III	1000 – 3000	488
IV	150 – 1000	146
V	< 150	24

Не зважаючи на те, що діоксид вуглецю CO_2 не є токсичною речовиною, однак при проектуванні (реконструкції) мережі автомобільних доріг мають бути передбачені заходи щодо нормування (регламентації) його викидів. При цьому, ці заходи мають враховувати перспективні плани інтенсифікації автотранспортних перевезень

2.5. Висновки за розділом II

За результатами оцінювання структури, складу та обсягів викидів, продукованих автотранспортними потоками різної інтенсивності, встановлено:

1. Особливо небезпечними за обсягами забруднення природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею є автомобільні дороги категорій I-а, I-б, II і III (інтенсивність транспортного потоку понад 1000 автомобілів за добу), які за показником категорії їх небезпечності (КНП $> 10^3$) мають бути віднесені до 3-ої категорії небезпечності об'єктів господарської діяльності з розміром санітарно-захисної зони не менше за 300 м.

2. Для забезпечення надійного захисту придорожніх ландшафтів від пилових та аерозольних забруднень має бути забезпечено максимально можливе депонування мінеральних викидів, які продукуються автотранспортними потоками, в таких межах:

- для автотранспортних потоків з інтенсивністю > 10000 авт./добу:
пилових викидів – 213,3 т/рік×км; мінерального аерозолю – 19,7 т/рік×км; сажі (аморфного вуглецю) – 16,3 т/рік×км;
- для автотранспортних потоків з інтенсивністю 3000 – 10000 авт./добу:
пилових викидів – 139,6 т/рік×км; мінерального аерозолю – 12,6 т/рік×км; сажі (аморфного вуглецю) – 10,6 т/рік×км;
- для автотранспортних потоків з інтенсивністю 1000 – 3000 авт./добу:
пилових викидів – 126,1 т/рік×км; мінерального аерозолю – 11,4 т/рік×км; сажі (аморфного вуглецю) – 3,3 т/рік×км.

3. Відновлення складу атмосферного повітря (структури стандартної атмосфери) в межах територій впливу автодорожньої мережі має

передбачати заходи захисту від газоподібних продуктів згоряння двигунів внутрішнього згоряння автомобілів транспортних потоків в таких обсягах:

- для автотранспортних потоків з інтенсивністю > 10000 авт./добу: чадний газ (CO) – 154,1 т/рік×км; оксиди нітрогену (N_xO_y) – 16,3 т/рік×км; ароматичні та поліциклічні вуглеводні ($C_{20}H_{12}$) – 25,4 т/рік×км;
- для автотранспортних потоків з інтенсивністю 3000 – 10000 авт./добу: чадний газ (CO) – 107,8 т/рік×км; оксиди нітрогену (N_xO_y) – 11,4 т/рік×км; ароматичні та поліциклічні вуглеводні ($C_{20}H_{12}$) – 17,8 т/рік×км;
- для автотранспортних потоків з інтенсивністю 1000 – 3000 авт./добу: чадний газ (CO) – 32,0 т/рік×км; оксиди нітрогену (N_xO_y) – 3,3 т/рік×км; ароматичні та поліциклічні вуглеводні ($C_{20}H_{12}$) – 1,5 т/рік×км.

4. Інженерна інфраструктура автотранспортної мережі має забезпечувати відновні властивості граничного шару атмосфери щодо вмісту в ній кисню та зменшення обсягів діоксиду вуглецю (CO_2), який має не перевищувати 400-500 ppm \sim 0,03-0,04 %, що відповідає значенням природного вмісту CO_2 в атмосферному повітрі.

РОЗДІЛ III
ДИНАМІКА ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ
І ДЕПОНУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ
В МЕЖАХ СМУГИ ВІДВЕДЕННЯ АВТОМДОРОГИ

3.1. Дифузія аерозольних викидів автотранспортних потоків

Бідь-яка мінеральна або газоподібна домішка, яка продукується автотранспортними потоками у вигляді аерозолів, після надходження в атмосферне повітря починає мігрувати внаслідок природних повітряних рухів (течій). При цьому, домішка бере участь як в ламінарних, так і в турбулентних переміщеннях тих або інших потоків атмосферного повітря [248].

Відповідно до характерних особливостей роботи двигунів внутрішнього згорання (п. 2.2) вважаємо, що вся домішка в початковий момент часу одномоментно рівномірно заповнює весь об'єм разового факелу викиду у вигляді деякої хмари викиду, яка під дією природних повітряних рухів починає дифузно розсіюватись в атмосферному повітрі [134].

Аналітично цей процес “раптового” одномоментного викиду, який був відсутній до визначеного моменту часу (дорівнював нулю) і відлік часу розпочинається з моменту виникнення “хмари викиду”, описується, так званою, одиничною функцією $H(t)$ (функцією Хевісайда) у вигляді одиничного переривача. Графік функції Хевісайда, наведений на рис.3.1, визначає, що подія одномоментного викиду хмари аерозолію дорівнює нулю при $t < 0$ і дорівнює одиниці при $t > 0$, що може бути записаним у вигляді [248]:

$$H(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

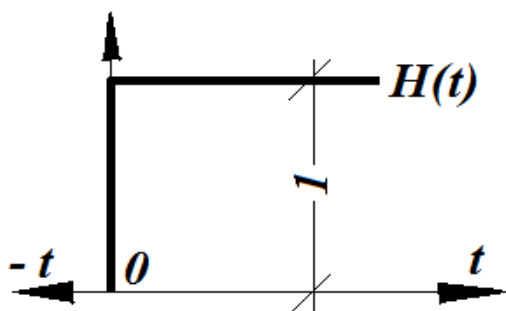


Рис.3.1. Графік одиничної функції $H(t)$

Зрозуміло, що якщо помножити функцію $F(t)$ зовнішнього впливу на $H(t)$, то всі ординати $F(t)$ при $t < 0$, будуть відсутніми, а при $t > 0$ ординати функції $F(t)$, помножені на одиницю, збережуть своє початкове значення.

Аналітичне значення раптово прикладеного зовнішнього впливу і одразу ж припиненого (миттєвий вплив) реалізується за допомогою так званої дельта-функції Дірака (рис.3.2), яка зазвичай позначається через $\delta(t)$.

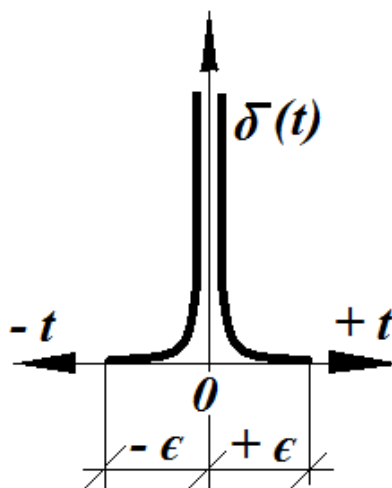


Рис.3.2. Дельта-функція Дірака $\delta(t)$

Дельта-функція Дірака має такі особливості:

- при всіх $t < 0$ і $t > 0$ $\delta(t) = 0$;
- при $t = 0$ $\delta(t) = \infty$;
- $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta = 1$.

Так як $\delta(t) = 0$ при всіх $t \neq 0$, то з цієї властивості функції походить, що інтеграл з добутку $\delta(t)$ на деяку функцію $F(t)$ впливу на структуру можна записати у вигляді:

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) F(t) dt = \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} \delta(t) F(t) dt \quad (3.2)$$

З огляду на те, що межі інтегрування є достатньо малими, то на інтервалі від $-\varepsilon$ до $+\varepsilon$ можна вважати, що $F(t) = F(0)$. Таким чином:

$$I = \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} \delta(t) F(t) dt = \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} \delta(t) F(0) dt \quad (3.3)$$

Величина $F(0)$ є деякою постійною величиною, а отже її можна винести за знак інтегралу:

$$I = F(0) \cdot \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} \delta(t) dt = F(0) \cdot 1 = F(0) \quad (3.4)$$

Отже

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) F(t) dt = F(0) \quad (3.5)$$

Якщо дельта-функція дорівнює нескінченності не при $t=0$, а в точці $t=a$, то аналогічно вищевикладеному отримуємо:

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-a) F(t) dt = F(a) \quad (3.6)$$

Одинична функція Хевісайда $H(t)$ пов'язана із дельта-функцією $\delta(t)$ співвідношенням:

$$H(t) = \int_{-\infty}^t \delta(t) dt \quad (3.7)$$

Так як при $t < 0$ отримуємо $H(t) = 0$, а при $t > 0$ – $H(t) = 1$, то $H(t)$ є розривною функцією, яка зазнає стрибку від 0 до 1 при $t = 0$. Інтегруючи $H(t)dt$ отримуємо:

$$\int_0^t H(t) dt = t H(t) \quad (3.8)$$

Якщо продиференціювати $H(t)$ відповідно до (3.7) отримаємо:

$$\frac{dH(t)}{dt} = \delta(t) \quad (3.9)$$

Таким чином, диференціюючи розривну функцію $H(t)$, отримуємо дельта-функцію $\delta(t)$.

Для позначення знаку функції користуються функцією $sign(t)$, яка дорівнює -1 при $t < 0$ і $+1$ при $t > 0$. Очевидно, що зазначену функцію можна представити як:

$$sign(t) = \frac{t}{|t|} \quad (3.10)$$

Поміж $H(t)$ і $sign(t)$ існує така залежність:

$$sign(t) = 2 \cdot H(t) - 1 \quad (3.11)$$

і інтеграл від $H(t)$ дорівнює:

$$\int_{-\infty}^t H(t) dt = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

і є абсолютно ідентичним до (3.1) в разі раптового одномоментного викиду факелу аерозолі (рис.3.2).

Загалом, концентрація q викидів в аерозольній хмарі, яка дифундує в атмосферному повітрі і мігрує спільно з природними рухами (вітровими

потоками) атмосфери є функцією часу t і просторових координат (x, y, z) , початок яких лежить в миттєвому центрі мас хмари, яка утворилась в момент викиду $H(t)$:

$$q = q(x, y, z, t) \quad (3.13)$$

Мірою дифузії в даному випадку (рис.3.3) є маса речовини ΔM , яка зазнала дифузного розсіювання за одиницю часу через одиницю площі поверхні хмари газо-пилового викиду в атмосферне повітря. При цьому, величина ΔM буде тим більшою, чим більшою буде від'ємний приріст концентрації Δq на одиниці довжини вздовж всієї сукупності напрямків в яких і відбувається дифузія. Знак $(-)$ у $H = -q(t)$ свідчить про зменшення концентрації Δq в хмарі газо-пилового викиду.

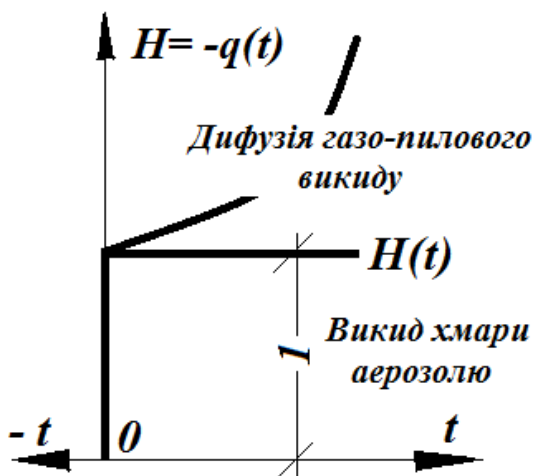


Рис.3.3. Характер дифузії хмари газо-пилового викиду в атмосфері

Таким чином, для процесу дифузії характерною є пропорційність усередненого зміщення дифундуючих частинок аерозолі квадратному кореню з часу t . Тобто:

$$\{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2\} \propto t \quad (3.14)$$

де x, y, z – координати дифундуючої частинки аерозолі в початковий момент часу t (див. 3.13);

x_i, y_i, z_i – координати дифундууючої частинки аерозолю в момент часу t_i від початку дифузії газо-пилової хмари викиду.

Співвідношення (3.14) дозволяє встановити характеристику кількості дифузії ΔM у вигляді коефіцієнта D дифузії:

$$D = \frac{1}{6 \cdot t} \cdot \{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2\} \quad (3.15)$$

На підставі постулату про термодинамічну рівновагу і як наслідок рівняння неперервності, для опису процесу дифузії газо-пилової хмари викиду, який полягає у вирівнюванні концентрації аерозолю в термодинамічній системі маємо:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \operatorname{div} j = 0 \quad (3.16)$$

де j – потік частинок аерозолю від поверхні газо-пилової хмари.

Якщо врахувати що потік частинок аерозолю, який є пропорційним до градієнту його концентрації q з коефіцієнтом пропорційності D (3.15), отримуємо:

$$j = -D \nabla q \quad (3.17)$$

або, у феноменологічній формі рівняння дифузії газо-пилової хмари викиду матиме вигляд:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \Delta q \quad (3.18)$$

де $\Delta = \operatorname{div} \nabla$ – оператор Лапласа (див. 3.3).

Або, в загальному випадку дифузії просторово неоднорідного аерозолю газо-пилового викиду, який продукується автотранспортним потоком:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \operatorname{div} (Dq \nabla \mu) \quad (3.19)$$

де μ – потенціал вирівнювання концентрації q аерозолю газо-пилової хмари викиду в термодинамічній системі.

Визначальним чинником в рівняннях (3.16) – (3.18) є оператор Лапласа:

$$\Delta = \nabla^2 = \operatorname{div} \nabla \quad (3.20)$$

який у даному випадку визначає характер динамічної рівноваги тиску у газо-пиловій хмарі викиду (на границі розділення фаз) в процесі дифузії хмари в атмосферному повітрі в кожний конкретний момент часу t .

Диференційний оператор div , який відображує векторне поле на скалярне є дивергенцією. В (3.16) – (3.18) дивергенція – це лінійний диференційний оператор на векторному полі, який характеризує потік аерозольних частинок початкової одномоментної газо-пилової хмари викиду через поверхню (достатньо малу) цієї хмари кожної точки її внутрішньої області:

$$\operatorname{div} F = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\Phi_F}{V} \quad (3.21)$$

де Φ_F – потік векторного поля F через довільну поверхню S газо-пилової хмари викиду, яка окреслює деякий об'єм V аерозолю. Тобто:

$$\Phi_F = \oiint_S (\vec{F}, \vec{dS}) \quad (3.22)$$

а отже, (3.22) не має прив'язки до конкретної системи координат (в даному випадку до просторово-територіальних або ландшафтних параметрів природно-техногенної геоекосистеми, конструкційних розмірів автомобільної дороги або технологічно визначених геометричних чинників

автотранспортного потоку). З фізичної точки зору процесів масопереносу аерозолію газо-пилової хмари викиду розглядаються такі можливі варіанти:

- $div F > 0$ – будь-яка точка газо-пилової хмари викиду є джерелом аерозолію;
- $div F < 0$ – будь-яка точка газо-пилової хмари викиду є стоком аерозолію;
- $div F = 0$ – стоки і джерела відсутні, або компенсують один одного.

Третій з наведених варіантів ($div F$) визначає формування роторів в зонах турбулентного руху аерозолію у вигляді:

$$div\{rot(F)\} = 0 \quad (3.23)$$

Характер формування роторів в зонах турбулентності аерозолів газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, на зрізі швидкостей повітряних потоків та у відповідних об'єктах рельєфу ландшафтів смуг відведення автомобільних доріг наведено відповідно на рис.3.4 і рис.3.5.

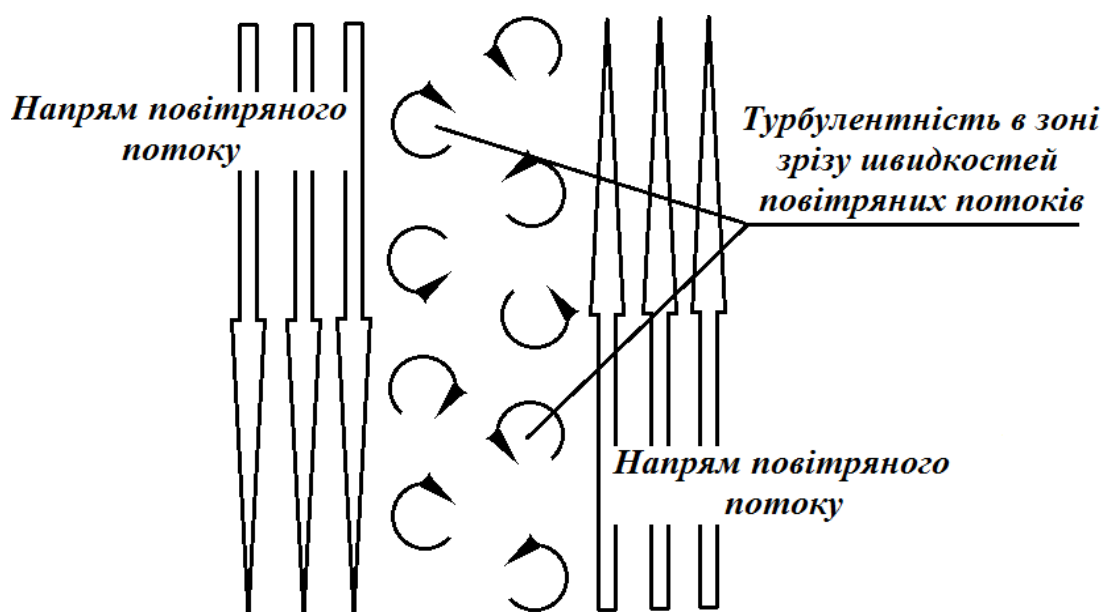


Рис.3.4. Характер формування роторів турбулентності на зрізі швидкостей та напрямів руху повітряних потоків, які формуються переміщенням автотранспортних засобів

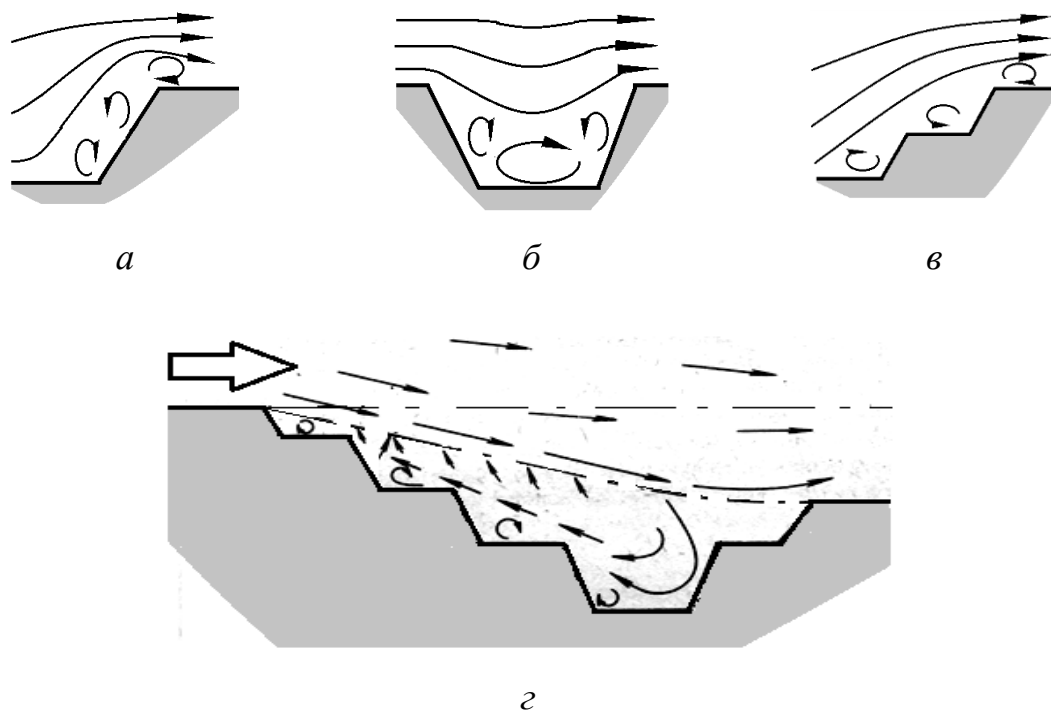


Рис.3.5. Формування роторів турбулентності в елементах рельєфу ландшафтів (напрямок руху повітряних мас позначений стрілками):
 а – схил; б – западина; в – сходинокний схил;
 г – складний характер дивергентного масопереносу в ландшафті

3.2. Динаміка аерозолів газо-пилової хмари викиду в турбулентних роторах

В загальному випадку турбулентний ротор газо-пилової хмари викиду (3.23), яка продукується автотранспортним потоком і дифундує у турбулентних потоках, в тривимірному просторі (з координатами – x , y , z) визначається як:

$$\begin{cases} (\text{rot } F)_x = \partial_y F_z - \partial_z F_y \equiv \frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \\ (\text{rot } F)_y = \partial_z F_x - \partial_x F_z \equiv \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x} \\ (\text{rot } F)_z = \partial_x F_y - \partial_y F_x \equiv \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \end{cases} \quad (3.24)$$

або у вигляді:

$$(\text{rot } F)_{m,n} = \partial_m F_n - \partial_n F_m \quad (3.25)$$

де m, n – відповідні координати, розглядуваного простору.

За теоремою Коші-Гельмгольца розподілення швидкостей аерозольної суміші у газо-пиловій хмарі викиду поблизу деякого центру мас задається як:

$$v(r) = v_0 + \omega \cdot r + \nabla \cdot \varphi + O(r) \quad (3.26)$$

де v_0 – вектор поступального руху (переміщення турбулентного ротору в напрямку дії ламінарного потоку);

ω – вектор кутового обертання аерозольного середовища навколо центра його мас O ;

r – усереднений радіус газо-пилової хмари викиду;

φ – потенціал деформації газо-пилової хмари викиду.

Таким чином, рухи аерозольної газо-пилової хмари викидів відносно центра O її мас визначається сукупністю поступального руху (вектор v_0) в ламінарних потоках атмосферного повітря, обертального руху ($\omega \cdot r$) хмари навколо O та потенційного формозмінення-деформації у вигляді вектору ($\nabla \cdot \varphi$). Застосувавши до (3.26) операцію rot отримуємо, що для центра мас хмари (для точки O) справедливо:

$$v = 2 \cdot \omega \quad (3.27)$$

і, як наслідок, можна зробити висновок про те, що поле швидкостей турбулентного ротору газо-пилової хмари викиду, який продукується автотранспортним потоком, відносно деякого центра мас газо-пилової хмари (точки O) дорівнює подвоєному вектору кутового руху аерозоллю хмари з центром в центрі її мас. Графічно, характер поступального переміщення турбулентного ротору аерозоллю газо-пилової хмари викиду,

який продукується автотранспортним потоком, в ламінарному потоці атмосферного повітря наведено на рис.3.6.

Поступальне переміщення ротора в ламінарному потоці

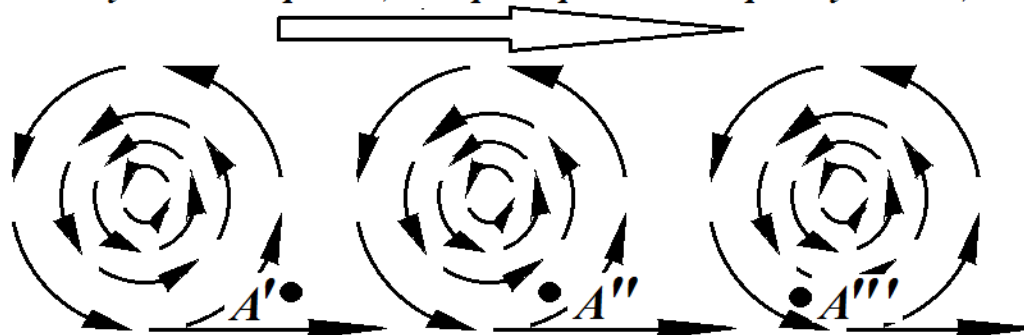


Рис.3.6. Характер поступального переміщення турбулентного ротора газо-пилової хмари викиду в ламінарному потоці атмосферного повітря (A', A'', A''' – послідовне положення точки A в роторі)

Отже, за результатами вищевикладеного встановлено:

- в дифузійному дивергентному полі турбулентних рухів аерозольної хмари газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, формуються ротори (області обертового руху аерозолі), які беруть участь у поступальному русі ламінарних потоків атмосферного повітря, що формуються в смугах відведення автомобільних доріг (автодорожньої мережі) природно-техногенної геоекосистеми;
- в роторі повітряні потоки обертаються навколо центра мас аерозольної газо-пилової хмари викиду і обов'язково мають ненульовий ротор поблизу центра мас хмари;
- в залежності від характеру потоку векторного поля частинок аерозолі через контрольну (умовну) поверхню газо-пилової хмари викиду (характеру дивергенції) аерозольний ротор може бути джерелом або стоком цього поля (акумулявати в роторі або генерувати за межі ротора аерозольну хмару);
- за конкретних динамічних умов стоки і джерела в аерозольному роторі можуть бути відсутніми або вони компенсують один одного (ні

аккумуляції ні генерації газо-пилової хмари викиду у роторі не відбувається);

- для векторного поля v швидкостей руху аерозольного ротора, $rot v$ є однаковим за всім полем (об'ємом) ротора і дорівнює вектору подвоєної кутової швидкості обертання ротора;
- якщо рух автотранспортних потоків (з неусталеними швидкостями потоків) і ландшафтні елементи смуги відведення автомобільної дороги описувати деякими визначеними векторними полями, то ротори на зрізах швидкостей ламінарних потоків атмосферного повітря, які визначаються цими елементами, завжди будуть ненульовими.

3.3. Динаміка ламінарно-турбулентних повітряних потоків в межах смуг відведення автомобільних доріг

Ламінарні потоки рухів атмосферного повітря в межах смуг відведення автомобільних доріг можуть бути описані на підставі рівняння Нав'є-Стокса [106]:

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right] = -\nabla p + \eta \Delta v + \left(\zeta + \frac{\eta}{3} \right) \nabla v \quad (3.28)$$

де v – поле швидкості атмосферного повітря;

ρ – густина повітряного аерозолі;

p – тиск приземних шарів атмосфери;

η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

ζ – об'ємна в'язкість;

∇ – оператор Набла (векторний диференціальний оператор, компоненти якого є частковими похідними по декартових координатах);

Δ – оператор Лапласа (дія над скалярним або векторним полем, як сума других часткових похідних по кожній декартовій координаті).

При цьому:

- оператор Набла:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (3.29)$$

- оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3.30)$$

де $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – одиничні вектори по осях x, y, z відповідно.

В рівнянні (3.28) значення v, ρ, p, η, ζ – є стохастичними змінюваними у часі чинниками, які при практичному використанні (3.28) мають бути усередненими за часом [218]. Дійсно, якщо розглядати міграційні процеси забруднювачів газо-пилової хмари викиду, які зумовлені швидкостями v ламінарних потоків атмосферного повітря, то такі процеси є ергодичними відносно усереднених значень параметрів, якщо:

$$m_X = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(A, t) \cdot dt \quad (3.31)$$

і ергодичними по відношенню до автокореляційної функції, якщо:

$$R_X(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(A, t) \cdot X(t + \tau) \cdot dt \quad (3.32)$$

В (3.31) і (3.32) застосовано такі позначення:

m_X – середнє значення відгуку функції $X(A, t)$ визначене за “ансамблем” розглядуваного стохастичного чинника;

t – час усереднення;

$R_X(\tau)$ – середнє значення відгуку функції $X(A, t)$ визначене за часом, причому для стаціонарних випадкових процесів в широкому розумінні:

$$R_X(t_1, t_2) = R_X(t_1 - t_2) = R_X(\tau) \quad (3.33)$$

а отже:

$$E\{X(A, t)\} = m_X = R_X(\tau) = const \quad (3.34)$$

де $X(A, t)$ – функція досліджуваного процесу.

В даному випадку вираз (3.34) свідчить про ергодичність рівняння (3.28), що дає можливість усереднення, для подальшого векторного аналізу значень v, ρ, p, η, ζ рівняння (3.28).

Розглянемо епюру зміни швидкостей (в окремих горизонтальних шарах) повітряних потоків на відкритій місцевості і при наближенні до, зумовленої ландшафтним елементом, механічної перешкоди (рис.3.7).

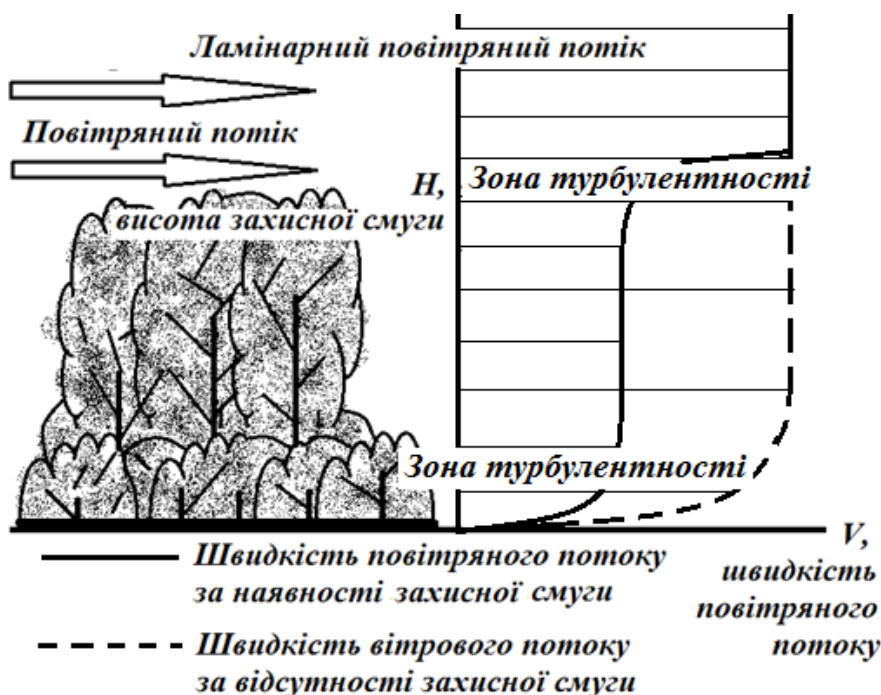


Рис.3.7. Характер зміни швидкостей повітряних потоків за наявності і відсутності механічної перешкоди у вигляді елементів ландшафту

В зонах виникнення турбулентності (рис.3.7) відповідно до рівняння (3.28) параметр ∇v визначає появу деякого градієнту dv горизонтальних швидкостей

$$\nabla v = \text{grad } v = \frac{\partial v}{\partial x} \cdot i + \frac{\partial v}{\partial y} \cdot j + \frac{\partial v}{\partial z} \cdot k \quad (3.35)$$

де i, j, k – орти координатної системи (системи відліку).

Якщо напрям ламінарного потоку атмосферного повітря спрямувати за напрямом однієї з координатних осей (вісь x), то з (3.35) отримуємо:

$$\text{grad } v = \frac{\partial v}{\partial x} \cdot i \quad (3.36)$$

Графічну інтерпретацію градієнту швидкостей повітряного потоку dv наведено на рис.3.8.



Рис.3.8. Градієнт швидкостей повітряних потоків і перенесення їх імпульсу mv

Наявність градієнту dv швидкостей повітряних потоків в зоні виникнення турбулентності відбувається перенесення імпульсу mv з вертикальною швидкістю u :

$$u = \eta \cdot \frac{\partial v}{\partial h} \quad (3.37)$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості;

h – висота повітряного потоку над поверхнею ґрунту.

Таким чином, горизонтальні ламінарні потоки атмосферного повітря в зонах турбулентності (рис.3.7) є “ансамблями” численних турбулентних роторів, які окрім горизонтального вектору dv переміщення ламінарного потоку мають і вертикальну складову du . Процеси перенесення маси аерозолію (перенесення імпульсу du) з одного рівня на інший (обмін масою аерозолію поміж шарами атмосферного повітря) характеризуються добутком флуктуацій горизонтальної складової dv на вертикальну складову du переміщення повітряних аерозолів або, так званою, вихровою коваріацією швидкостей, як деякої невизначеності добутку швидкостей ($du \times dv$):

$$\begin{aligned} Cov(X, Y) &= E[(X - \mu_X) \cdot (Y - \mu_Y)] = E(X, Y) - \mu_X \cdot \mu_Y = \\ &= \mu_{XY} - \mu_X \cdot \mu_Y \end{aligned} \quad (3.38)$$

де E – оператор математичного очікування;

μ_X – усереднене значення величини X (в даному випадку горизонтальна швидкість v повітряного потоку);

μ_Y – усереднене значення величини Y (в даному випадку вертикальна швидкість u повітряного потоку);

$E(X, Y)$ – математичне очікування добутку величин X, Y ;

μ_{XY} – усереднене значення добутку величин X, Y .

Розглянемо переміщення аерозолів у потоках атмосферного повітря з горизонтальною v та вертикальною складовими u повітряних потоків:

$$\begin{cases} v = \bar{v} + \delta v \\ u = \bar{u} + \delta u \end{cases} \quad (3.39)$$

де \bar{v} та \bar{u} – усереднені горизонтальна та вертикальна складові швидкостей повітряного потоку;

δv та δu – флуктуації горизонтальної та вертикальної складових швидкостей повітряного потоку.

Отже, процес переносу маси m аерозолю в ламінарних потоках атмосферного повітря в зонах утворення турбулентних потоків, як коваріація їх горизонтальної та вертикальної швидкостей $Cov(v, u)$ матиме вигляд:

$$Cov(v, u) = \frac{\sum \delta v \cdot \delta u}{n} \quad (3.40)$$

де n – кількість розглядуваних змінних.

Якщо підставити (3.39) в (3.40), отримуємо:

$$Cov(v, u) = \frac{\sum (v - \bar{v})(u - \bar{u})}{n} \quad (3.41)$$

Процес безпосереднього масопереносу аерозолю газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, в цьому випадку буде характеризуватись величиною потоку маси, яка визначає кількість маси m аерозолю, що переноситься через одиницю площі за одиницю часу. Потік маси залежить від кількості маси m , розмірів площі поверхні газо-пилової хмари викиду і часу перенесення цієї маси в повітряному потоці. Миттєвий горизонтальний потік імпульсу маси m залежить від горизонтальної швидкості ламінарного повітряного потоку, а вертикальний потік імпульсу маси аерозолю газо-пилової хмари викиду через складові швидкостей (v, u) повітряного потоку визначається як:

$$F(t) = \rho \cdot v(t) \cdot u(t) \quad (3.42)$$

де ρ – густина повітряного аерозолю;

Усереднений потік імпульсу маси m аерозолю газо-пилової хмари викиду становитиме:

$$\overline{F(t)} = \bar{\rho} \cdot \overline{(v \cdot u)} \quad (3.43)$$

Таким чином, вертикальний потік імпульсу є коваріацією між флуктуаціями горизонтальної v та вертикальної u швидкостей повітряного потоку:

$$F = \rho \cdot \overline{(\delta v \cdot \delta u)} \quad (3.44)$$

Таким чином, якщо вихрові флуктуації спрямовані вертикально донизу ($\delta v < 0$), флуктуації концентрації аерозолу газо-пилової хмари викиду, зумовлені потоком імпульсу, матимуть тенденцію до зменшення $\delta t < 0$ і добуток $\delta v \cdot \delta t > 0$ є додатнім. Якщо ж вихрові флуктуації спрямовані вертикально догори ($\delta v > 0$), то концентрації флуктуації аерозолів збільшуються з висотою, оскільки вони переміщують догори шари з більшою концентрацією аерозолу а отже добуток $\delta v \cdot \delta t > 0$, який визначається коваріацією між v та t залишається додатнім.

Відповідно рівнянню (3.39) при зростанні горизонтальної швидкості v повітряного потоку збільшуються і її флуктуації δv , що зумовлює зменшення товщини розглядуваних шарів аерозольних потоків в межах усталеного імпульсу $\overline{(\delta v \cdot \delta u)}$. Такий характер турбулентності при збільшенні горизонтальної складової швидкості v ламінарного повітряного потоку призводить до формування деякої ієрархії роторів турбулентності, які пов'язані каскадним процесом. Зазначений факт може бути проілюстрований на прикладі формування зони турбулентності в улоговині ландшафту при збільшенні горизонтальної швидкості v ламінарного повітряного потоку, який рухається над улоговиною (рис.3.9).

Топологія наведеного на рис.3.9 формування каскаду роторів турбулентності є геометричним аналогом їх (роторів) самоподібності, що свідчить про фрактальний характер ламінарно-турбулентних потоків повітряних аерозолів. Фрактальна розмірність D (розмірність Хаусдорфа-Безиковича) сформованої у ротор аерозолі газо-пилової хмари викиду (просторової множини на якій відбувається турбулентна дифузія)

відповідно до [266] коливається в межах $2,5 < D < 2,6$, при цьому з достатньою ймовірністю можна стверджувати, що завжди $D \leq 2,66$. Тому розв'язки рівняння (3.28) можуть бути винятково фрактальними.

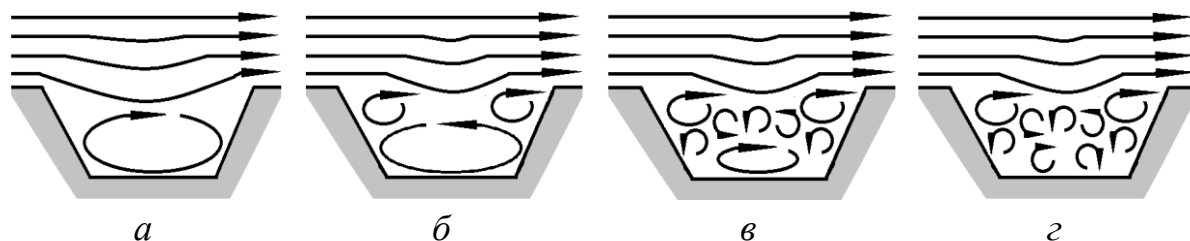


Рис.3.9. Каскадний процес ієрархічного формування роторів турбулентності в улоговині при поступовому зростанні величини швидкості горизонтального ламінарного повітряного потоку:

$a \rightarrow b \rightarrow v \rightarrow z$ – збільшення горизонтальної швидкості v потоку

Прикладом такого фракталу, який в двомірному аналозі моделює фрактальний ієрархічний характер каскаду роторів ламінарно-турбулентних потоків повітряних аерозолів (рис.3.9) є, побудований за допомогою семиланкового генератора, самоподібний регулярний фрактал Коха-Пеана-Мандельброта, наведений на рис.3.10.

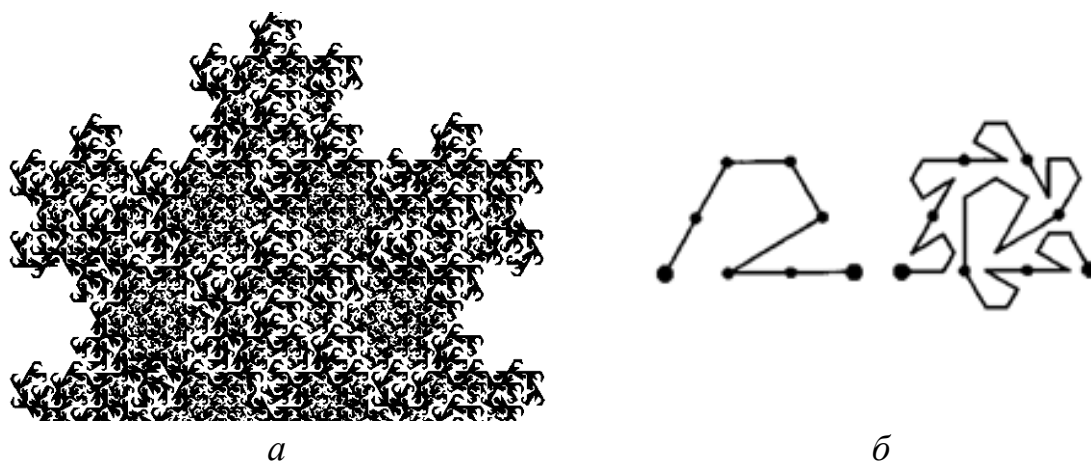


Рис.3.10. Фрагмент фракталу Коха-Пеана-Мандельброта (а) та семиланковий генератор для його побудови (б)

Фрактальний підхід до аналізу формування ієрархії самоподібних роторів турбулентності, які пов'язані каскадним процесом, дозволяє в

подальшому розглянути процеси контактування ламінарно-турбулентних потоків повітряних аерозолів з фрактально організованими поверхнями ландшафтних елементів в межах смуг відведення (резервних смуг) автодорожньої мережі.

3.4. Основні чинники формування мікроклімату в зоні смуги відведення автомобільної дороги

В межах смуг відведення автомобільної дороги фонові кліматичні умови природно-техногенної геоекосистеми зазнають суттєвих змін внаслідок антропогенної трансформації ландшафту та специфіки функціонування автотранспортних потоків, що призводить до формування комплексу мікроклімату автодорожньої мережі. На формування специфічних мікрокліматичних умов в зоні функціонування автотранспортного потоку, в першу чергу впливають такі чинники:

- лінійність техногенного об'єкту (автомобільної дороги), що призводить до відповідної трансформації та розчленування ландшафту природно-територіального комплексу;
- переорієнтація напрямків природних повітряних потоків (вітрового режиму) відповідно до трансформованих ландшафтних умов (насипи та виїмки траси автомобільної дороги, облаштування кавальєрів та газо-пилозахисних лісосмуг, облаштування просік та вирубок в лісових масивах тощо);
- безпосередні теплове забруднення та газо-пилових аерозолів, які продукуються автотранспортними потоками, що призводять до зміни природного теплового балансу;
- заміна ґрунту і підстиляючого шару поверхні природного ландшафту конструкційними матеріалами автодороги, які змінюють гідрологічний і тепловий режими природно-територіального комплексу.

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 (з розміром dx, dy, dz) повітряних мас в зоні смуги відведення. Головним чинником вертикальних рухів елементарних об'ємів повітряного аерозолі є різниця температури (T_i) цього елементарного об'єму повітряного аерозолі і температури (T_e) атмосферного повітря на локальному рівні. Відповідно, прискорення елементарного об'єму аерозолі газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, у вертикальному напрямі буде визначатись як [134]:

$$\frac{dv_i}{dt} = g \frac{T_{i0} - T_{e0}}{T_e} + g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (3.45)$$

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;

Δh – вертикальний розмір розглядуваного шару повітря;

$\gamma - \gamma_a$ – різниця температурних градієнтів в Δh .

Представимо (3.45) у вигляді:

$$\frac{dv_i}{dt} = \left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{h=h_0} + \left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} \quad (3.46)$$

Очевидно, що вертикальне прискорення елементарного об'єму аерозоліу газо-пилової хмари викиду у рівнянні (3.46) визначається другим доданком його (рівняння) правої частини, тобто:

$$\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = g \frac{\gamma - \gamma_a}{T_e} \Delta h \quad (3.47)$$

За характером вертикального переміщення елементарного об'єму аерозоліу газо-пилової хмари викиду, відповідно (3.47), розрізняється три випадки за станом стійкості атмосфери [134]:

- якщо $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} > 0$ вертикальні рухи аерозоліу 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 $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} < 0$ вертикальні рухи аерозоліу 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 $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$ 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 аерозоліу і за означенням визначають даний стан стратифікації атмосфери як байдужий.

Типовий профіль конструкції смуги відведення автомобільної дороги [2, 15, 16] з урахуванням рельєфних особливостей ландшафту природно-техногенної геоекосистеми передбачає два базових варіанти розташування земляного полотна і пов'язаних з ним конструкційних елементів: у виїмці (рис.3.11-а) та на насипу (рис.3.11-в).

Узагальнюючим розвитком варіанту розташування земляного полотна і пов'язаних з ним елементів автомобільної дороги у виїмці є конструкція поперечного профілю автомобільної дороги, яка передбачає обладнання лінійного двобічного (іноді одnobічного) “екранування” смуги автомобільної дороги такими елементами як кавальєри, газо-пилрозахисні лісосмуги (рис.3.11-б), резерви тощо.

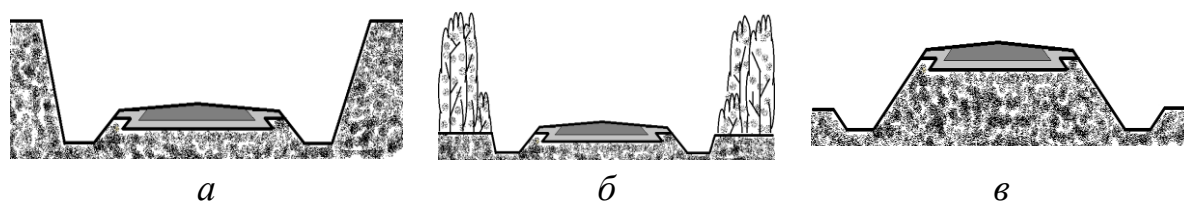


Рис.3.11. Варіанти поперечного профілю розташування земляного полотна автомобільної дороги: а – у виїмці; б – з облаштованою двобічною газо-пилрозахисною лісосмугою; в – на насипі

Внаслідок специфічних ландшафтно-геометричних параметрів конструкції смуги відведення за варіантами а та б, які наведено на рис.3.11, фонові повітряні потоки, напрямком руху яких практично завжди не співпадає з поздовжньою орієнтацією смуги відведення автомобільної дороги, призводять до переорієнтації напрямку переміщення фонових повітряних мас. В зоні смуги відведення автомобільної дороги вектор напрямку руху повітряної маси орієнтується вздовж проїжджої частини дороги, яка обмежена бічними елементами виїмки або аверсною стороною газо-пилрозахисних лісосмуг (рис.3.12) – виникає, так званий, “долинний” вітер (відповідно до класифікації типу вітру). В результаті в профілі граничних шарів атмосфери, які розташовані безпосередньо над поверхнею дорожнього полотна формується дві зони, границю поміж якими можна умовно визначити площиною “зрізу” напрямків руху відповідних повітряних мас (рис.3.13).

Температура T_{i0} аерозолу газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, завжди суттєво вища за температуру T_{e0} повітряної маси на рівні поверхні проїжджої частини автодороги, а отже різниця градієнтів температури $\gamma - \gamma_a$ в довільному шарі атмосферного повітря Δh над проїжджою частиною (дорожнім полотном) автодороги є додатною. Відповідно (3.47) в цьому випадку стратифікація шару атмосферного повітря, який є прилеглим до поверхні проїжджої частини автомобільної дороги, буде класифікуватись як нестійка (рис.3.13) [134].

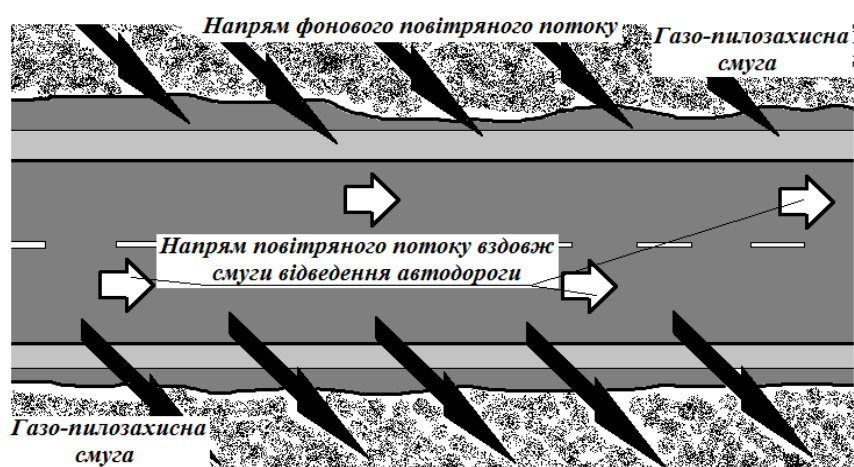


Рис.3.12. Зміна напрямку рухів повітряних мас в профілі смуги відведення автомобільної дороги, яка облаштована двобічними газо-пилозахисними лісосмугами

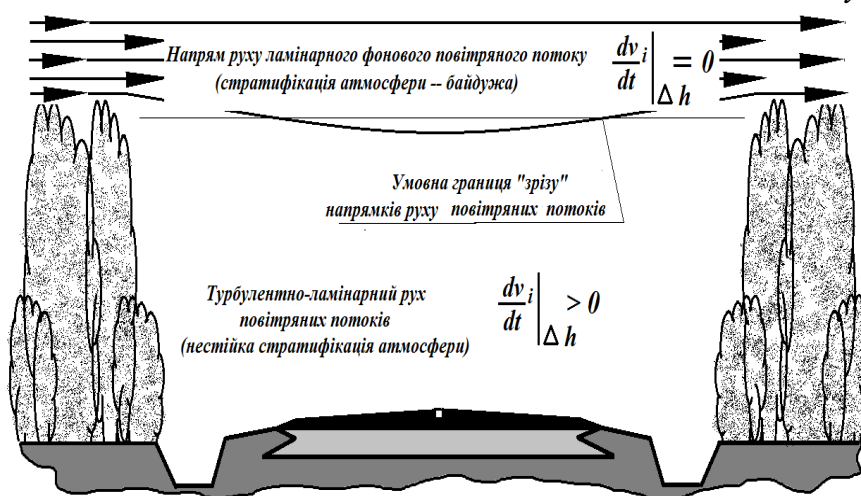


Рис.3.13. Характер стратифікації атмосфери над полотном проїжджої частини автомобільної дороги

Таким чином, вертикальне прискорення $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} > 0$ аерозолі газопилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, в зоні прилеглої до полотна проїжджої частини автомобільної дороги завжди є додатнім. Ротори аерозольного викиду рухаючись у повітряних потоках вздовж смуги відведення автодороги одночасно переміщуються вертикально доверху, а їх (роторів) бічне переміщення обмежене аверсними сторонами бічних газопилозахисних лісосмуг або бічними стінками виїмки (рис.3.12). Вище верхнього зрізу профілю смуги відведення автодороги (рис.3.13), який визначено площиною дотичною до верхівки крон дерев захисних смуг (при розташуванні полотна проїжджої частини автодороги у виїмці – верхніми бровками виїмки), ламінарний характер фонового переміщення повітряних мас зумовлює нульове значення вертикального прискорення елементарних об'ємів газопилової хмари викиду, тобто $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$. Стратифікація атмосфери в цій зоні визначається як байдужа.

Такий, різний за ознаками стратифікації, стан атмосфери в поперечному профілі смуги відведення автомобільної дороги призводить до появи на “зрізі” напрямків руху повітряних мас різкої границі, яка є аналогом інверсійного шару атмосфери. “Замкненість” та особливі характеристики атмосферного повітря в зоні смуги відведення автодороги зумовлюють формування специфічного мікроклімату, який є відмінним від фонового і визначається, в першу чергу, транспортно-експлуатаційними параметрами автотранспортних потоків (структурою транспортних засобів, інтенсивністю, режимами руху тощо) та ландшафтними особливостями природно-техногенної геоекосистеми.

В процесі міграції роторів аерозолі газопилової хмари викидів, яка продукується автотранспортними потоками, відбувається сепарація мінеральної складової аерозолів з наступним її депонуванням в масиві газопилозахисних лісосмуг або на бічних сторонах смуги відведення автомобільної дороги. Газо-повітряна складова хмари викиду мігрує до меж

інверсійної границі де відбувається типовий незворотній процес об'єднання компонентів двох потоків газових сумішей з вирівнювання їх температури.

На відміну від розглянутих вище варіантів, варіант при якому проїжджа частина автомобільної дороги розташована на насипу, відрізняється тим, що стратифікація атмосфери в смузі відведення такої автомобільної дороги відноситься до категорія байдужої, тобто в будь-якій точці вертикальне прискорення $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$ її елементарного об'єму дорівнює нулю (рис.3.14).

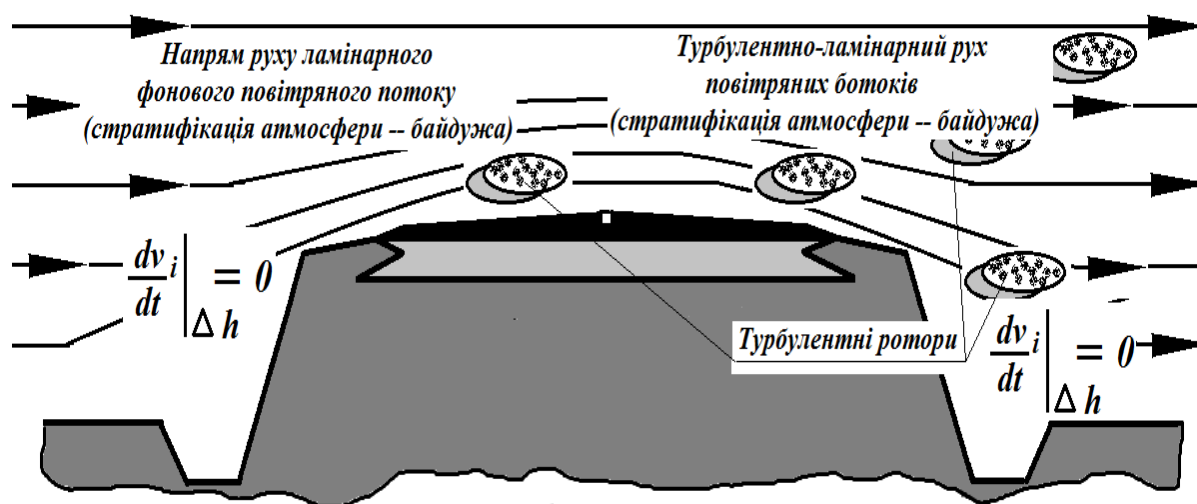


Рис.3.14. Характер стратифікації атмосфери над полотном проїжджої частини автомобільної дороги, яка розташована на насипу

Ротори аерозольної газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, залучаються до фоновісного ламінарного повітряного потоку не отримуючи жодних вертикальних прискорень ($\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$) і мігрують за межі смуги відведення автомобільної дороги на невизначені відстані.

При порушенні топологічної суцільності бічних лінійних механічних геохімічних бар'єрів відбувається значна інтенсифікація турбулентності

ламінарно-турбулентних повітряних потоків і виникають додаткові зони турбулентності (рис.3.15). В таких випадках спостерігаються, так звані, “крайові ефекти”. При цьому, в додаткових зонах турбулентності стратифікація атмосфери має бути охарактеризована як нестійка, тобто в цьому випадку $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} > 0$.



Рис.3.15. “Крайові ефекти” і виникнення додаткових зон турбулентності в ламінарно-турбулентних повітряних потоках при порушенні топологічної суцільності геохімічного бар’єру (газо-пилозахисної лісосмуги)

Отже, для забезпечення надійного депонування транспортних викидів (особливо викидів мінерального пилу та технічного вуглецю у вигляді сажі) в поперечному профілі автомобільної дороги конструкційно має бути реалізовано принцип стратифікаційного поділу прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги шарів атмосфери.

Конструкційне забезпечення стратифікаційних відмінностей шарів атмосфери, прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги, реалізується шляхом використання природно-ландшафтних або облаштування штучних механічних захисних споруд смуги відведення автомобільної дороги (наприклад, газо-пилозахисних лісосмуг) у вигляді двобічних “геохімічних” бар’єрів [38, 39, 146, 148, 149].

3.5. Сепарація аерозолі газо-пилової хмари викидів та депонування викидів, які продукуються автотранспортними потоками

Інерційні властивості мінеральної пилової фази повітряного аерозолі (пилових частинок зважених у повітряних потоках) проявляються за будь-якої швидкості руху вітрових потоків, в тому числі і за умови повного штилю ($v \geq 0$) [134]. В результаті дії сил інерції на пилову фазу повітряного аерозолі відбувається його сепарація з виокремленням цієї фази. Виходячи з принципу суперпозиції, в загальному випадку можна розглядати будь-який елементарний об'єм аерозолі газо-пилової хмари викиду, як такий, що одночасно перебуває під впливом трьох інерційних чинників:

- гравітаційний фактор – дисперговані часточки аерозолі перебувають в полі тяжіння і під дією гравітаційних сил відбувається їх сепарація, процес якої не залежить від вектору напрямків і швидкостей повітряних потоків;
- інерційний фактор – зумовлений різною густиною дисперсного середовища (атмосферне повітря) і диспергованої фази (мінеральний пил та сажа) і виявляється завдяки варіабельності напрямків та швидкостей ламінарно-турбулентних повітряних потоків в елементах ландшафту природно-техногенної геоекосистеми;
- відцентровий фактор – зумовлений відцентровими силами оберткових рухів аерозолі при формуванні роторів турбулентності (відцентрові прискорення, як правило, на декілька порядків більші за прискорення сили тяжіння).

В зустрічних напрямках руху автотранспортних потоків (рис.3.4) і з огляду на ландшафтні особливості смуг відведення автомобільних доріг (рис.3.5) завжди формуються ротори турбулентності в ламінарно-турбулентних потоках повітряних мас. При цьому, розподілення швидкостей диспергованих частинок аерозольної суміші у газо-пиловій хмарі викиду, яка продукується автотранспортним потоком, відповідно до

теореми Коші-Гельмгольца визначається виразом (3.26). Траєкторії руху окремих диспергованих частинок аерозолі в повітряному роторі залежно від їх маси можуть бути представлені у вигляді сімейства епюр (рис.3.16).

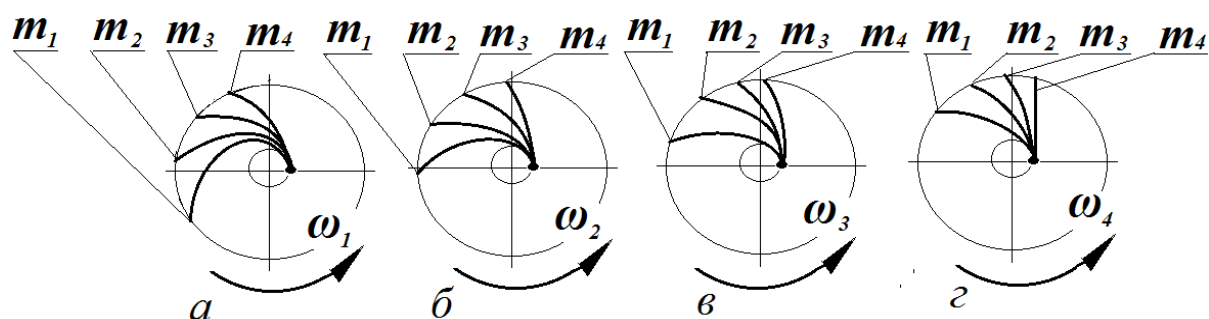


Рис.3.16. Епюри залежності траєкторій руху

диспергованих мінеральних частинок в роторі аерозолію

залежно від маси (m) частинки і швидкості (ω) обертання ротора

Наведені на рис.3.16 епюри характеризуються такими залежностями значень маси (m) диспергованих частинок аерозолію та кутової швидкості (ω) ротора:

$$\begin{cases} m_1 < m_2 < m_3 < m_4 \\ \omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4 \end{cases} \quad (3.48)$$

При переміщенні в ламінарно-турбулентних потоках відбувається сепарація газо-пилового ротору. Сепарований в зовнішні шари ротора мінеральний пил і сажа аерозолію контактує з поверхнями (механічними бар'єрами), які утворюють елементи ландшафту природно-техногенної геоекосистеми, а газова складова аерозолію, яка міститься переважно в центральних шарах ротору мігрує в напрямках ламінарної складової повітряних потоків.

В процесі динамічного контакту мінеральної частинки аерозолію з механічним бар'єром граничною умовою адгезії цієї частинки, як

початкової стадії депонування мінеральної складової газо-пилової хмари викиду, який продукується автотранспортним потоком, є:

$$E_a = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.49)$$

де E_a – енергія адгезії;

m – маса мінеральної частинки в аерозолі;

v – нормальна (до поверхні механічного бар'єру) обертова швидкість мінеральної частинки в роторі аерозолі.

У виразі (3.49) енергія адгезії мінеральної частинки ротора аерозолі, тобто робота, яка витрачається на подолання сил адгезії, за різного значення шорсткості поверхні механічного бар'єру, становитиме:

$$E_a = \int_{i=1}^k F_a \cdot dh \quad (3.50)$$

де F_a – гранична сила адгезії;

dh – шорсткість поверхні механічного бар'єру в лінійних одиницях;

k – кількість мінеральних частинок в роторі аерозолі (густина мінеральної складової аерозолі).

З виразу (3.50) походить, що із збільшенням значення шорсткості dh адгезійні властивості поверхонь ландшафтних об'єктів зростають. Враховуючи фрактальну організацію роторів турбулентності аерозолів газо-пилової хмари викиду (рис.3.10), значення dh суттєво збільшується на поверхнях ландшафту (механічних перешкод), які окреслено фрактальними границями. В межах смуг відведення автомобільних доріг такою поверхнею є аверсна сторона газо-пилозахисної лісосмуги, яка сформована гілчасто-листяною кроною деревних і чагарникових насаджень (рис.3.13). Характер руйнування периферійних шарів ротора турбулентності (рис.3.10) з наступною адгезією мінеральної диспергованої складової аерозолі газо-

пилової хмари викиду при контактуванні з фрактальною границею аверсної поверхні газо-пилозахисної лісосмуги автомобільної дороги наведено на рис.3.17 [223, 279].

Перколяційна структура фрактальної організації газо-пилозахисної лісосмуги визначає топологію її лакунарних порожнин, яка є аналогом “лабіринтного ущільнення” аеродинамічного потоку поміж двома поверхнями (рис.3.18) [57].



Рис.3.17. Адгезія мінерального пилу фрактальному роторі аерозолі газо-пилової хмари викиду з фрактальною поверхнею аверсної сторони газо-пилозахисної смуги, який змодельовано регулярними фракталами

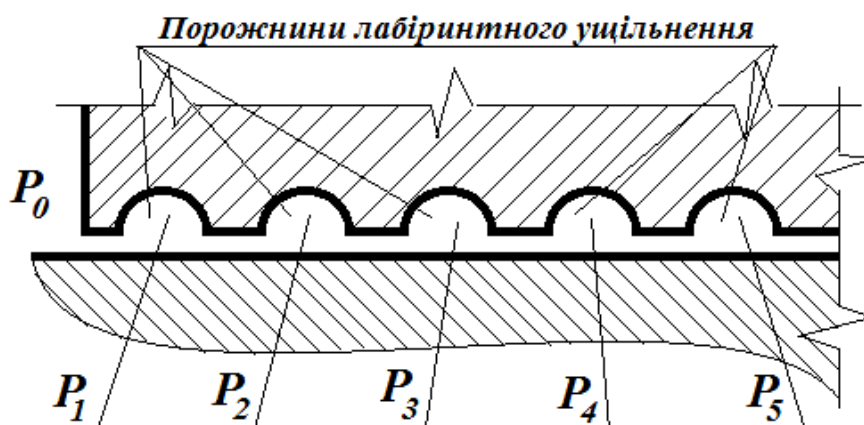


Рис.3.18. “Лабіринтне ущільнення” поверхонь

Особливістю наведеної на рис.3.18 конструкції є покрокове зменшення вихідного динамічного тиску P_0 за рахунок різниці між об'ємами робочих зазорів ("проходів" лабіринту) та об'ємами порожнин лабіринту. Отже:

$$P_0 > P_1 > P_2 > \dots > P_n \quad (3.51)$$

де P_i – тиск у порожнинах лабіринту;

n – кількість порожнин лабіринту).

Таким чином, наявність лабіринту лакунарних порожнин у фрактальному масиві газо-пилізахисної лісосмуги автомобільної дороги, забезпечує каскадне (покрокове) зменшення швидкості v , а отже і динамічного тиску аерозолів ламінарно-турбулентних повітряних потоків. Зменшення динамічного тиску в лакунарних порожнинах лісосмуги призводить до інтенсифікації процесів осадження сажі та мінерального пилу диспергованих в аерозолі газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, з подальшим їх депонуванням ґрунтовою поверхнею безпосередньо в межах масиву газо-пилізахисної смуги (додаток X).

Для аналізу аеродинамічних властивостей фрактальних лабіринтів газо-пилізахисної лісосмуги лабіринтного типу (рис.3.17) скористаємось формулою А.Стодола [62], яку засновано на припущенні про часткове зменшення швидкості v повітряного потоку в комірках лабіринту лакунарних порожнин:

$$G = f \cdot \sqrt{\frac{P_0^2 - P^2}{Z \cdot P_0 \cdot w_0}} \quad (3.52)$$

де G – масова витрата повітряного потоку;

$f = \pi \cdot d \cdot \delta$ – прохідний переріз зазору δ умовного діаметру d ;

Z – кількість лакунарних порожнин (комірок лабіринту) у вертикальному поперечному перерізі лісосмуги;

P – тиск аерозольного повітряного потоку на аверсному боці лісосмуги;

P_0 – тиск аерозольного повітряного потоку на реверсному боці лісосмуги;

w_0 – питомий об'єм аерозолі.

Відповідно до (3.52) уточнена формула для розрахунку проточок аерозолі в лакунарному перколяційному масиві газо-пилізахисної лісосмуги, з урахуванням кута α_0 нахилу повітряного аерозольного потоку до аверсної сторони смуги, а також бічних траєкторій руху ламінарно-турбулентних повітряних потоків у лакунарних порожнинах в горизонтальному напрямі, набуде вигляду [276]:

$$G = \alpha_0 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{P_0^2 - P^2}{Z \cdot P_0 \cdot w_0}} \quad (3.53)$$

де $f_0 = \pi \cdot d \cdot \delta_0$ – прохідний переріз зазору δ_0 умовного діаметру d , який становить:

$$\delta_0 = \beta \cdot \left[\delta + \frac{d}{2} \cdot (1 - \cos \theta_0) \right] \quad (3.54)$$

β , θ_0 – вертикальний і горизонтальний кути напрямку траєкторії повітряних потоків до аверсних сторін лакунарних порожнин;

α_0 – коефіцієнт витрати повітряного потоку аерозолів, який залежить від β , θ_0 і становить в нашому випадку:

$$\alpha_0 = \frac{\mu_0}{\sqrt{1 - \bar{V}^2}} \quad (3.55)$$

μ_0 – коефіцієнт звуження перерізу на реверсному боці лакунарної порожнини:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{01} = \frac{1 + v_1/\vec{v}_1}{2} \\ \mu_{02} = \frac{1 + v_2/\vec{v}_2}{2} \\ \dots \dots \\ \mu_{0z} = \frac{1 + v_z/\vec{v}_z}{2} \end{array} \right. \quad (3.56)$$

Відношення швидкостей повітряного потоку безпосередньо до v і після \vec{v} лакунарної порожнини лабіринту становить:

$$\bar{v} = \frac{v}{\vec{v}} = \varphi(\bar{l}) \quad (3.57)$$

де \bar{l} – відносна довжина траєкторії аерозольного потоку, яка дорівнює:

$$\bar{l} = \frac{2 \cdot l}{\delta'} \quad (3.58)$$

δ' – відносна ширина вузького перерізу поміж лакунарними порожнинами:

$$\delta' = \delta_0 \cdot \mu_0 \quad (3.59)$$

Збільшення об'ємів лабіринтних комірок в масиві газо-пилотрапної лісосмуги дозволяє оптимізувати значення $P_0^2 - P^2$ у (3.53) шляхом створення штучної лакунарності і, як наслідок, підвищити рівень адгезійних властивостей смуги, що має забезпечити надійність процесів депонування мінеральних забруднень і сажі в межах смуги відведення автомобільної дороги.

Аерозоль газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортним потоком, переміщуються за певними траєкторіями, які в загальному випадку описуються як $x_i(t; x^{(i)}; t')$ і в деякий момент часу t'

проходять через точку з координатами $x_i^{(0)}$ [213]. Забруднена область, яка визначається статистичною сукупністю координат $x_i^{(0)}$ може бути визначена як:

$$\sigma_{x_i}^2 = \overline{\left| x_i(t_1 - t'; x_i^{(0)}; -x_i^{(0)}) \right|^2} \quad (3.60)$$

де $t_1 - t' = t$ - час міграції елементарного об'єму аерозолі після викиду з точки $x_i^{(0)}$. Отже, швидкість v_i переміщення цього елементарного об'єму буде:

$$v_i(t_1) = \frac{dx(x_1, x_i^{(0)}, t')}{dt} \quad (3.61)$$

а її прискорення становитиме:

$$a_i(t_1) = \frac{dv_i(t_1)}{dt} \quad (3.62)$$

Траєкторія поширення аерозолі, швидкість та прискорення в просторі є функціями часу $a_i(t)$, $v_i(t)$ і початкових координат $x_i(t)$, яка відповідно (3.24) описується за допомогою змінних Лагранжа, і є:

$$\begin{cases} B_v^i = \overline{v_i(t; x_i^{(0)}, t') v_i(t + \tau; x_i^{(0)}, t')} = B_v^i(\tau) \\ \dots \dots \\ B_a^i = \overline{a_i(t; x_i^{(0)}, t') a_i(t + \tau; x_i^{(0)}, t')} = B_a^i(\tau) \end{cases} \quad (3.63)$$

Швидкість $v_i(t)$ і прискорення $\frac{\partial v}{\partial t}$ елементарного об'єму газо-пилової хмари викиду у змінних Лагранжа є похідними від їх траєкторії. А отже, структурні функції для швидкостей $v_i(t)$ і прискорень $a = \frac{\partial v}{\partial t}$ можна представити у вигляді:

$$D_v^i(\tau) = \left[v_i(t; x_i^{(0)}, t/) - v_i(t + \tau; x_i^{(0)}, t/) \right]^i \quad (3.64)$$

Введемо позначення:

$$\begin{cases} a = v_i(t; x_i^{(0)}, t/) \\ b = v_i(t + \tau; x_i^{(0)}, t/) \end{cases} \quad (3.65)$$

З урахуванням (3,65) права частина (3,64) є біномом Ньютона вигляду $(a + b)^i$, який розкладається в суму одночленів, що є добутками степенів порядку i його доданків a і b :

$$\begin{aligned} (a + b)^i &= \\ &= C_i^0 \cdot a^i + C_i^1 \cdot a^{i-1} \cdot b^1 + C_i^2 \cdot a^{i-2} \cdot b^2 + \dots + \\ &\quad + C_i^{i-1} \cdot a^1 \cdot b^{i-1} + C_i^i \cdot b^i \end{aligned} \quad (3.66)$$

де біномінальні коефіцієнти визначаються як:

$$\begin{aligned} C_i^k &= \frac{(i)!}{(k)! \cdot (i - k)!} = \\ &= \frac{i \cdot (i - 1) \cdot (i - 2) \cdot \dots \cdot (i - (k - 1))}{(k)!} \end{aligned} \quad (3.67)$$

i є по суті сполученнями з i по k , де $k = 0, 1, 2, \dots, i$.

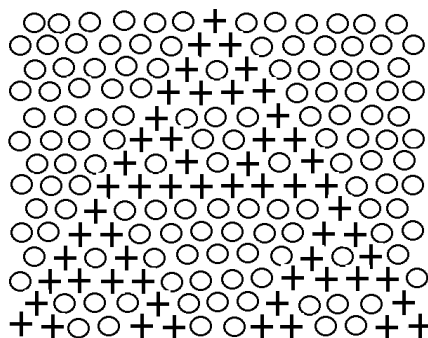
Якщо представити розподілення біномінальних коефіцієнтів в графічному вигляді, отримуємо, так званий, арифметичний трикутник Паскаля [29] у вигляді графу, де позначкою + позначені місця розташування непарних біномінальних коефіцієнтів (рис.3.19). Фрактальна розмірність трикутника Паскаля визначиться як [127]:

$$\mu_{\text{на площині}} = \mu_{\text{просторове}} - 1 = 2,8797 - 1 = 1,8797 \quad (3.68)$$

Якщо для топологічного (фрактально-геометричного) моделювання лакунарних порожнин газо-пиліозахисної лісосмуги використати

фрактальний ансамбль складений з геометричної множини фракталів розмірності $\mu=1,8928$ (рис.3.20), то відносна погрішність моделювання не перевищуватиме:

$$\Delta = \frac{|\mu_{\text{лакунарної порожнини}} - \mu_{\text{моделі}}|}{\mu_{\text{лакунарної порожнини}}} \cdot 100\% < 0,7\%, \quad (3.69)$$



*Рис.3.19. Класичний трикутник Паскаля
(фрактальна розмірність $\mu=1,8797$)*



*Рис.3.20. Фрактальний ансамбль моделі лабіринту лакунарних порожнин
газо-пилзахисної смуги автомобільної дороги
(фрактальна розмірність $\mu=1,8928$)*

Представимо сукупність точок a_i посадки дерев і чагарників лісової газо-пилзахисної смуги (рис.3.20) у вигляді множини X , тобто $a \in X$, а сукупність C_i^k – у вигляді порожньої множини Y – $C_i^k \in Y$. Тоді X і Y є топологічним простором з топологічною структурою T . При цьому, $Y \in \emptyset$, а відображення множин X та Y з точки зору топології є геоморфізмом $f: X \rightarrow Y$, а отже:

$$\left\{ \begin{array}{l} X \cong X \\ X \cong Y \Rightarrow Y \cong X \\ X \cong Y \wedge Y \cong Z \Rightarrow X \cong Z \end{array} \right. \quad (3.70)$$

і сукупність, а отже і кожен з обох топологічних просторів (типів) X та Y є геоморфним і обидва вони мають однакові топологічні типи.

Наведений топологічний аналіз множин X та Y є достатньою підставою для використання топології розподілення біномінальних коефіцієнтів біному Ньютона у вигляді арифметичного трикутника Паскаля для моделювання горизонтальної структури лабіринту лакунарних порожнин фітоценозів газо-пилозахисних лісосмуг автомобільних доріг.

Таким чином встановлено, що характер процесів сепарації мінеральних забруднювачів аерозолі газопилової хмари викидів, які продукуються автотранспортним потоком, в ламінарно-турбулентних повітряних потоках та процесів їх адгезії ландшафтними поверхнями і депонування безпосередньо в межах газо-пилозахисної лісосмуги визначається особливостями конструкції структури лабіринту лакунарних порожнин смуги, які мають бути топологічно “організовані” в горизонтальній площині за принципом геометричного аналогу розподілення біномінальних коефіцієнтів.

3.6. Результати експериментальної ідентифікації

динаміки ламінарно-турбулентних повітряних потоків аерозолі

Для експериментальної перевірки викладених вище аналітичних досліджень був використаний ефект преципітації (лат. *praecipitatio* – стрімке осадження) твердого грубодисперсного індикатора повітряного аерозолі у вигляді вільнодиспергованих в атмосферному повітрі снігових опадів [226]

Візуальні спостереження характерних особливостей міграції та поверхневої адгезії вільнодиспергованого у повітрі “снігового” грубодисперсного аерозолі здійснювались протягом зимових періодів 2015-2017 років на відкритому майданчику з спеціально обладнаними механічними перешкодами та окремих ділянках автомобільних доріг Н03, Е50, Р05.

Відповідно рівнянню (3.22) було встановлено, що у випадку компенсування стоків і джерел $div F = 0$ в газо-пиловому аерозолі хмари викидів, яка продукується автотранспортним потоком, формуються ротори турбулентності, які довільно орієнтовані у просторі до окремих об’єктів ландшафту. Ротори турбулентності виникають на зрізах швидкості повітряних потоків, які виникають на зустрічних смугах руху автомобільних доріг, або в місцях дотику вектору ламінарно-турбулентних повітряних потоків до поверхонь нерухомих ландшафтних об’єктів, в тому числі і штучно створених (рис.3.21) [280].

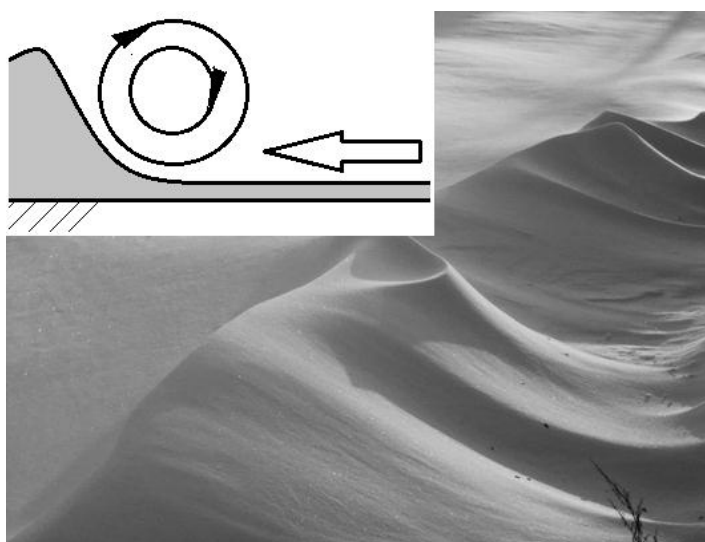


Рис.3.21. Індикація утворення ротору турбулентності на поверхні ландшафту

Поле швидкостей турбулентних роторів (в тому числі ненульових) газо-пилової хмари викиду продукованого автотранспортним потоком відносно центра мас газо-пилової хмари визначається не лише динамічними

характеристиками повітряного аерозолю, але і просторовими координатами та формою (конструкцією) поверхонь механічних перешкод, які сформовані елементами ландшафту природно-техногенної геоекосистеми. Якщо напрям ламінарно-турбулентного повітряного потоку спрямувати за напрямом однієї з координатних осей (в даному випадку за віссю x , яка лежить в горизонтальній площині ландшафту), то відповідно (3.36) виникає вертикально спрямований градієнт імпульсу швидкості mv повітряного потоку dv . При цьому, в зонах утворення роторів турбулентності процес переносу домішок аерозолю визначається коваріацією $Cov(v, u)$ вертикальної u та горизонтальної v складових повної швидкості повітряних потоків. В залежності від напрямку вектора швидкості фонових повітряних потоків і орієнтації (відносно цього вектору) поверхонь механічних перешкод, які утворені елементами ландшафту, в місцях дотику ротору турбулентності до поверхні перешкоди спостерігається два варіанта адгезії диспергованих частинок повітряного аерозолю (рис.3.22 та рис.3.23).

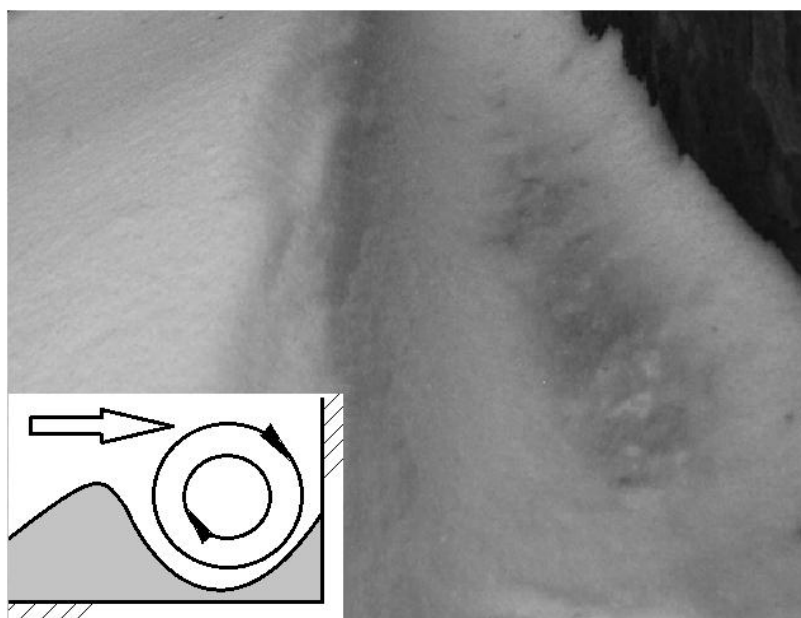


Рис.3.22. “Закритий” ротор турбулентності поблизу поверхні вертикальної механічної перешкоди, яка розташована з підвітряного боку

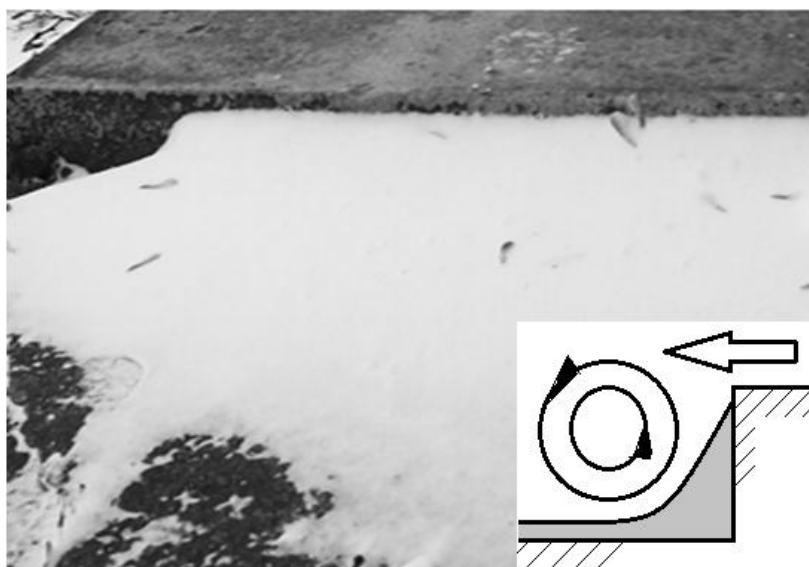


Рис.3.23. “Відкритий” ротор турбулентності поблизу поверхні вертикальної механічної перешкоди, яка розташована з навітряного боку

У випадку розташування механічної перешкоди на підвітряному боці напрямку руху фонові повітряного потоку (рис.3.22) при контактуванні ротору аерозолі з перешкодою відбувається активне руйнування периферійних шарів ротору, в яких зосереджено переважна частка диспергованої мінеральної складової аерозолі. В зруйнованих турбулентних потоках, які контактують з поверхнею ландшафтного об’єкту, інтенсифікуються процеси адгезії мінеральних забруднювачів. В подальшому, в залежності від характеристик шорсткості поверхонь ландшафтних об’єктів, відбувається або преципітація мінеральних забруднювачів на цих поверхнях або, в разі контакту з аверсною стороною газо-пилізахисної лісосмуги, диспергований мінеральний пил і сажа в складі турбулентних потоків надходять до лакунарних порожнин смуги і депонуються масивом деревних і чагарникових насаджень.

В іншому випадку, якщо поверхня механічної перешкоди розташована з навітряного боку фонові повітряного потоку (рис.3.23), формується “відкритий” ротор турбулентності. Дисперговані у повітрі мінеральний пил і сажа дифундують в цьому випадку не лише на поверхні

перешкоди, але і на горизонтальних поверхнях ландшафту, які розташовані безпосередньо перед ландшафтною перешкодою. При цьому, в обох випадках адгезійні процеси мінеральних забруднювачів і технічного вуглецю, які продукуються автотранспортними потоками, визначаються характеристиками шорсткості поверхонь ландшафтних об'єктів, які контактують з ламінарно-турбулентними потоками повітряних аерозолів.

Ландшафтні топологічно-геометричні особливості смуги відведення автомобільної дороги значною мірою визначають характер преципітації і подальшого депонування пилових забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками, що і засвідчено візуальними методами індикації вільнодиспергованого у повітрі “снігового” грубодисперсного аерозолю. Так, у випадку розташування земляного полотна автомобільної дороги у виїмці, преципітація переважної маси пилових забруднювачів і подальше їх депонування відбувається на бічних поверхнях виїмки, що ускладнює міграцію сажі і продуктів дезінтеграції матеріалів конструкції автомобільної дороги за межі смуги відведення (рис.3.24).

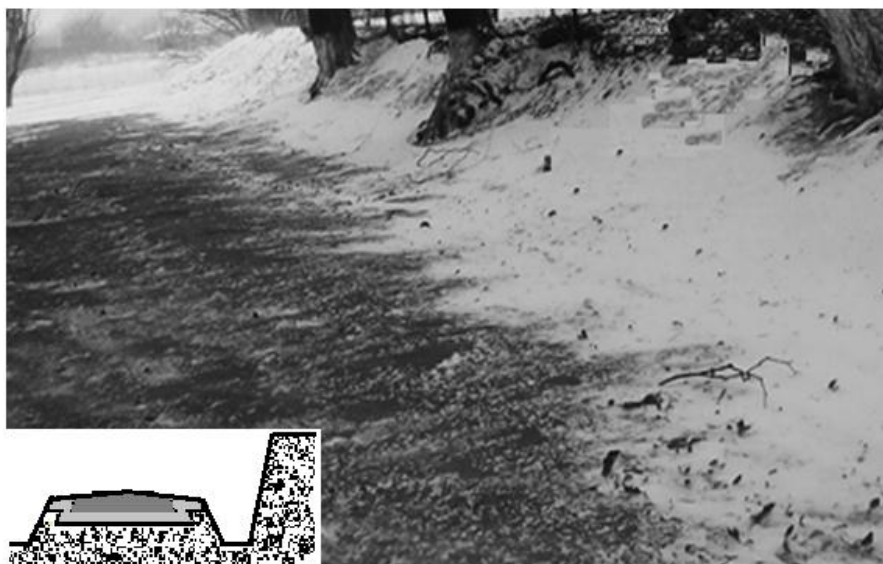


Рис.3.24. Характер преципітації вільнодиспергованого у повітрі “снігового” грубодисперсного аерозолю при розташуванні автомобільної дороги у виїмці

Ландшафтним розвитком наведеного на рис.3.24 варіанту є варіант облаштування профілю автомобільної дороги двобічною газо-пилозахисною смугою, яка виконує функції двобічного лінійного геохімічного бар'єру (рис.3.25). В цьому випадку, завдяки формуванню “долинних” вітрових потоків та інверсійного шару на зрізі швидкостей фонового і “долинного” вітру, забезпечується надійне транспортування турбулентних роторів газо-пилових аерозолів, які продукуються автотранспортними потоками, до аверсних сторін газо-пилозахисних лісосмуг. Адгезійні та лакунарні властивості деревних і чагарникових насаджень газо-пилозахисних лісосмуг зумовлюють інтенсивне депонування пилових забруднювачів масивом смуги і, як наслідок, гарантований захист прилеглих до дороги об'єктів природно-техногенної геоекосистеми.



Рис.3.25. Двобічна газо-пилозахисна лісосмуга автодороги, як розвиток розташування автомобільної дороги у виїмці

Штучно створювані ландшафтні елементи автотранспортної мережі природно-техногенних геоекосистем мають передбачати детальне їх обґрунтування на стадії розробки проектної документації. Адже конструкційні параметри транспортної мережі (в тому числі і параметри, що визначають рівень екологічної безпеки), закладені на стадії проектування на

подальших стадіях циклів задоволення потреб (стадії виготовлення та експлуатації) можливо лише зберегти, але ніяк не покращити. Так, типові помилки при проектуванні деревно-чагарникових газо-пилозахисних смуг (зокрема, проектування однобічних геохімічних бар'єрів) не лише зумовлюють погіршення транспортно-експлуатаційних характеристик автодорожньої мережі, але і призводять до зниження екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми вцілому (рис.3.26). В цьому випадку виникають додаткові “коридори” інтенсивної неконтрольованої міграції газо-пилових викидів автотранспортних потоків, які поширюються на значні відстані. До того ж, в разі необґрунтованих рішень при проектуванні газо-пилозахисних лісосмуг автодорожньої мережі, в зимовий період року під час інтенсивних хуртовин на поверхні полотна проїжджої частини автодороги виникають численні снігові “перемети”, які не лише погіршують транспортно-експлуатаційні умови руху автотранспортних потоків, але і призводять до інтенсифікації дезінтегрування (руйнування) конструкційних матеріалів автодороги.



Рис.3.26. Приклад нераціональної ландшафтної організації смуги відведення автомобільної дороги з однобічним геохімічним бар'єром

Найнебезпечнішим варіантом, з точки зору неконтрольованої міграції забруднювачів в межах природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою

автотранспортною мережею, є варіант який передбачає наявність значної кількості розривів в неперервних масивах газо-пилозахисних лісосмуг, що зумовлює виникнення, так званих “крайових ефектів” (рис.3.27). “Крайові ефекти” в місцях розриву суцільної деревно-чагарникової посадки призводять не лише до виникнення додаткових зон турбулентності, але і створюють “коридори” інтенсивного неконтрольованого перенесення забруднювачів, а в зимовий період року сприяють утворенню “переметів” на проїжджій частині автомобільних доріг.



*Рис.3.27. Утворення снігового “перемету”
внаслідок впливу “крайового ефекту” в зоні розриву суцільності
масиву газо-пилозахисної смуги автомобільної дороги*

На відміну від розглянутого вище варіанту розташування автомобільної дороги у виїмці, специфічні ландшафтні умови вимагають також і спорудження окремих ділянок автомобільних доріг на насипу. В цьому випадку утворювані турбулентні ротори аерозолі газо-пилової хмари викидів автотранспортного потоку залучаються до фонових повітряних потоків і мігрують не лише за межі смуги відведення, але і далеко за межі резервних смуг автодорожньої мережі. Саме про такий

характер міграційних процесів свідчить їх індикація, яку виконано на підставі аналізу преципітації снігових опадів в межах смуги відведення автомобільної дороги (рис.3.28).



Рис.3.28. Характер преципітації вільнодиспергованого у повітрі “снігового” грубодисперсного аерозолу при розташуванні автомобільної дороги на насипу (<https://www.ukrinform.ua>)

Результати опосередкованої ідентифікації аерозолу газо-пилової хмари викидів, яка продукується автотранспортним потоком, в межах смуги відведення (резервно-технологічної смуги) автомобільної дороги, отримані методом індикації вільнодиспергованого у повітрі “снігового” грубодисперсного аерозолу, є адекватними результатам аналітичних досліджень і визначають залежність характеру міграції, адгезії та депонування забруднювачів конкретним ландшафтним умовам природно-техногенної геоекосистеми.

3.7. Розроблення інформаційної моделі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги

На підставі аналітичних та експериментальних досліджень динаміки процесів масопереносу і депонування забруднювачів, продукованих автотранспортними потоками, розроблено інформаційно-графічну модель і

вербальний опис процесів міграції, адгезії та депонування диспергованих у повітряному аерозолі речовин газо-пилової хмари викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг [250]. Найтипівішим варіантом такої моделі є інформаційно-графічна модель резервно-технологічної смуги автомобільної дороги, яка містить двобічну газо-пилозахисну лісосмугу деревно-чагарникових насаджень у вигляді лінійного двобічного геохімічного бар'єру. Зазначену модель наведено на рис.3.29 – план резервної смуги автодороги і рис.3.30 – поперечний переріз її (смуги) профілю. Вербальний опис такої моделі полягає в наступному.

Фонові повітряні потоки (рис.3.29) в поєднанні з переміщеннями повітряних мас, які виникають в результаті руху автотранспортних потоків, формують ламінарну складову рухів повітря, яка орієнтована вздовж проїжджої частини автомобільної дороги, так званий “долинний вітер”. Навіть за умови повного штилю фонових вітрів, “долинний вітер” завжди виникає внаслідок механічного переміщення повітряних мас, який зумовлено динамікою протилежно спрямованих автотранспортних потоків.

На зрізі швидкостей зустрічних автотранспортних потоків виникають зони турбулентності, які призводять до виникнення роторів (див. п.3.1), в яких відбувається початкова дифузія дисперсної фази газо-пилової хмари викиду продукovanого автотранспортними потоками. Аналогічний процес формування роторів турбулентності спостерігається і на зовнішніх сторонах автотранспортних потоків (з боку обочин проїжджої частини автодороги), що зумовлено різницею швидкостей повітряних мас прилеглих до поверхонь ландшафту і швидкостей автотранспортних потоків. Динамічні характеристики роторів турбулентності аерозолів газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортними потоками, значно інтенсифікуються в результаті взаємодії з окремими елементами ландшафту в межах резервно-технологічної смуги автомобільної дороги (рис.3.5).

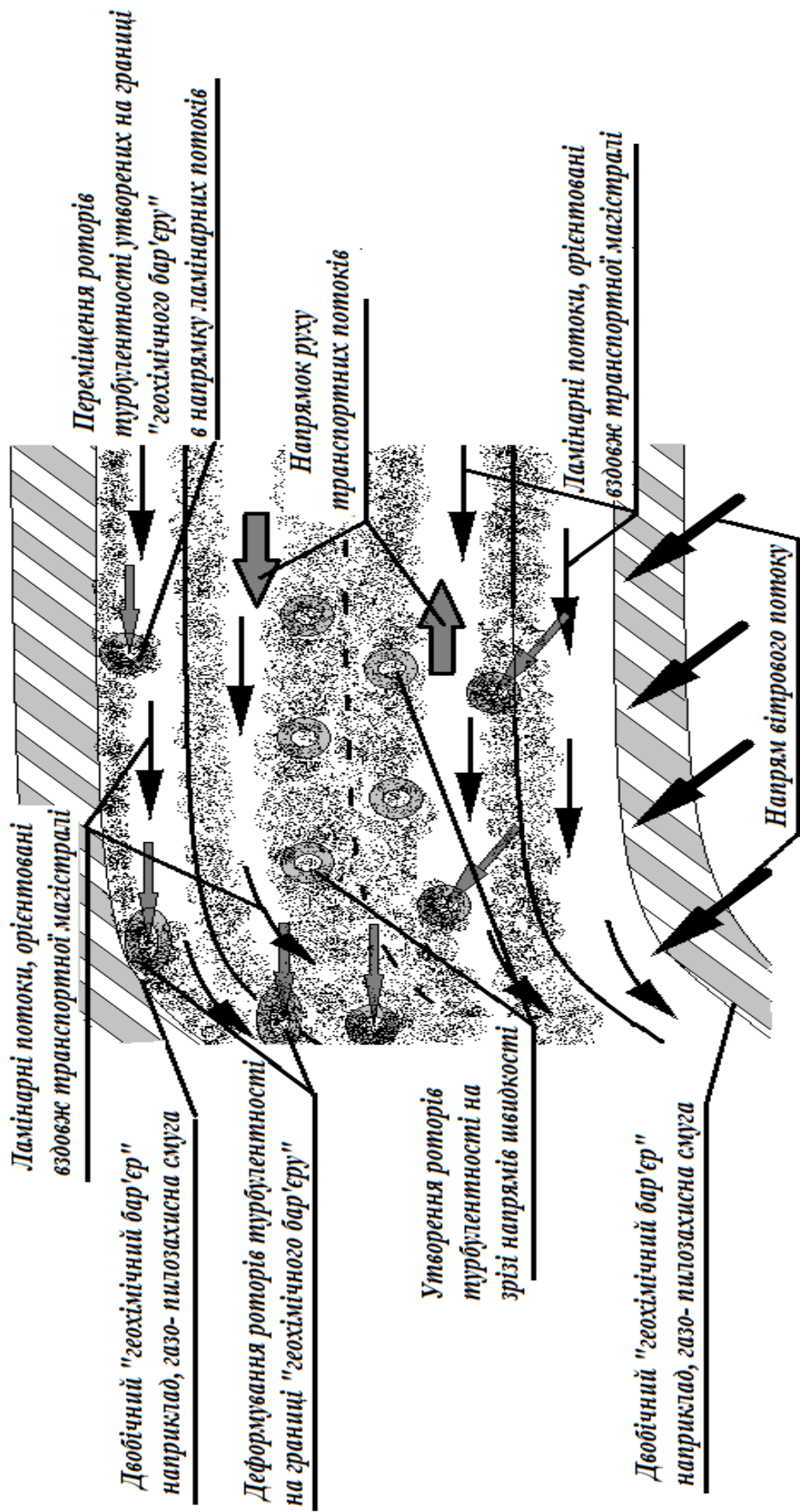


Рис. 3.29. Характерні особливості формування повітряних потоків "долинного вітру" в плані резервно-технологічної смуги автомобільної дороги

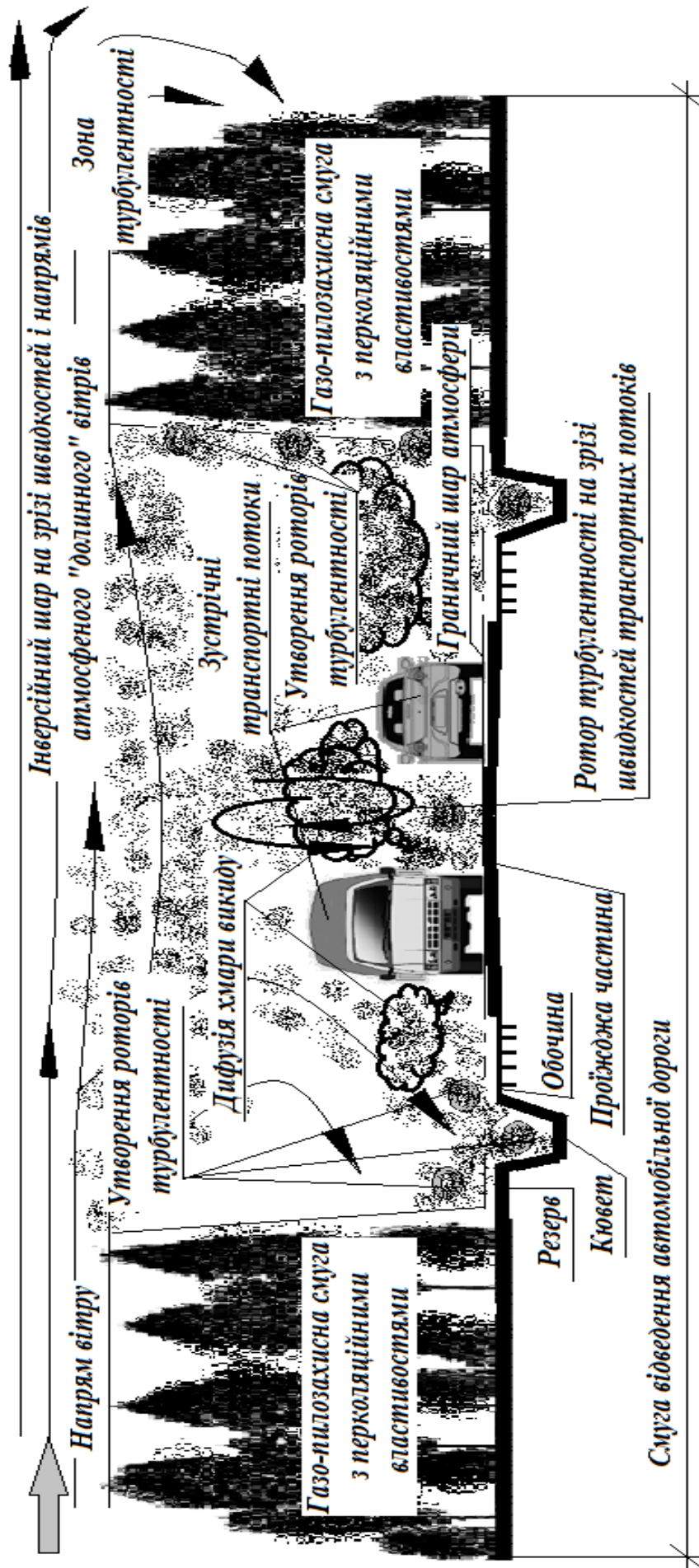


Рис. 3.30. Характер ламінарно-турбулентної міграції та дифузії повітряного аерозолу газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортними потоками, в профілі поперечного перерізу профілю автомобільної дороги

Ротори аерозоліу газо-пилової хмари викидів, продуковані автотранспортними потоками, під дією ламінарної складової повітряного потоку (під дією “долинного вітру”) переміщуються в горизонтальних площинах до контакту з поверхнями бічних елементів ландшафту резервно-технологічної смуги автомобільної дороги, якими в даному випадку є двобічний геохімічний бар’єр, утворений аверсними сторонами захисних лісосмуг. Окрім горизонтальних переміщень, аерозоль газо-пилової хмари викиду набуває вертикальних прискорень внаслідок впливу вертикального градієнту імпульсу швидкостей, який зумовлено різницею температур по висоті профілю ландшафту автомобільної дороги (температура аерозоліу газо-пилової хмари викиду завжди суттєво більша за температуру навколишнього повітря). При цьому, в процесі переміщення роторів аерозоліу газо-пилової хмари викидів, під дією відцентрових сил у роторі відбувається дифузія аерозоліу. Мінеральна складова аерозольного ротору, яка має масу більшу за масу газо-повітряної суміші хмари, зосереджується на периферії ротора і залучається до процесу адгезії на поверхнях ландшафтних об’єктів.

Внаслідок вертикальних переміщень елементарних об’ємів роторів газо-пилової хмари викиду з від’ємним прискоренням ($\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} < 0$), стратифікація атмосфери у профілі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги визначається як стійка на відміну від байдужої стратифікації атмосфери ($\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$), яка розташована над верхнім зрізом профілю автодороги (окреслено верхівками гілчасто-листяної крони дерев головної породи газо-пилозахисної лісосмуги автодороги). В результаті у вертикальному профілі поперечного перерізу резервно-технологічної смуги автомобільної дороги утворюються дві зони, які відрізняються за характером стратифікації, границю поміж якими є умовна площина “зрізу” поміж напрямком фонового повітряного потоку і напрямком “долинного вітру”.

Перебуваючи під дією гравітаційних, інерційних та відцентрових чинників, мінеральна фаза ротору аерозолі газо-пилової хмари викиду, яка динамічно контактує з фрактальними поверхнями ландшафтних об'єктів різної шорсткості (dh), залучається до процесів адгезії на цих поверхнях. В разі контакту аерозолі газо-пилової хмари викиду з аверсною поверхнею захисної смуги (рис.3.17), під дією динамічного тиску повітряних потоків (W), аерозоль залучається до переміщення (V) в лакунарних порожнинах деревно-чагарникових насаджень смуги, яка має перколяційну структуру (рис.3.31).

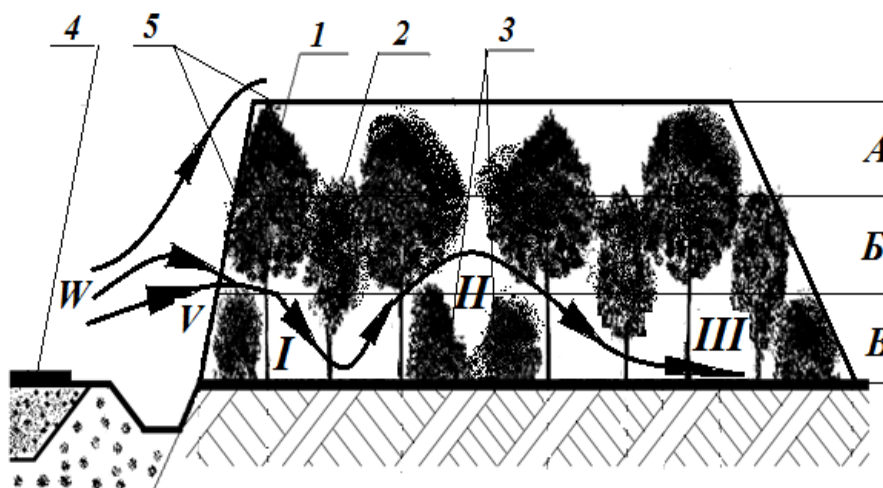


Рис.3.31. Газо-пилозахисна смуга з перколяційною організацією структури: 1 – головна порода; 2 – супутня порода; 3 – чагарник; 4 – полотно автомобільної дороги; 5 – трапецієвидний контур поперечного профілю смуги V , W – траєкторії повітряного потоку; $I \rightarrow II \rightarrow III$ – лабіринт лакунарних порожнин; A , B , B – яруси (фітогоризонти) лісосмуги

Послідовне покрокове зниження динамічного тиску P в лабіринті лакунарних порожнин газо-пилозахисної лісосмуги (ф-ла 3.51) зумовлює інтенсифікацію процесів преципітації та адгезії мінеральної складової аерозолі з подальшим її депонуванням безпосередньо в межах лісозахисної смуги.

Газова складова газо-пилової хмари викиду, після сепарації з неї диспергованих мінерального пилу і сажі, під дією різниці температур газо-

повітряної суміші і повітря в профілі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги, переміщується доверху де контактує з інверсійним шаром, який утворено на “зрізі” швидкостей і напрямків фонового повітряного потоку і “долинного вітру” (рис.3.30). Переважно ламінарний характер руху фонового вітру за байдужої стратифікації атмосфери ($\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$) зумовлює інтенсивну дифузію шкідливих газоподібних викидів, які продукуються автотранспортними потоками, у фонових повітряних масах. При цьому, для забезпечення максимально можливої інтенсивності відновлення газового складу “стандартної атмосфери” необхідною умовою є дотримання чіткого (з точки зору морфології дерев головної породи) верхнього контуру газо-пилозахисної лісосмуги.

Отже, розробка моделі оптимальної (з точки зору екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми) конструкції ландшафту резервно-технологічної смуги автомобільної дороги має забезпечити максимально інтенсивне депонування викидів автотранспортних потоків по таких інгредієнтах як мінеральний та аерозольний пил і сажа в залежності від категорії автомобільної дороги та інтенсивності автотранспортних потоків. Разом з тим, газоподібні викиди, які продукуються автотранспортними потоками (CO , CO_2 , N_xO_y , ароматичні та поліциклічні вуглеводні приведені до $C_{20}H_{12}$) мають бути максимально повно залучені до процесів дифузії у фонову атмосферу, склад якої за межами резервно-технологічної смуги автодороги має максимально наближатись до значень “стандартної” атмосфери. Значення граничних річних мас викидів, які продукуються автотранспортними потоками (в залежності від категорії автомобільної дороги та інтенсивності автотранспортного потоку), визначені на підставі теоретичних та експериментальних досліджень в розділі II, наведено відповідно в таблиці 2.7 і в таблиці 2.9.

3.8. Сезонні особливості динаміки процесів масопереносу в межах смуги впливу автодороги

Сезонні особливості динаміки міграційних процесів та депонування забруднювачів в ландшафтах природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею зумовлені переважно циклічною ритмікою фенологічних змін відповідних фітоценозів і мозаїчним характером трансформації мезоклімату, який формується ансамблем топокліматів окремих ділянок автомобільних доріг автотранспортної мережі. Сезонні особливості фітоценозів визначаються сезонною ритмікою погодних умов і полягають у циклічності змін ажурності гілчасто-листяної складової деревно-чагарникових насаджень і трав'яного покриву ландшафту, що особливо помітно на ділянках автомобільних доріг, які облаштовані газо-пилозахисними лісосмугами. При цьому, якщо знехтувати флуктуаціями погодних умов в окремі роки, сезонна ритмічність в динаміці фенологічних змін рослинних угруповань спостерігається щороку з надзвичайно високим рівнем ймовірності [37].

Збільшення ажурності крони (гілчасто-листяної частини) деревно-чагарникових насаджень в зимовий період року знижує значення шорсткості поверхонь ландшафтних об'єктів і підвищує їх лакуарність, а отже і фільтрувальні властивості. Це призводить до зміни умов дифузії та ландшафтної адгезії забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками, а збільшення лакуарності деревно-чагарникових насаджень призводить до інтенсифікації міграційних процесів в межах природно-техногенної геоекосистеми.

Оцінювання сезонної динаміки ажурності крони деревно-чагарникових насаджень лісової газо-пилової смуги, як характерного об'єкту ландшафту смуги відведення автомобільної дороги, може бути реалізоване на підставі значень відношення контрастності світлових сонячних потоків на рівні ґрунту на відкритому місці та в тіні крон деревно-

чагарникових насаджень лісосмуги. Серію вимірювань освітленості за вищезазначеними варіантами реалізовано за допомогою люксметра Ю-116-8.401-80 (рис.3.32).

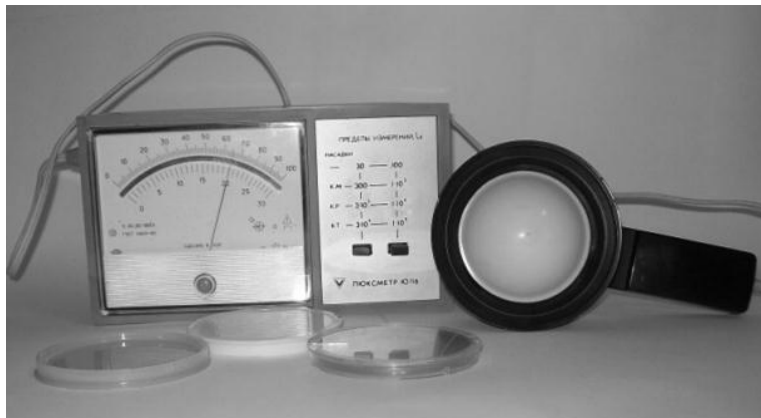


Рис.3.32. Люксметр Ю-116-8.401-80

За результатами оцінювання ажурності K^a крони деревно-чагарникових насаджень газо-пилозахисних смуг автомобільних доріг в зимовий і літній періоди року встановлено: $K^a \sim 0,11 - 0,28$ (червень) та $K^a \sim 0,68 - 0,74$ (лютий). При цьому, модельна ажурність аверсної поверхні крони деревно-чагарникових насаджень, у відповідності до фракталу Пеано-Пойа, який наведено на рис.3.17 з розмірністю $D=1,8797$, визначиться як:

$$K^a = D_T - D = 2 - 1,8797 = 0,1203 \quad (3.71)$$

де D_T – топологічна модельна розмірність аверсної поверхні газо-пилозахисної лісосмуги.

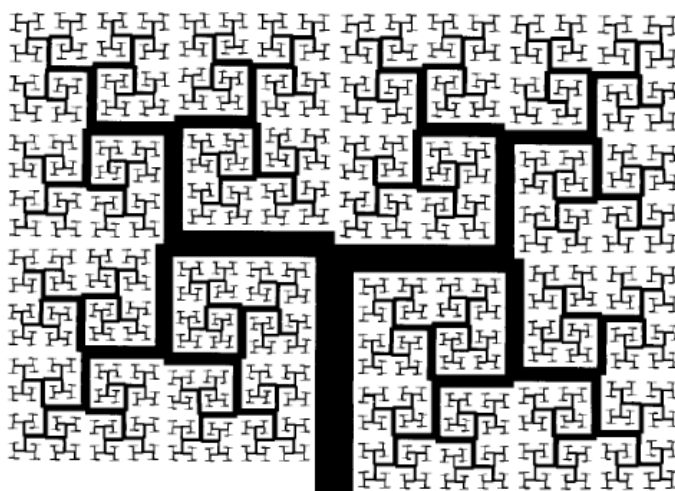
Як і будь-який неоднорідний (не масштабно-інваріантний) фрактал, який визначено на інтервалі $]0; D[$ модель поперечного перерізу профілю гілчасто-листяної крони деревно-чагарникових насаджень матиме деякий скейлінговий залишок [65], в даному випадку у вигляді листя “фрактальної крони”. Моделлю гілчасто-листяної частини крони є результат складної побудови фракталу Коха (рис.3.33), який передбачає на кожному

послідовному етапі n побудови, зміну співвідношення поперечного розміру d_i гілки генератору до її довжини l в бік початку додатного відкритого інтервалу $]0; D[$, тобто:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{d_i}{l} = 0 \quad (3.72)$$

Співвідношення поміж діаметрами d та d_1, d_2 гілок двох суміжних етапів побудови фракталу Коха визначиться діаметричним показником Δ (рис.3.34) [127]:

$$d^\Delta = d_1^\Delta + d_2^\Delta \quad (3.73)$$



*Рис.3.33. Варіант побудови неоднорідного фракталу Коха
(модель гілчасто-листяної частини крони дерева)*

Для неоднорідного фракталу двомірної моделі (поперечний переріз профілю деревно-чагарникової захисної лісосмуги) гілчасто-листяної частини крони, діаметричний показник Δ , який і визначає його фрактальну розмірність $D_{\text{гілок}}$, становитиме [117, 127]:

$$\Delta = D_{\text{гілок}} = \sqrt{2} = 1,4142 \quad (3.74)$$

Тоді скейлінговий залишок (фрактальна розмірність) $D_{\text{листя}}$, листкової частини крони становить:

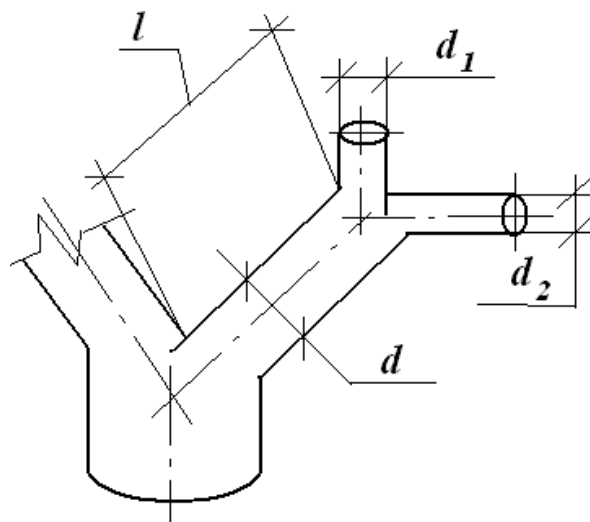


Рис.3.34. Визначення діаметричного показника моделі гілчастої частини крони

$$D_{\text{листя}} = D - D_{\text{гілок}} = 1,8797 - 1,4142 = 0,4655 \quad (3.75)$$

Для оцінки порівняльної ефективності захисних властивостей деревно-чагарникових насаджень газо-пилрозахисної лісосмуги в зимовий період приймаємо значення ажурності гілчасто-листяної крони лісосмуги $K_{\text{літнє}}^a = 1$. Тоді, ефективність ϑ захисних властивостей лісосмуги в зимовий період становитиме:

$$\vartheta = \frac{K_{\text{зимове}}^a}{K_{\text{літнє}}^a} \quad (3.76)$$

і з урахуванням (3.75) отримуємо:

$$\begin{aligned} \vartheta &= \frac{K_{\text{зимове}}^a}{K_{\text{літнє}}^a} = \frac{K_{\text{зимове}}^a}{1} = \frac{D - D_{\text{листя}}}{D} = \frac{D_{\text{гілок}}}{D} = \\ &= \frac{1,8789 - 0,4655}{1,8789} = 0,7524 \end{aligned} \quad (3.77)$$

Таким чином, збільшення ажурності крони деревно-чагарникової газо-пилрозахисної лісосмуги, яка складена з листяних порід дерев і чагарників, в зимовий період призводить до зниження захисних

властивостей лісосмуги (стосовно міграційних процесів масопереносу забруднюючих інгредієнтів) по модельному показнику ϑ на 24-25% в порівнянні з літнім періодом.

Сніговий покрив у зимовий період року зумовлює і специфіку процесів депонування пилових забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками. Мінеральний пил і сажа депонуються в масиві снігового (кріогенного) покриву з подальшою міграцією талими водами, яка передбачає не лише вертикальну, але і горизонтальну фільтрацію колоїдних розчинів забруднюючих інгредієнтів, накопичених у сніговому масиві протягом зимового періоду. Рідкі розчини забруднювачів надходять в низовини рельєфу (в тому числі і штучно створені, наприклад у кювети конструкції автомобільної дороги), де відповідно акумулюються протягом всього періоду експлуатації автодороги.

3.9. Висновки за розділом III

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень динаміки процесів масопереносу і депонування викидів забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг можна зробити такі висновки:

1. Результатом сукупності неперервних термодинамічних циклів згоряння паливних матеріалів і взаємодії рушіїв з робочою поверхнею автодороги, які забезпечують транспортно-технологічне функціонування автотранспортних потоків, є множина одномоментних викидів в атмосферне повітря у вигляді хмари газо-пилового аерозолі. Мірою дифузії газо-пилового аерозолі в атмосферне повітря є маса диспергованих у хмарі викиду мінеральних і газоподібних речовин, яка зазнає дифузійного розсіювання за одиницю часу через одиницю площі хмари.

2. Дивергентний характер дифузійного потоку диспергованої фази аерозолію визначає умови формування каскаду роторів турбулентності газо-пилової хмари викидів, які продукуються автотранспортними потоками. При цьому, ротори турбулентності аерозолію формуються на “зрізах” швидкостей і напрямків зустрічних автотранспортних потоків та на поверхнях рельєфу окремих об’єктів ландшафту резервно-технологічних смуг автомобільних доріг.

3. Ротори турбулентності аерозолів газо-пилових хмар викидів, які продукуються автотранспортними потоками, відрізняються каскадною фрактально-інваріантною організацією структури і мігрують (в складі повітряних ламінарно-турбулентних потоків) в горизонтальному і вертикальному напрямках до контакту з поверхнями рельєфу ландшафту природно-техногенної геоекосистеми або з інверсійними шарами атмосфери.

4. Обертний рух ротору аерозолію зумовлює інтенсифікацію процесу інерційної сепарації мінеральної складової газо-пилової хмари викиду. Динаміка механічних режимів роторів турбулентності газо-пилових повітряних аерозолів в визначається геометричними параметрами та взаємним розташуванням поверхонь окремих об’єктів ландшафту резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

5. Внаслідок трансформації ландшафту і термодинамічних умов атмосфери, які зумовлені штучною деформацією рельєфу автодорожньою мережею і транспортно-технологічними особливостями функціонування автотранспортних потоків, порушується загальна фоновіа (в тому числі і температурна) стратифікація атмосфери, що призводить до переорієнтації природних ламінарно-турбулентних напрямків повітряних потоків. При цьому, виникають додаткові (наприклад “долинні”) вітрові потоки, зони інтенсифікації турбулентності, спостерігається утворення нехарактерних інверсійних шарів атмосфери тощо.

6. Для забезпечення надійного депонування пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, та для забезпечення умов відновлення структури газового складу фонові атмосфери до параметрів властивостей “стандартної” атмосфери, ландшафтні параметри конструкції автодороги мають реалізовувати оптимальну стратифікацію граничних шарів атмосфери прилеглих до поверхонь рельєфу окремих ландшафтних об’єктів, в тому числі і штучно створюваних, в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг.

7. Процеси адгезії та депонування мінеральної складової аерозолу газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, визначається шорсткістю поверхонь не лише природних ландшафтних об’єктів, але і поверхонь штучно створюваних об’єктів конструкції поперечного профілю резервно-технологічної смуги автодороги, топологічна структура яких має бути фрактально узгодженою.

8. Основна особливість динаміки міграції та депонування забруднювачів, які продукуються автотранспортними потоками, в зимовий період полягає в інтенсифікації процесів атмосферного масопереносу в природно-техногенних геоекосистемах, що пов’язано з ритмікою циклічної зміни показника ажурності крон деревних і чагарникових насаджень та зміною шорсткості підстильних поверхонь ландшафту внаслідок формування снігового покриву.

РОЗДІЛ IV

ЕКОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

4.1. Функціональні ознаки автотранспортного потоку

Автотранспортним потоком є множина (C) автотранспортних засобів, які беруть участь у спільному русі вздовж деякої ділянки автомобільної дороги і характеризуються такими фізичними ознаками як габарит (G), динамічний габарит (GD), інтервал руху (I), протилежно напрямлені підмножини (C_1 і C_2) транспортних засобів тощо [145]. Рух автотранспортного засобу в складі автотранспортних потоків значно відрізняється від руху відособленого транспортного засобу, що зумовлює зміну навантажувально-швидкісних режимів роботи двигунів, а отже і показників витрат палива та викидів шкідливих речовин [242]. Основними чинниками, які спричиняють вплив автотранспортних потоків на навколишнє середовище є: склад і структура автотранспортних засобів у потоці, швидкість, навантажувальний режим, інтенсивність і щільність руху, технічний стан і експлуатаційні властивості окремих фізичних одиниць потоку, хімічний склад пального.

Окрім суто технічних чинників автотранспортного потоку, визначальним чинником міграційних процесів забруднювачів в межах природно-техногенної геоекосистеми (смуги впливу автомобільної дороги) є характеристики автотранспортної мережі. До цих характеристик необхідно віднести: показник автотранспортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми, ландшафтні особливості трасування та конструкційні параметри автомобільної дороги, її технічний стан (в тому числі за показником пошкодження дорожнього покриття) та експлуатаційні показники, відповідність щодо рівня інтенсивності автотранспортного потоку і питомого навантаження на дорожні покриття, наявність газо-

пилозахисної інфраструктури в межах резервно-технологічної смуги, локальна варіативність (деформація) усталеного функціонального стану автотранспортного потоку на ділянках автомобільної дороги з особливими умовами руху (перехрестя та вузли автотранспортної мережі, спуски-підйоми, серпантини, тунелі, мостові переходи, екодуки).

Розглянемо фрагмент автотранспортного потоку, як спрямовану сукупність (множину) автотранспортних засобів на автодорозі (за віссю $x-x$), підмножини (C_1 і C_2) яких рухаються в протилежних напрямках (рис.4.1). При цьому вважаємо, що внесок підмножин C_1 і C_2 дорівнює кількості частки їх по довжині, які припадають на ділянку A_x-B_x автомобільної дороги. Позначимо цю кількість через $R(t, x_{A-B})$.

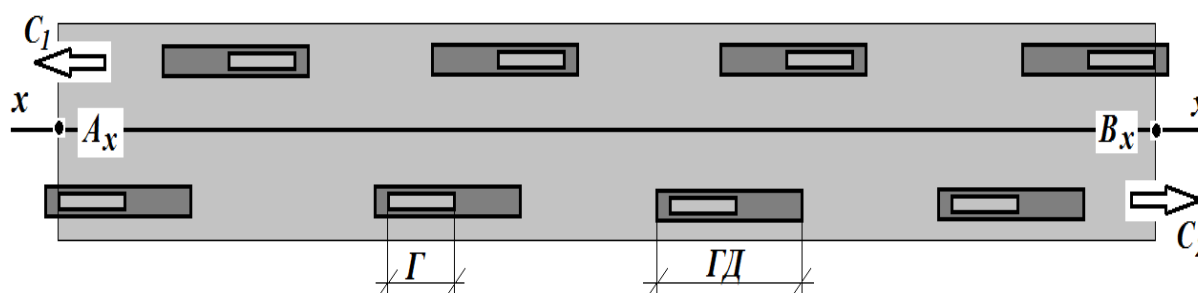


Рис.4.1. Фрагмент автотранспортного потоку, підмножини (C_1 і C_2) якого рухаються вздовж $x-x$

Оскільки кожний транспортний засіб з $R(t, x_{A-B})$ визначений множиною дійсних чисел на заданому інтервалі, то функція $R(t, x_{A-B})$ неперервна по t , є гладкою, а отже має кусочно-неперервні похідні першого і другого порядків. Таким чином $R(t, x_{A-B})$ є кусочно-лінійною по t (за умови усталеної швидкості автотранспортного потоку). В цьому випадку:

- інтенсивність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial t} = q(t, x) \quad (4.1)$$

– щільність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \rho(t, x) \quad (4.2)$$

Звідси швидкістю автотранспортного потоку є функція:

$$V(t, x) = \frac{q(t, x)}{\rho(t, x)} \quad (4.3)$$

Якщо швидкість V автотранспортного потоку є відомою функцією його щільності ρ , отримуємо:

$$V = f(\rho) \quad (4.4)$$

Будемо вважати вираз (4.4) функцією стану автотранспортного потоку. Тому:

$$q(t, x) = \rho(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (4.5)$$

а також:

$$\frac{\partial R}{\partial t}(t, x) = \frac{\partial R}{\partial x}(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (4.6)$$

Відповідно (4.6) необхідно розрізняти три основних режими руху автотранспортних засобів:

- вільний рух – характеризується малими інтенсивностями, відсутністю взаємних перешкод поміж окремими автотранспортними засобами і відповідною швидкістю V_c . Незначна щільність автотранспортних засобів зумовлює нещільну кореляцію поміж V_c та ρ ;
- колективний рух (колективний потік) – визначається зростанням щільності ρ автотранспортного потоку, колективна швидкість V_k автотранспортних засобів визначається проектною пропускною

здатністю автодороги. Кореляційний зв'язок V_c та ρ є достатньо щільним;

- насичений (синхронізований) потік – характеризується суттєвим взаємовпливом окремих автотранспортних засобів, швидкість автотранспортного потоку V_n тісно корелює з інтенсивністю q та щільністю ρ . Характерною рисою синхронізованого автотранспортного потоку є суттєве варіювання значення середньої швидкості потоку. Визначального значення набуває технічний та експлуатаційний стани автомобільної дороги.

Для подальшого аналізу режимів колективного руху автотранспортних засобів узгоджуємо відповідність розрахункової інтенсивності q потоку з технічною класифікацією автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007. Представивши значення щільності ρ , інтенсивності q та характерної швидкості V сукупності автотранспортних засобів на фрагменті A_x-B_x автомобільної дороги (рис.4.1), відповідно ДБН В.2.3-4:2007 С.211, в основних одиницях SI (метр, секунда), функція стану автотранспортного потоку (4.4) може бути представленою у матричній формі у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Функціональні ознаки стану автотранспортних потоків

Категорія автомобільної дороги	Швидкість автотранспортного потоку, м/с	Інтенсивність потоку, 1/с	Щільність потоку, 1/м
1-а	41	> 0,17	> 0,005
1-б	38	> 0,17	> 0,004
2	33	0,17	0,005
3	27	0,07	0,003
4	25	0,03	0,001
5	25	0,003	0,0001

Якщо визначити категорію автомобільної дороги деяким бальним показником K , який набуває значень $K = 1a; 1б; 2; 3; 4; 5$ і враховуючи кусочно-лінійний характер функцій (4.3) і (4.4) за числовими значеннями матриці, які наведено в таблиці 4.1, може бути побудована поверхня відгуку в координатах $K \sim \rho \sim q$ (рис.4.2).

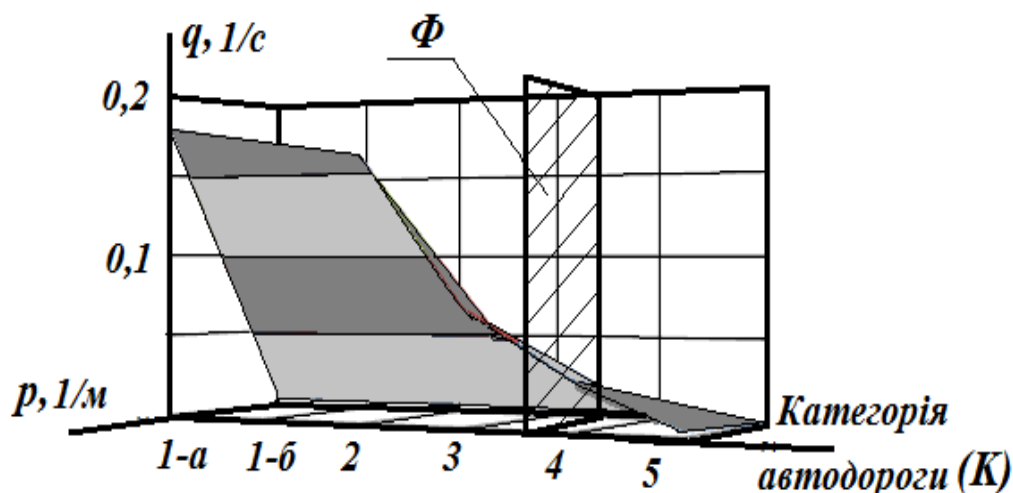


Рис.4.2. Поверхня відгуку функціональних ознак стану автотранспортних потоків в координатах: категорія автодороги (K) \sim щільність автотранспортного потоку (ρ) \sim інтенсивність автотранспортного потоку (q)

Графічний аналіз висхідного лівостороннього тренду значень q та ρ (рис.4.2) в напрямку зворотному зростанню координаті K чітко визначає координати характерної площини Φ , яка відокремлює режим вільного руху автотранспортних засобів від колективного та синхронізованого автотранспортних потоків. Координати цієї площини за значеннями q та ρ становлять:

$$\begin{cases} q = 0,035 [1/с] \\ \rho = 0,0021 [1/м] \end{cases} \quad (4.7)$$

Наведені в (4.7) значення інтенсивності q та щільності ρ автотранспортного потоку визначають мінімальну швидкість V

автотранспортних засобів, за якої відбувається перехід від вільного руху до колективного та синхронізованого потоків, яка відповідно до (4.3) становитиме:

$$V = \frac{q}{\rho} = \frac{0,035}{0,002} = 17,5 \text{ [М/с]} \quad (4.8)$$

Мінімальні значення V , q та ρ , за яких характер руху автотранспортних засобів набуває ознак колективного руху з подальшою синхронізацією автотранспортного потоку, наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких автотранспортний потік набуває характерних ознак

Інтенсивність автотранспортного потoku, авт./добу	Щільність автотранспортного потoku, авт./км	Швидкість автотранспортного потoku, км/год.
3024	2,1	63,0

Аналіз даних за показниками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V автотранспортних потоків, які наведено в таблиці 4.2, свідчить про те, що лише автомобільні дороги категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 можуть бути віднесені, в строгому розумінні, до автодоріг з колективним синхронізованим автотранспортним потоком у відповідності до ДБН В.2.3-4:2007 С.213 “Споруди транспорту. Автомобільні дороги”. Отримані результати щодо мінімальної межі характерних ознак автотранспортного потоку повністю збігаються з результатами розрахунків категорії небезпечності автомобільних доріг, як об’єктів господарської діяльності (див. таблиця 2.8) і відповідають вимогам галузевих будівельних норм України ГБН В.2.3-218-007:2012 “Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування”.

4.2. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі

Одним з найінформаційніших методів аналізу територіальних структур (в тому числі і комунікаційних структур) є аналіз опорного каркасу [253]. З точки зору системного аналізу територіальної комунікаційної структури, однією з визначальних ознак цієї структури є автодорожня мережа, як складова транспортно-комунікаційних транзитних “коридорів” обміну енергією і речовиною в системі, які визначають деяку природно-техногенну геоекосистему як єдине геодинамічне ціле. Загалом “транспортні функції” в природно-техногенних геоекосистемах виконують як природні об’єкти: долини річок, вододіли, інші елементи ландшафту, так і штучні споруди: автомобільні та залізничні шляхи сполучення, лінії електропередач, газопроводи та нафтопроводи, інші транспортні магістралі, які формують демографо-економічний каркас. Функціонування демографо-економічного каркасу неминуче призводить до негативної трансформації функціонування природного каркасу, в результаті чого порушується екологічний баланс всього природно-територіального комплексу. Отже, головною задачею еколого-технологічної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми є забезпечення екологічної рівноваги (екологічної безпеки) природно-територіального комплексу [220].

Структуру опорного каркасу мережі транспортно-комунікаційних зв’язків території України наведено на рис.4.3 [238]. В даному випадку опорний каркас є гіперграфом $G := (V, E)$, для якого виконуються умови: V – множина вершин або вузлів, E – множина ребер. Геометричною реалізацією такого графа є плоска фігура, що складається з непорожньої скінченної множини V точок (вершин) і скінченної множини E неорієнтованих (орієнтованих) відрізків ліній (ребер), які з’єднують деякі пари вершин V .

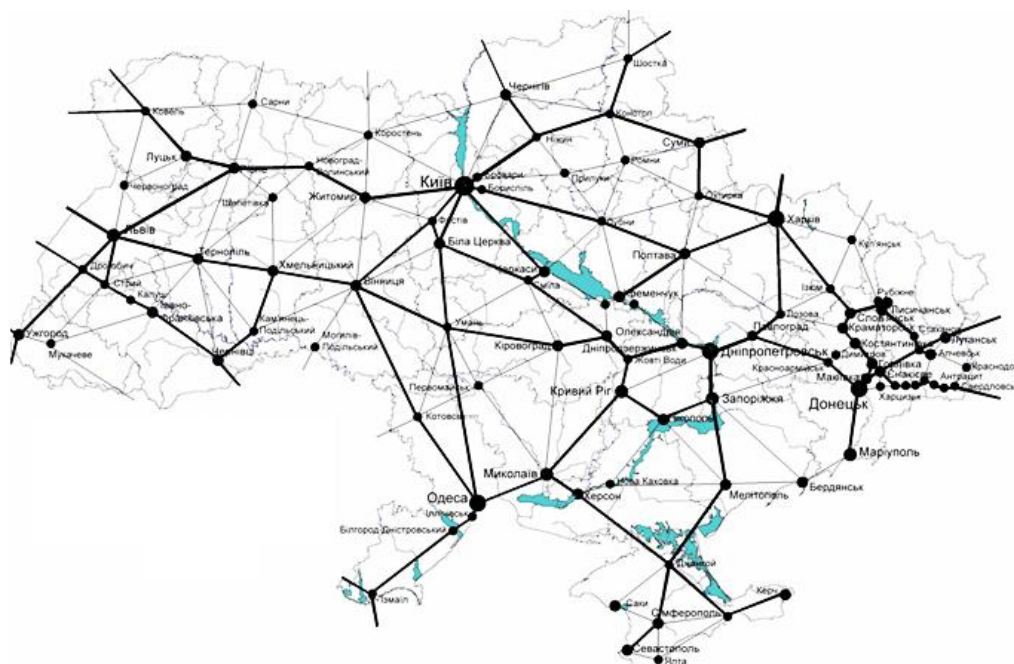


Рис.4.3. Граф транспортно-комунікаційного опорного каркасу природно-територіального комплексу території України

Еколого-технологічну оптимізацію опорного каркасу автодорожньої мережі (як приклад) виконуємо для Подільського регіону Хмельницької області, як для однієї з найбільш типових областей України за протяжністю автомобільних доріг .

Остовним підграфом автодорожньої мережі Хмельницької області початкового графу, який наведено на рис.4.3, є суграф, який містить визначену множину вершин і всі ребра інцидентні множині вихідного графу. Виокремлений підграф (суграф – в подальшому граф) автодорожньої мережі Хмельницької області з ребрами, які враховують автомобільні дороги категорій 2 і 3, наведено на рис.4.4 і може бути означений як:

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, E, F, G, K, R\} \\ E \ni \{AB, AF, AG, AD, AC, BE, CR, CK, CF, BF, BG\} \end{cases} \quad (4.9)$$

В межах графа функціонування розглядуваної природно-техногенної геоекосистеми чітко виокремлюється не повною мірою регулярний граф з

розімкненим в CD та DG циклом, який в загальному вигляді може бути описаний як (рис.4.5):

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, F, G\} \\ E \ni \{AB, AF, AC, AD, AG, CF, BF, BG\} \end{cases} \quad (4.10)$$

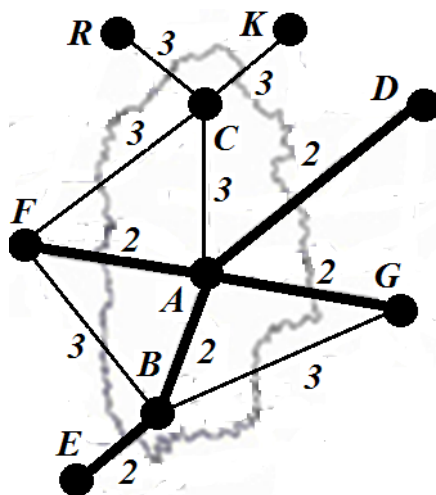


Рис.4.4. Граф автодорожньої мережі Хмельницької області з ребрами на яких визначено категорії автомобільних доріг

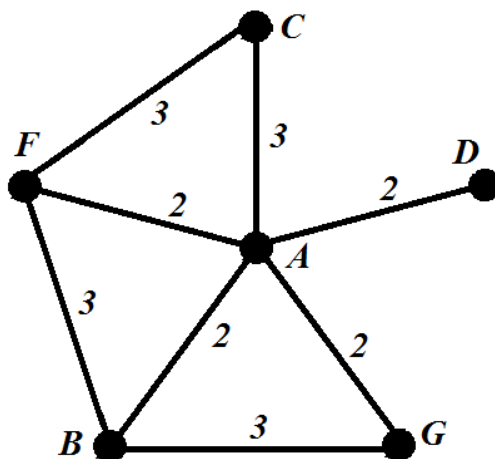


Рис.4.5. Суграф автодорожньої мережі Хмельницької області

На підставі правила доповнення графів, яке полягає в тому, що доповнення реалізується над тією самою множиною вершин, що і в початковому графі, а вершини з'єднуються ребром тоді і лише тоді, коли в початковому графі цього ребра немає, початковий суграф (рис.4.5) доповнюється ребром суміжного графу (рис.4.6).

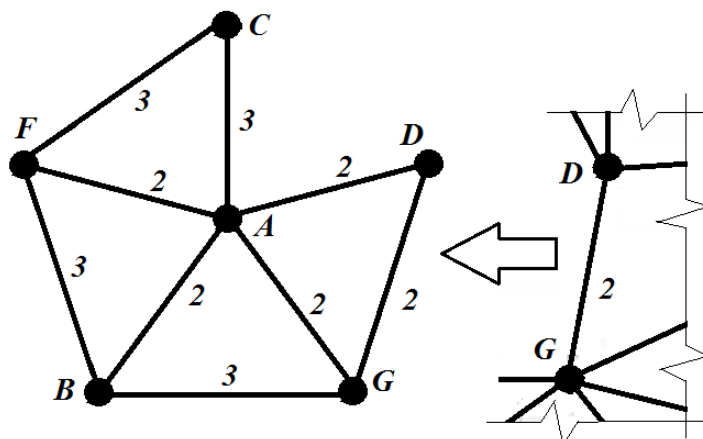


Рис.4.6. Доповнений суграф автодорожньої мережі Хмельницької області

Суграф, наведений на рис.4.6, описується як:

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, F, G\} \\ E \ni \{AB, AF, AC, AD, AG, CF, BF, BG, DG\} \end{cases} \quad (4.11)$$

Для отримання повного регулярного суграфу автодорожньої мережі Подільського регіону Хмельницької області необхідним є доповнення суграфу, який наведено на рис.4.6 ребром CD , який в даному випадку має сполучити вершини D (м. Житомир) та C (м. Шепетівка) відповідно до рис.4.3. Для реалізації такого варіанту може бути запропоновано транспортно-технологічну раціоналізацію маршруту: Житомир–Дениші–Дубрівка–Шепетівка. При цьому, ділянки зазначеного маршруту Житомир–Дениші протяжністю 21 км є частиною автомобільної дороги Н03 категорії 2 та Дубрівка–Шепетівка протяжністю 38 км – частиною автомобільної дороги Р49 категорії 3, а ділянка Дениші–Дубрівка протяжністю 77 км є автодорогою районного значення Т0612, Т0618 категорії 4. За умови проведення транспортно-технологічної оптимізації ділянки маршруту Дениші–Дубрівка, яка передбачатиме реконструкцію автомобільної дороги Т0612, Т0618 до категорії 3, довжина проєктованого ребра (рис.4.6) становитиме 136 км, що на 41 % менше за використовуваний в даний час маршрут Житомир–Бердичів–Гриців–Шепетівка протяжністю 229 км. Тим

самим еколого-транспортна раціоналізація автотранспортної мережі Подільського регіону Хмельницької області, яка передбачає організацію мережі автомобільних доріг у відповідності до 5-регулярного суграфа (рис.4.7):

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, F, G\} \\ E \ni \{AB, AF, AC, AD, AG, CF, BF, BG, DG, CD\} \end{cases} \quad (4.12)$$

дозволяє підвищити загальний рівень автотранспортної ємності регіону на 15,2 % (таблиця 4.3).

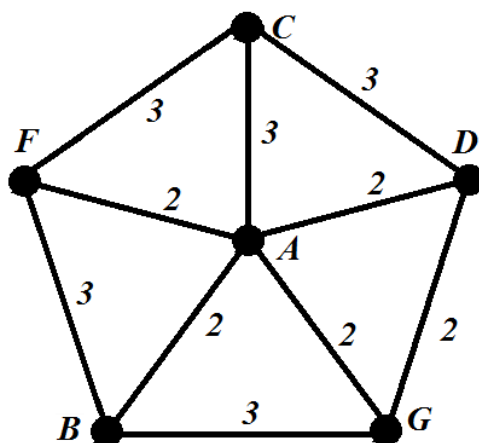


Рис.4.7. Регулярний суграф автодорожньої мережі Хмельницької області

Наведений на рис.4.7 суграф автодорожньої мережі Подільського регіону Хмельницької області є частковим підграфом гіперграфа транспортно-комунікаційного опорного каркасу природно-територіального комплексу території України і може бути визначений як повна регулярна планарна 4-гратка (кубічний граф), що є графом мінімальної ваги за показником суми зваженостей ребер. Тому, організація автотранспортної мережі будь-якої природно-техногенної геоекосистеми за принципом наведеного суграфа (рис.4.7) забезпечує мінімізацію витрат енергії автотранспортних потоків, які рухаються поміж множиною вершин V вздовж множини ребер E . Тим самим досягається мінімізація сумарних витрат палива (енергетична насиченість) автотранспортним комплексом і, як наслідок мінімізуються викиди шкідливих речовин в межах розглядуваної природно-техногенної геоекосистеми.

Таблиця 4.3

Показники автотранспортної ємності
Подільського регіону Хмельницької області

Позначення ребра суграфа	Довжина ребра, км		Узагальнена інтенсивність автотранспортних потоків $\times 10^{-6}$	
	Контрольний варіант	Пропонований варіант	Контрольний варіант	Пропонований варіант
AB	97	97	1,4	1,4
AF	112	112	1,6	1,6
AC	101	101	0,7	0,7
AD	184	184	2,7	2,7
AG	120	120	1,8	1,8
BF	148	148	0,9	0,9
FC	170	170	1,2	1,2
CD	229	136	3,5	0,9
DG	128	128	1,8	1,8
GB	180	180	1,2	1,2
Σ	1469	1376	16,8	14,2
Підвищення загального рівня автотранспортної ємності природно-техногенної геоекосистеми, %				15,2

Інші варіанти організації транспортно-комунікаційного каркасу автотранспортних мереж в межах визначеної природно-техногенної геоекосистеми за принципом суграфів у вигляді повної регулярної планарної n -гратки наведено на рис.4.8.

Наступний етап еколого-технологічної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі полягає у раціоналізації “пропускної здатності” ребер графу, яка має передбачати синхронізацію колективного руху автотранспортних засобів (п.4.1) в складі автотранспортних потоків за показником їх усередненої швидкості. Для цього представимо граф наведений на рис.4.4 та рис.4.5 у вигляді фізично реалізованої моделі графу, яка представляє собою горизонтальну плоску стержньову ферму з шарнірним з’єднанням ребер у вузлах графу (рис.4.9).

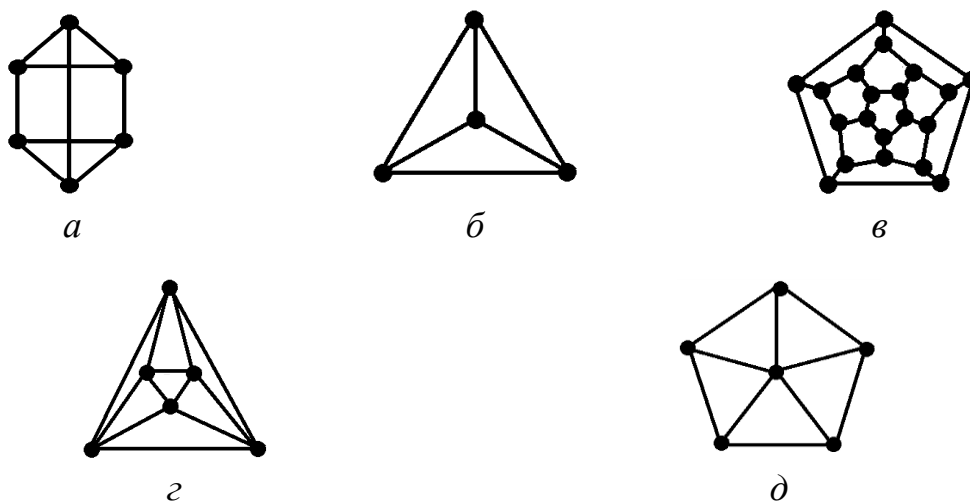


Рис.4.8. Варіанти організації транспортно-комунікаційного каркасу автотранспортних мереж у вигляді повної регулярної планарної n -гратки

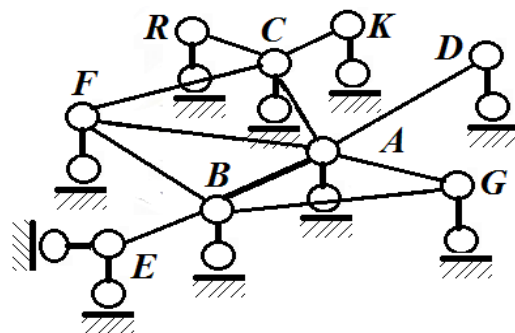


Рис.4.9. Модель фізичної реалізації суграфу автотранспортної мережі

Розглянемо ребро AB графа, який наведено на рис.4.9, як окрему балку, що навантажується на суцільну пружну основу, реакція якої в кожній точці основи може бути з деяким наближенням обране як пропорційне пружному прогину балки [278]. При цьому, зовнішнє розподілене навантаження на зазначену балку імітується значенням питомої інтенсивності q автотранспортного потоку, який рухається вздовж окремих ділянок автомобільної дороги, яка змодельована ребром AB розглядуваного суграфа (рис.4.10-а). Зазначене твердження відповідає фізичній моделі, в якій пружна основа може бути змодельованою безкінечною кількістю пружин, які не пов'язані поміж собою і характеризуються абсолютною пружністю (рис.4.10-б).

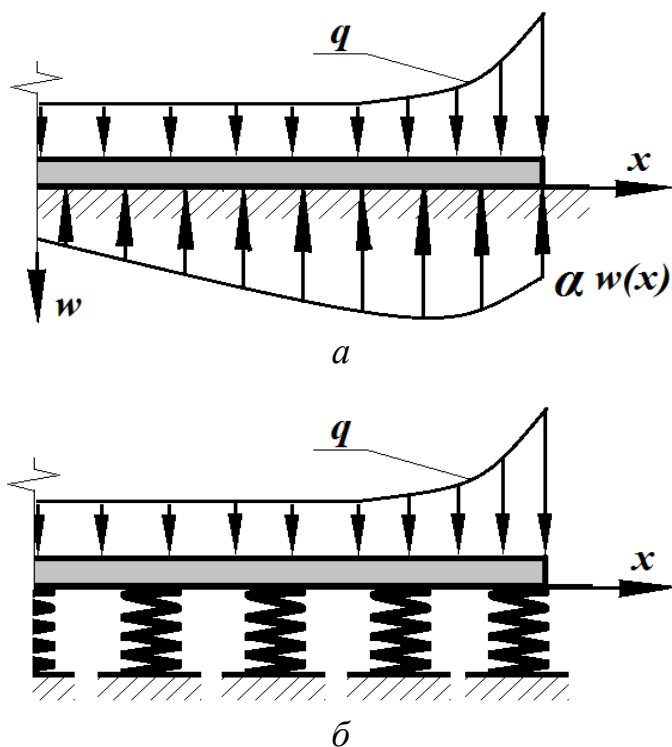


Рис.4.10. Схема фрагмента ребра графа автодорожньої мережі з інтенсивністю q автотранспортного потоку (а) та його відповідна фізична модель (б)

Розглянемо деякий відрізок ребра графа, який є суміжним з його вершиною (рис.4.11). В загальному випадку універсальними рівняннями, які отримано методом початкових параметрів для ділянки балки на пружній основі, будуть:

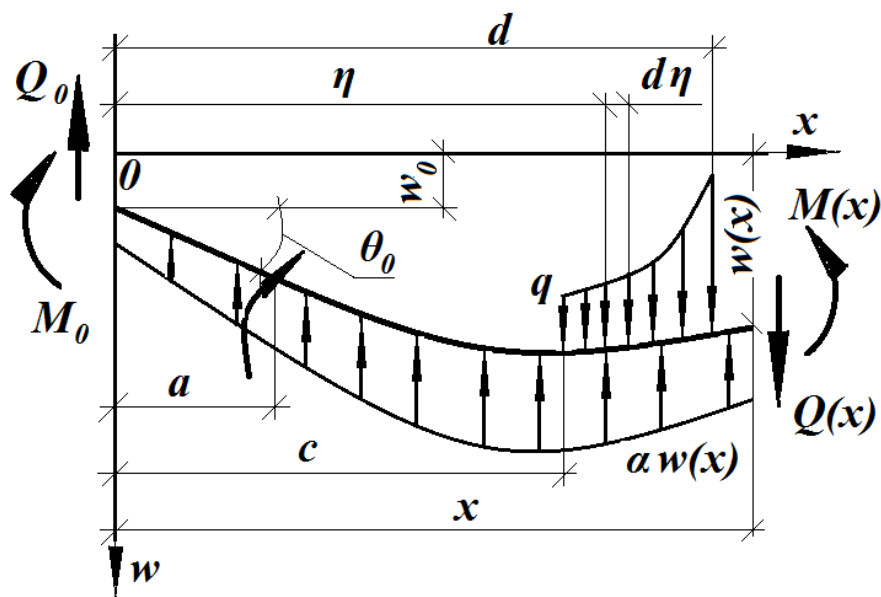


Рис.4.11.Розрахункова схема ребра графа автодорожньої мережі

$$\begin{aligned} \Theta(x) = & \Theta_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + \frac{1}{EJ} \left\{ M_0 L Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + Q_0 L^2 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) + \right. \\ & + \alpha L^3 w_0 Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) + L \sum M_i Y_2 \left(\frac{x - a_i}{L} \right) - L^2 \sum P_i Y_3 \left(\frac{x - b_i}{L} \right) - \\ & \left. - L^3 \sum q_i \left[Y_4 \left(\frac{x - c_i}{L} \right) - Y_4 \left(\frac{x - d_i}{L} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} M(x) = & M_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + Q_0 L Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^2 w_0 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) + \\ & + \alpha L^3 \Theta_0 Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) + \sum M_i Y_1 - L \sum P_i Y_2 \left(\frac{x - b_i}{L} \right) + \\ & L^2 \sum q_i \left[Y_3 \left(\frac{x - c_i}{L} \right) - Y_3 \left(\frac{x - d_i}{L} \right) \right] \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} Q(x) = & Q_0 Y_1 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L w_0 Y_2 \left(\frac{x}{L} \right) + \alpha L^2 \Theta_0 Y_3 \left(\frac{x}{L} \right) - \\ & - \frac{4M_0}{L} Y_4 \left(\frac{x}{L} \right) - \frac{4}{L} \sum M_i Y_4 \left(\frac{x - a_i}{L} \right) - \sum P_i Y_1 \left(\frac{x - b_i}{L} \right) + \\ & + L \sum q_i \left[Y_2 \left(\frac{x - c_i}{L} \right) - Y_2 \left(\frac{x - d_i}{L} \right) \right] \end{aligned} \quad (4.15)$$

де q – зовнішнє розподілене (розосереджене) навантаження, яке імітує (симулює) інтенсивність автотранспортного потоку;

P – зовнішнє зосереджене навантаження, яке в даному випадку (рис.4.9)

$$P = 0;$$

$Q(x)$, $M(x)$ – реакція системи на зовнішні навантаження q у вигляді внутрішніх сил і моментів;

Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 – функції Крилова, які в даному випадку характеризують деформаційні властивості системи до зовнішнього навантаження q в безрозмірних геометричних одиницях довжини

розглядуваної ділянки ребра графу, як x/L ;

Θ – деформаційний критерій у вигляді кута повороту віртуальної пружної лінії ребра графу;

З точки зору подальшого аналізу “деформаційного” відгуку ділянки автомобільної дороги автотранспортної системи на зовнішній вплив у вигляді автотранспортного потоку з інтенсивністю q , найбільш інформативним є рівняння (4.13), яке і визначає “деформаційну” міру Θ залежно від показника q . Визначаємо, що в крайньому лівому перерізі ребра графу відповідно до схеми фрагмента автодорожньої мережі, яку наведено на рис.4.10, інтенсивність $q = Q$ автотранспортного потоку є деякою усталеною величиною і відповідно вважаємо, що лівий торець розрахункової схеми (рис.4.11) виконано у вигляді абсолютно жорсткої заготовки. В даному випадку в рівнянні (4.13) $\Theta_0 = 0$; $M_0LY_2\left(\frac{x}{L}\right) = m$; $Q_0L^2Y_3\left(\frac{x}{L}\right) = n$; $w_0 = 0$ і за відсутності зосереджених P_i та M_i ($P_i = 0$; $M_i = 0$), з урахуванням зазначеного, отримуємо:

$$\Theta(x) = \frac{1}{EJ} \left\{ am + bn - L^3 \sum q_i \left[Y_4\left(\frac{x-c_i}{L}\right) - Y_4\left(\frac{x-d_i}{L}\right) \right] \right\} \quad (4.16)$$

Якщо для аналізованого ребра AB графу (рис.4.10) характеристика пропускної здатності автомобільної дороги (категорія автодороги) є величиною сталою, тобто $1/EJ = const = Z$, то отримуємо:

$$\Theta(x) = Z \left\{ K - L^3 q_i \frac{\partial x}{L} Y_4 \right\} = Q - q_i L^2 \partial x Y_4 \quad (4.17)$$

де Q – інтенсивність автотранспортного потоку відповідна категорії автомобільної дороги вздовж ребра AB .

Функція Y_4 за А.М. Криловим визначається як [106]:

$$\begin{aligned}
 Y_4(\zeta) &= \frac{1}{4}(ch\zeta \cdot \sin\zeta - ch\zeta \cdot \sin\zeta) = \\
 &= \frac{1}{8}[(e^\zeta + e^{-\zeta})\sin\zeta - (e^\zeta + e^{-\zeta})\cos\zeta]
 \end{aligned}
 \tag{4.18}$$

де за означенням ζ :

$$\zeta = \frac{x}{L} = 1 \tag{4.19}$$

Відповідно до таблиць для $\zeta = 1$ $Y_4 = 0,1659$ і відповідно до (4.17) отримуємо:

$$\Theta(x) = Q - 0,17 \cdot q_i L^2 \partial x \tag{4.20}$$

Отже, підтримання транспортно-технологічної рівноваги шляхом синхронізації колективного руху автотранспортних потоків за умови збільшенні їх інтенсивності Δq при наближенні до вузлів графу (рис.4.9) передбачає виконання умови:

$$\Delta Q = 0,17 \cdot \Delta q \cdot L^2 \tag{4.21}$$

Для конкретизації (4.21) визначимо значення “пропускної здатності” ребра AB графу (рис.4.4) автомобільної дороги Н03 категорії 2 на ділянці яка межує з вузлом A (м. Хмельницький), модель фізичної реалізації якого наведено на рис.4.9. Автомобільна дорога Н03 характеризується в цілому інтенсивністю автотранспортного потоку $q \leq 0,17 \left[\frac{1}{c} \right]$ і його щільністю $\rho \leq 0,005 \left[\frac{1}{m} \right]$. При наближенні до вузла A графу (рис.4.4) з відстані ~ 35 км (с.м.т. Ярмолинці) інтенсивність автотранспортного потоку лінійно зростає до $q = 0,5 \left[\frac{1}{c} \right]$, а його щільність до $\rho = 0,02 \left[\frac{1}{m} \right]$. Синхронізація колективного руху автотранспортних засобів в цьому випадку може бути забезпечена лише за рахунок будівництва додаткових смуг руху (збільшення “пропускної здатності” ребра AB графу при наближенні до вузла A). Відповідно до (4.21)

можна встановити ландшафтно-геометричні параметри розвитку (збільшення смуг руху) ділянки Хмельницький – Кам’янець-Подільський автомобільної дороги Н03 категорії 2, яка є прилеглою до м. Хмельницький (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4

Характеристики ділянки автомобільної дороги Н03 на ділянці
Хмельницький – Кам’янець-Подільський,
яка прилегла до м. Хмельницький

Відстань від вузла А графа (м. Хмельницький), км	Функціональні означення синхронного руху автотранспортного потоку			Кількість смуг руху автомобільної дороги	Щільність потоку однією смугою руху, 1/м
	Інтенсивність потоку, 1/с	Щільність потоку, 1/м	Синхронізована швидкість потоку, м/с		
0	0,50	0,015	35,0	6	0,0025
5,0	0,45	0,013	35,0		0,0022
10,0	0,40	0,011	35,0		4
15,0	0,35	0,010	35,0	0,0025	
20,0	0,30	0,010	30,0	0,0025	
25,0	0,25	0,008	30,0	0,0020	
30,0	0,20	0,007	30,0	2	
35,0	0,16	0,006	29,0		0,0030
40,0	0,15	0,005	28,0		0,0025
45,0	0,14	0,005	28,0		0,0025
50,0	0,14	0,005	28,0		0,0025

Пропонований метод аналітичної оптимізації інтенсивності автотранспортних потоків за допомогою фізичної симуляції транспортно-технологічного процесу, дозволяє оптимізувати “пропускну здатність” конкретної ділянки автомобільної дороги, забезпечити синхронізацію швидкості колективного руху автотранспортних засобів в межах $V = 30-35$ м/с та показник щільності потоку однією смугою, який не перевищує $\rho = 0,0025-0,003$ 1/м (рис.4.12).

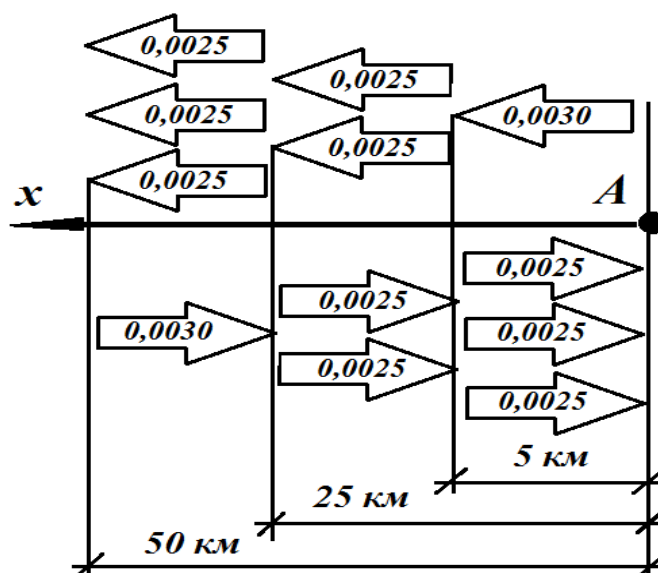


Рис.4.12. Синхронізація автотранспортних потоків за показником щільності потоку в кожній смузі руху автомобільної дороги

Синхронізація колективного руху автотранспортних засобів у потоках дозволяє стабілізувати режими роботи двигунів, що зумовлює зменшення обсягів газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками.

4.3. Оптимізація конструкційних параметрів профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг

Оптимізація конструкційних параметрів профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг з точки зору мінімізації впливу на природно-техногенну геоекосистему виконувалась на підставі методу симуляції їх фізико-динамічного аналогу, який реалізовано у вигляді двохопорної балки з довжиною резервно-технологічної смуги автодороги відповідно до рис.4.13 [277]. Інтенсивність транспортного потоку симулювалась відповідним розподіленим навантаженням q , а геометричні координати опор балки відповідали координатам аверсних

сторін захисних споруд (в даному випадку аверсним сторонам газопилозахисних смуг автодороги). План повного факторного симуляційного експерименту має, таким чином, вигляд:

$$X = \begin{vmatrix} M_1 & \Omega_1 \\ M_2 & \Omega_2 \\ \dots & \dots \\ M_n & \Omega_n \end{vmatrix}; \quad Y = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{vmatrix}; \quad (4.22)$$

де $Y = f(y_i)$ – відповідний відгук на рівень максимального впливу M_i (згинаючий момент) та інтегральний показник Ω_i (робота автотранспортного потоку з інтенсивністю q) впливу на природно-техногенну геоекосистему вцілому.

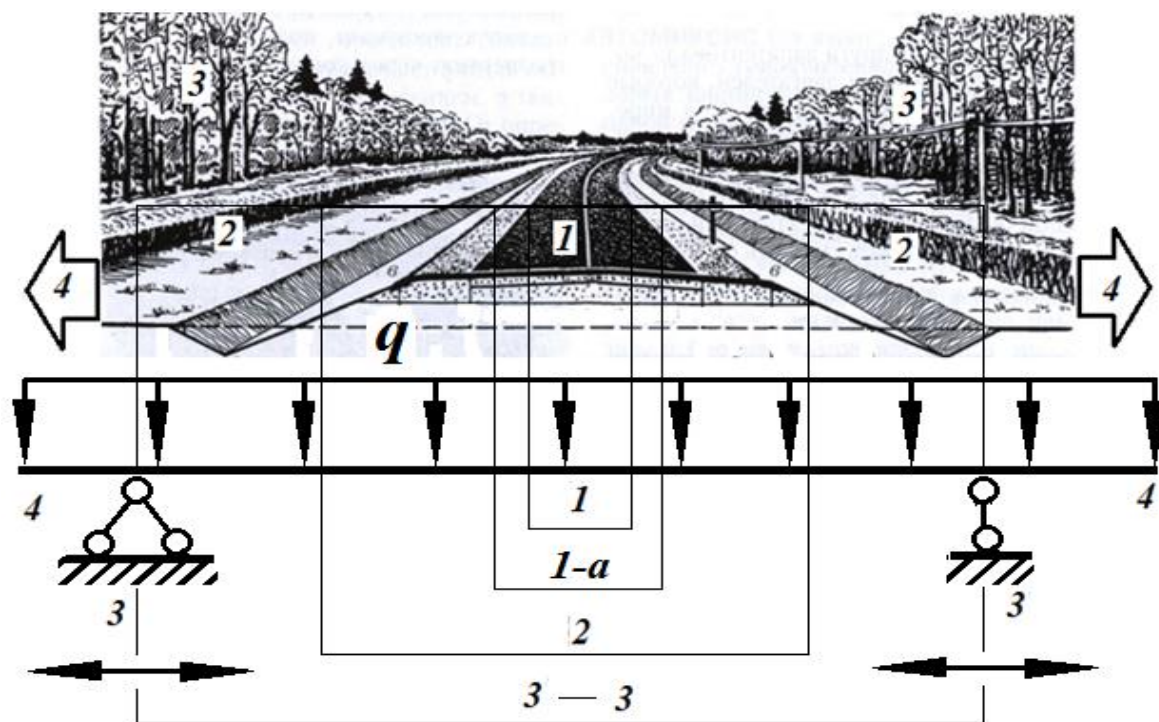


Рис.4.13. Зональність конструкції профілю поперечного перерізу автомобільної дороги: 1 – проїжджа частина; 1-а – земляне полотно; 2 – резервно-технологічна смуга; 3 – аверсна сторона газопилозахисних лісосмуг; 4 – смуга впливу автодороги

При цьому кількість рівнів варіювання факторів становила $n=6$, а значення y_i визначались, відповідно як (відповідні позначення наведено на рис.4.14):

$$y_i = \frac{a_i - c_i}{2a_i} = \frac{b_i}{a_i}; \quad (4.23)$$

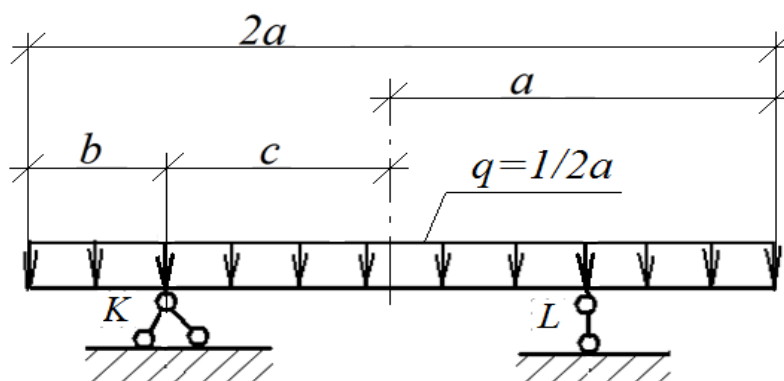


Рис.4.14 Структурна схема симуляційного експерименту

Таким чином, результати числового експерименту відповідно до плану (4.22) можуть бути представлені у вигляді:

$$y_i = \frac{b_i}{a_i} = \varphi(M_i; \Omega_i) \quad (4.24)$$

Дослідження (4.24) на екстремум дозволяє встановити оптимальне співвідношення $\left(\frac{b}{a}\right)_{opt} = \langle y_i \rangle |_{M_{min} \Omega_{min}}$ і з урахуванням вимог ГБН В.2.3-218-007:2012 “Споруди транспорту. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування” встановити еколого раціональні розміри проїжджої частини, земляного полотна, резервно-технологічної смуги, захисних споруд (зокрема розміри поперечного перерізу газо-пилрозахисних лісосмуг), уточнити розмір смуги впливу автомобільної дороги відповідної категорії [69].

Результати числового експерименту за планом (4.22) наведено в таблиці 4.5. Дослідження результатів числового експерименту на екстремум (рис.4.15) дозволяє встановити зокрема оптимальне співвідношення ширини газо-пилрозахисної лісосмуги до ширини резервно-технологічної смуги автомобільної дороги у вигляді:

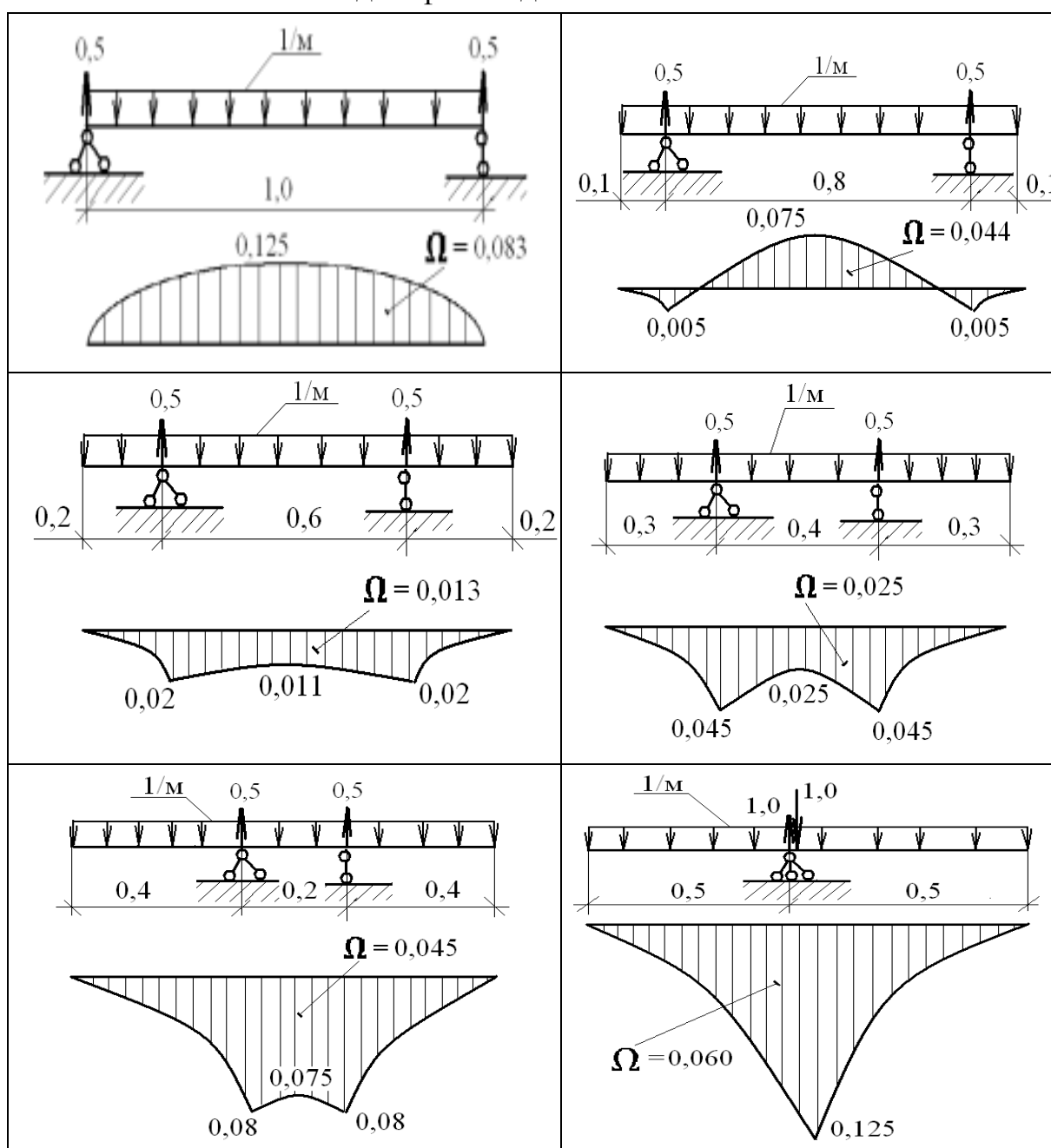
$$\left(\frac{b}{2a}\right)_{opt} = \langle y_i \rangle |_{M_{min}, \Omega_{min}} = 0,333 \quad (4.25)$$

де b – ширина газо-пилосахисної лісосмуги, м;

a – ширина резервно-технологічної смуги автомобільної дороги, м.

Таблиця 4.5.

Результати числового симуляційного експерименту
за методом фізико-динамічних аналогій



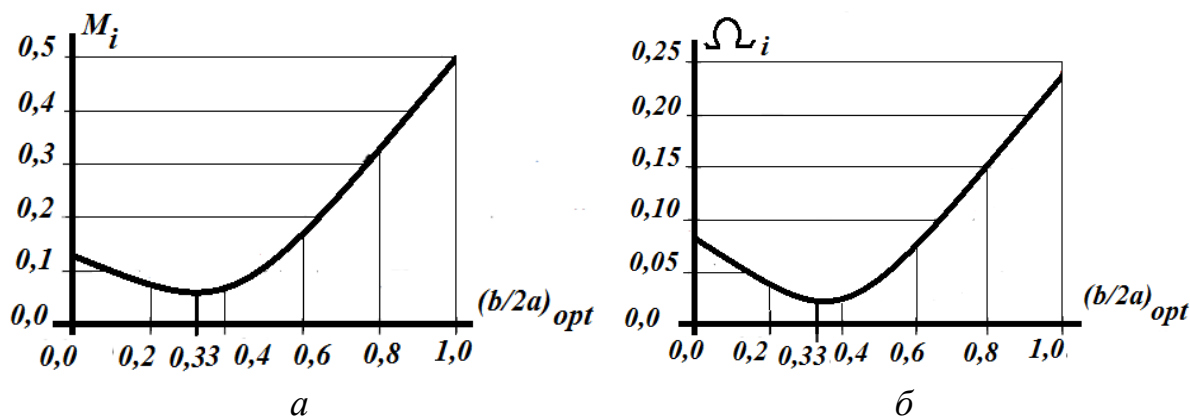


Рис.4.15. Дослідження на екстремум функцій:

$$a - \left(\frac{b}{2a}\right)_{opt} = \langle y_i, z_i \rangle |_{M_{min}}; \quad \bar{b} - \left(\frac{b}{2a}\right)_{opt} = \langle y_i, z_i \rangle |_{\Omega_{min}}$$

Отже, результати виконаного числового експерименту дозволяють уточнити основні конструкційні параметри поперечного профілю складових елементів резервно-технологічних смуг автомобільних доріг відповідних категорій (таблиця 4.6). При цьому, ширина b (рис.4.14) захисних споруд у вигляді геохімічних бар'єрів (в тому числі і газо-пилезахисних лісосмуг) в складі резервно-технологічних смуг автомобільних доріг визначалась за формулою:

$$b = \frac{2 \cdot a - (n \cdot h + 2 \cdot z + f)}{2} \quad (4.26)$$

де h – ширина (м) смуги руху, обрана відповідно ДБН В.2.3-4:2007;

n – кількість смуг руху для автомобільної дороги відповідної категорії за ДБН В.2.3-4:2007;

z – ширина (м) узбіччя за ДБН В.2.3-4:2007;

f – ширина (м) розділової смуги за ДБН В.2.3-4:2007;

a – топологічно обґрунтований [40] розмір (м) резервно-технологічної смуги (ширина шляхової зони), який становить:

- для автомобільних доріг категорії 1-а, 1-б – $2a = 104$ м;
- для автомобільних доріг категорії 2 – $2a = 68$ м;
- для автомобільних доріг категорії 3 – $2a = 45$ м.

Таблиця 4.6

Параметри поперечного профілю шляхової зони
автомобільних доріг

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1а, 1б	2	3
Ширина резервно-технологічної смуги (шляхової зони) $2a$, м	104	68	45
Ширина проїжджої частини h , м (ДБН В.2.3-4:2007)	22,5	7,5	7,0
Ширина узбіччя z , м (ДБН В.2.3-4:2007)	12,0	12,0	6,0
Ширина роздільної смуги f , м (ДБН В.2.3-4:2007)	5,0	-	-
Ширина захисних геохімічних бар'єрів (газо-пилозахисних лісосмуг) b , м	32,25	24,25	16,0

Виконана оптимізація конструкційних параметрів профілю поперечного перерізу резервно-технологічних смуг автомобільних доріг дозволяє синхронізувати колективний рух автотransпортних засобів в складі транспортних потоків, що зумовлює стабілізацію режимів роботи двигунів, а отже зменшує обсяги газо-пилових викидів, які продукуються автотransпортними потоками [215, 216].

4.4. Екологічна оптимізація динаміки автотransпортних потоків на ділянках автомобільних доріг з особливими умовами руху

До специфічних ділянок автомобільних доріг з особливими умовами руху мають бути віднесені всі ділянки, на яких відбувається розсинхронізація колективного руху автотransпортних засобів в складі транспортного потоку. Зокрема, це в першу чергу вузли автотransпортної мережі, де відбувається перехрещення декількох автотransпортних потоків, різного роду “серпантини” і звивисті ділянки автодоріг зумовлені особливостями мезорельєфу, що визначає рух автотransпортних потоків у так званих “шпильках”, а також, певною мірою лісові ділянки

автомобільних доріг, де обмежено візуальне сприйняття дорожніх умов. Розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів в складі потоків на таких ділянках автомобільних доріг призводить не лише до порушення усталеної роботи двигунів, що збільшує обсяги викидів відпрацьованих газів, але і до інтенсифікації процесів руйнування конструкційних матеріалів автомобільних доріг, що зумовлює підвищення рівнів пилового забруднення придорожніх ландшафтів природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею.

4.4.1. Синхронізація колективного руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі

Характер колективного руху автотранспортних засобів у потоці загалом визначається його (потoku) швидкістю $V(t, x)$, яка відповідно (4.3) є функцією інтенсивності $q(t, x)$ і щільності $\rho(t, x)$ автотранспортного потоку. В умовах наближення до вузла автотранспортної мережі зростає ймовірність виконання маневрів окремими автотранспортними засобами, які мають бути розцінені як випадкові події. Відповідно відбувається розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у потоці, а отже зростає значення дисперсії σ_V^2 швидкості $V(t, x)$ потоку. Найпомітнішою є розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів при перехрещенні двох (або декількох) транспортних потоків, які є сумірними за показниками їх інтенсивності $q(t, x)$ та щільності $\rho(t, x)$. В цьому випадку необхідно розрізняти [239]:

- $V(t, x)$ – синхронізовану просторову швидкість потоку, тобто усереднену швидкість автотранспортних засобів, які перебувають на заданій ділянці автомобільної дороги у визначений момент часу t ;
- V_D – середню миттєву швидкість автотранспортного засобу, тобто усереднену швидкість n автотранспортних засобів, які переміщуються

через визначений поперечний переріз автомобільної дороги (в даному випадку через точку перехрещення потоків) за визначений проміжок часу t .

При цьому:

$$V(t, x) = V_D \left[1 + \left(\frac{\sigma_D^2}{V_D} \right) \right] \quad (4.27)$$

З (4.27) походить, що для забезпечення синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі перехрещуваних потоків має бути забезпечено умову:

$$V(t, x) = V_D \quad (4.28)$$

що досягається при дотриманні:

$$\lim_{V_D \rightarrow V(t, x)} \sigma^2 = 0 \quad (4.29)$$

Таким чином, синхронізація колективного руху автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі забезпечується дотриманням синхронізованої просторової швидкості кожного з потоків, які мають рухатись не залежно один від одного з послідовною дотичною перебудовою траєкторій руху. Розглянемо перехрещення траєкторій mm' та nn' руху автотранспортних потоків під довільним кутом α в деякій прямокутній системі координат xOy (рис.4.16).

Якщо визначити, що прямі mm' та nn' траєкторій руху автотранспортних потоків є асимптотами кривих другого порядку на координатній площині xOy , то відповідно отримуємо сімейство спряжених гіпербол (рис.4.17), які в загальному випадку описуються рівнянням:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4.30)$$

де a та b – дійсна та уявна напівосі гіперболи (рис.4.18).

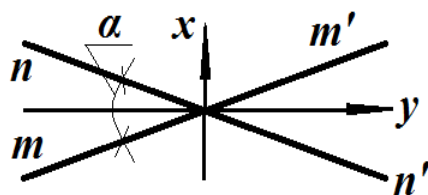


Рис.4.16. Траєкторії mm' та nn' руху перехрещуваних автотранспортних потоків на координатній площині xOy

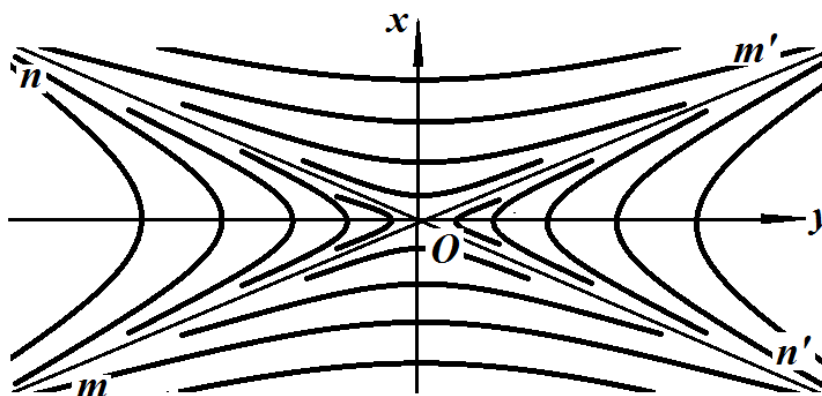


Рис.4.17. Сімейство спряжених гіпербол з асимптотами mm' та nn'

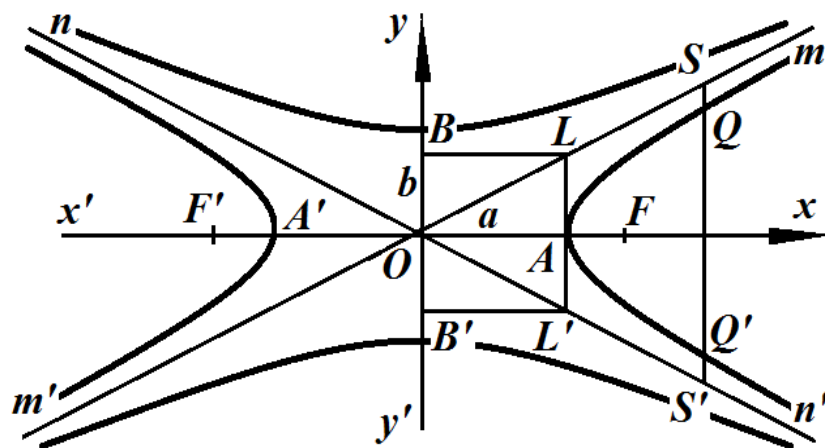


Рис.4.18. Геометричні ознаки спряжених гіпербол

Основними характеристиками гіперболи є відрізок FF' , який визначає її фокусну відстань c (точки F та F' – фокуси параболи), а саме $FF'=2c$; дійсна вісь гіперболи $2a$, яка визначена точками A та A' , які є вершинами обох гілок гіперболи, тобто $AA'=2a$; уявна вісь гіперболи $BB'=2b$, які пов'язані відповідно (4.30) рівнянням:

$$b^2 = c^2 - a^2 \quad (4.31)$$

При цьому завжди виконується $c > a$, а гілки гіперболи є симетричними відносно точки O , яка визначає центр гіперболи. Траєкторії напрямків руху автотранспортних потоків mm' та nn' є асимптотами гіперболи, проходять через центр O гіперболи, описуються рівняннями $y=k \cdot x$, при чому $|k| \geq b/a$, а отже рівняннями асимптот гіперболи є $y = \frac{b}{a}x$ та $y = -\frac{b}{a}x$. Отже, якщо деяку пряму SS' , яка є паралельною до координатної осі yy' , необмежено віддаляти від центра O гіперболи (вправо або вліво), то відрізки QS та $Q'S'$ поміж гілками гіперболи і траєкторіями mm' та nn' руху автотранспортних потоків будуть необмежено зменшуватись (точки Q та Q' належать прямій SS').

На підставі вищевикладених ознак гіперболи, запропоновано варіант (рис.4.19) синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у вузлі перехрещення для рівнозначних за інтенсивністю q транспортних потоків (автомобільні дороги категорії 2).

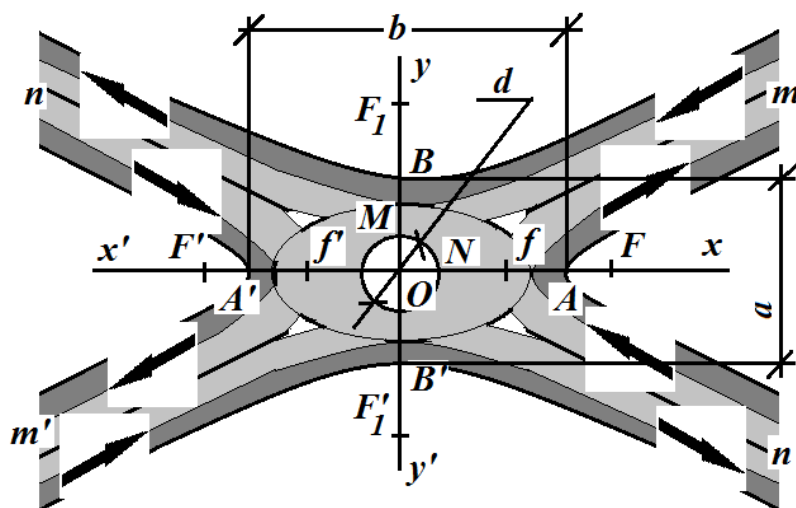


Рис.4.19. Перехрещення автотранспортних потоків у вузлах автодорожньої мережі

Форма внутрішньої зони вузла (рис.4.19) перехрещення автотранспортних потоків визначається еліпсом з фокусами, які

розташовано в точках f та f' . Контур (повнота) еліпсу залежить від кута α і у випадку $\alpha = \frac{\pi}{2}$ перетворюється на коло. Для забезпечення максимально можливої синхронізації колективного руху автотранспортних засобів з інтенсивністю q у вузлі автодорожньої мережі визначальними є розміри дійсної $2a$ та уявної $2b$ осей спряжених гіпербол, тобто розміри відрізків NA та MB (рис.4.18). Розміри NA та MB для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 визначається як:

$$NA(MB) = k \cdot s \quad (4.32)$$

де k – кількість смуг руху;

s – ширина смуги руху, м.

Розміри проїжджої частини (NA та MB) для автомобільних доріг відповідних категорій і наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7.

Мінімально допустима ширина проїжджої частини
у вузлах автомобільної мережі
для автотранспортних потоків визначеної інтенсивності q , м

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1а, 1б	2	3
Мінімально допустима ширина проїжджої частини у вузлах перехрещення автотранспортних потоків, м	11,3 (7,5)	11,3 (7,5)	10,5 (7,0)
<i>В дужках наведено значення ширини проїжджої частини в напрямку, який орієнтовано вздовж меншої з осей спряжених гіпербол</i>			

На підставі вищевикладених досліджень запропоновано принципові схеми руху автотранспортних потоків у вузлах автотранспортної мережі з варіантами організації напрямків руху автотранспортних засобів (рис.4.20).

Пропонована оптимізація конструкційних параметрів автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків передбачає можливість синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у

складі транспортних потоків, що забезпечує стабілізацію режимів роботи двигунів цих засобів, а отже, як наслідок, зменшує обсяги газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками.

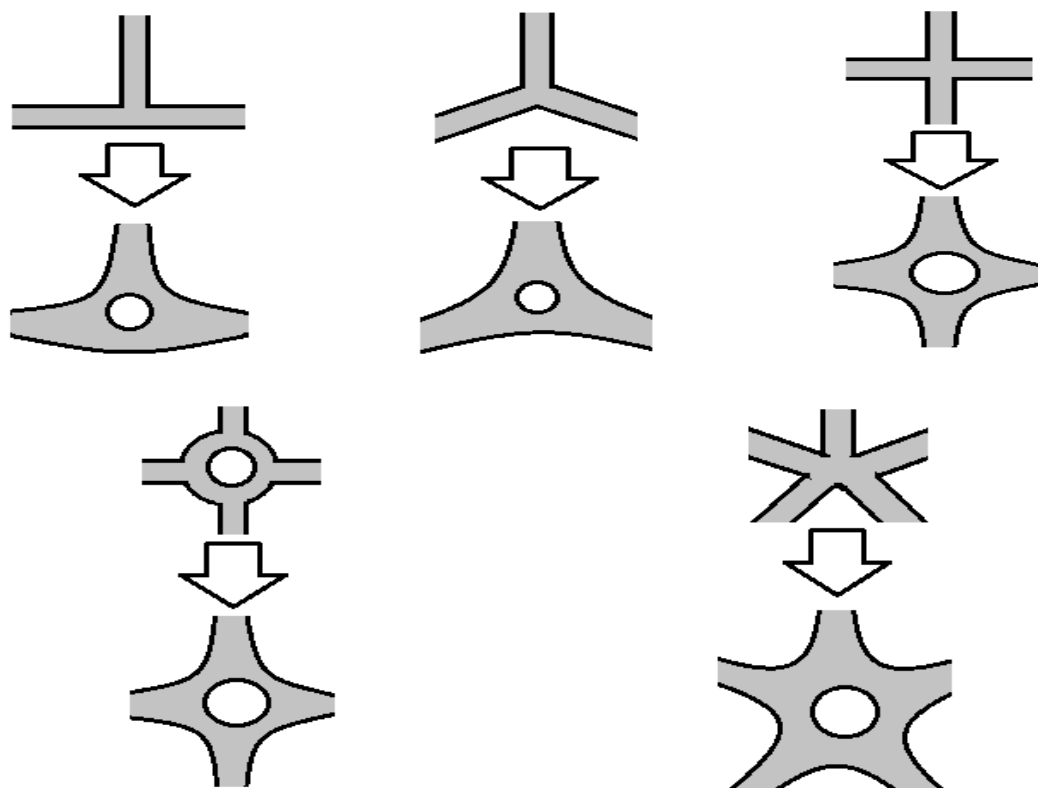


Рис.4.20.Варіанти транспортно-екологічної оптимізації автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків

4.4.2. Синхронізація колективного руху автотранспортних потоків на ділянках серпантину (у шпильках) автомобільних доріг

Загалом ділянки серпантину застосовують при трасуванні автомобільних доріг в умовах складного рельєфу природно-техногенних геоекосистем для дотримання оптимальних ухилів поздовжнього профілю автодороги. Розрізняють два види серпантинів:

- серпантини I роду – у яких допоміжні криві траси автомобільної дороги розташовано опуклостями в різні боки. Такі серпантини можуть бути як симетричними, так і асиметричними;

– серпантини II роду – у яких допоміжні криві розташовані по один бік траси автомобільної дороги. Такі серпантини можуть бути повними, коли центр основної кривої зміщений відносно вершини кута повороту і напівсерпантинами, для яких центр основної кривої розташовано на лінії, яка є перпендикулярною до однієї з сторін кута повороту автомобільної траси.

Як приклад серпантину, може бути наведено ділянку автомобільної дороги Н-03 поблизу населеного пункту с. Гуменці (рис.4.21).



Рис.4.21. Ділянка серпантину на автомобільній дорозі Н-03 (drive2.com)

Ділянки автомобільних доріг з серпантинном обох типів з достатньою точністю аналітично описуються раціональними функціями n -го ступеня (рис.4.22):

$$y = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \dots + a_1 \cdot x + a_0, \quad a_n \neq 0 \quad (4.33)$$

де $n \geq 0$ – ціле.

Графіки функцій (4.33) – це криві без особливих точок та без асимптот, які мають не більше за n точок перехрещення з віссю x , не більше як $n - 1$ екстремумів та не більше як $n - 2$ точок перегину (рис.4.22). При цьому, у випадку декількох екстремумів максимуми та мінімуми є почерговими.

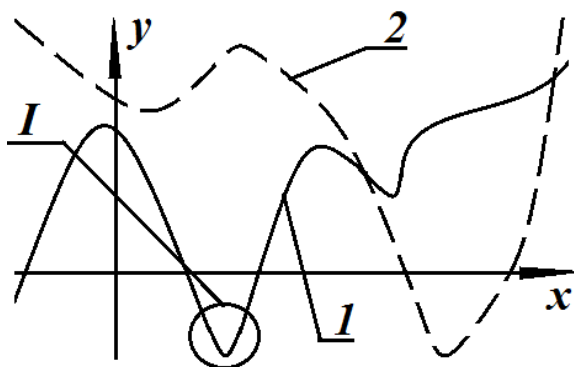


Рис.4.22. Раціональні функції n -го порядку:
 $1 - n$ парне, $2 - n$ непарне, $I -$ екстремум (шпилька серпантину)

Основним чинником розсинхронізації колективного руху автотранспортних засобів в складі транспортного потоку є необхідність їх складного маневрування з малими неусталеними швидкостями в зонах, так званих, “шпильок” серпантину (наприклад, зона I рис.4.22), які є точками перегину траси автомобільної дороги. Поблизу точки перегину траси автомобільної дороги форми трасування автодороги у вигляді параболи, гіперболи, еліпса з ексцентриситетом ~ 1 відповідно (4.30) практично не відрізняються (рис.4.23).

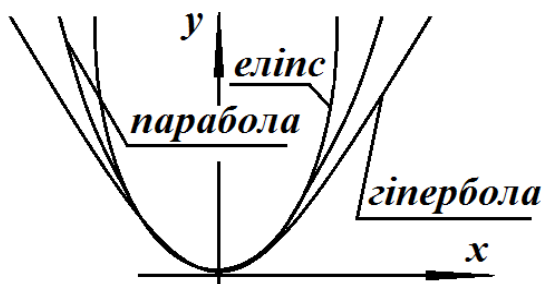


Рис.4.23. Трасування автомобільної дороги у “шпильці”
у вигляді гіперболи, параболи або еліпсу
з ексцентриситетом кривих ~ 1

Маневрування транспортного засобу у “шпильках” серпантину ускладнюється умовами обмеження сприйняття візуальної інформації, що зумовлено наявністю природних або штучних об’єктів ландшафту (наприклад аверсних поверхонь газо-пилосахисних лісосмуг), які

розташовано у створах “шпильок”. Для визначення мінімально допустимих розмірів конструкційної прив’язки аверсного боку візуальної перешкоди до проїжджої частини автодороги у “шпильці” серпантину (рис.4.24) використана властивість гіперболи, відповідно до якої відрізок дотичної TT_1 поміж її асимптотами завжди ділиться точкою дотику $(\bullet)M$ навпіл [38, 39, 40].

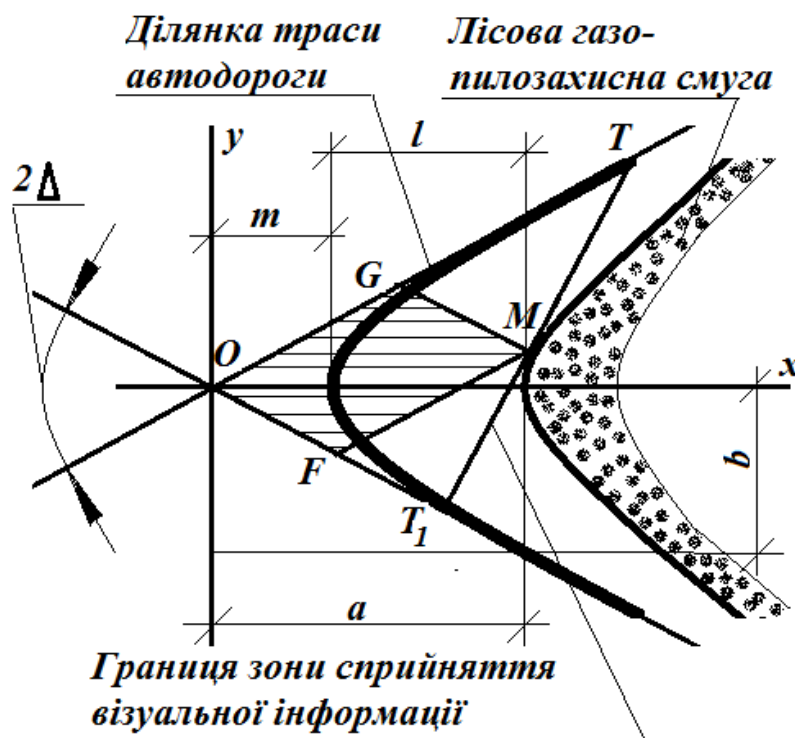


Рис.4.24.Конструкційна прив’язка аверсного боку візуальної перешкоди до траси автомобільної дороги в зоні “шпильки” серпантину

Відповідно до канонічного рівняння гіперболи (4.30), якщо осі координат співпадають з осями гіперболи, площа паралелограму $OGMF$ визначається як (рис.4.24):

$$\omega = \frac{a^2 + b^2}{4} = \frac{a \cdot TT_1}{2}; \quad (4.34)$$

а співвідношенням a та b є:

$$\frac{a}{b} = tg\Delta. \quad (4.35)$$

Тоді розв'язання системи рівнянь у вигляді:

$$\begin{cases} \omega = \frac{a^2 + b^2}{4} \\ \omega = \frac{a \cdot TT_1}{2} \\ \operatorname{tg}\Delta = \frac{b}{a} \end{cases}, \quad (4.36)$$

дозволяє визначити значення параметра a :

$$a = \frac{TT_1}{1 + \operatorname{tg}\Delta}. \quad (4.37)$$

Якщо визначити радіус r повороту траси автодороги у “шпильці” як дотичну до асимптот контуру аверсного боку візуальної перешкоди:

$$m = \frac{a}{2} \cos\Delta \quad (4.38)$$

остаточно отримаємо значення параметру l , який визначає відстань контуру аверсного боку візуальної перешкоди до осі проїжджої частини автодороги у “шпильці”:

$$l = \frac{s}{1 + \operatorname{tg}\Delta} \left(1 - \frac{1}{2} \cos\Delta \right). \quad (4.39)$$

Результати визначення параметру l для кутів $\Delta = 100^\circ - 160^\circ$ повороту автодороги наведено в таблиці 4.8.

При проектуванні ділянок серпантину автомобільних доріг мають бути дотримані вимоги до трасування автодоріг в плані та в поздовжньому профілі, проведено узгодження всіх об'єктів автошляхового інженерного комплексу з ландшафтними особливостями як окремих блоків елементарної ландшафтно-геохімічної системи, так і всією природно-техногенною геоекосистемою в цілому, що дозволяє забезпечити максимально можливу

синхронізацію колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків.

Таблиця 4.8

Конструкційна відстань контуру аверсної сторони деревно-чагарникової газо-пилрозахисної смуги до осі проїжджої частини автомобільної дороги

Кут Δ повороту автодороги, град.	Значення параметру a , м	Розрахунковий параметр l , м	Конструкційна відстань контуру аверсної сторони смуги до осі автодороги, м
100	68	46	45
120	55	40	40
140	40	33	30
160	22	20	20

4.5. Автодорожня мережа, як термодинамічна система

З точки зору системного термодинамічного аналізу динаміки процесів енерго-масопереносу, система мережі автомобільних доріг є відкритою термодинамічною системою, для якої відбувається обмін енергією і речовиною з навколишнім середовищем, а отже закон не спадання ентропії S (другий закон термодинаміки) є несправедливим, як для системи, що перебуває у стані далекому від стану макроскопічної рівноваги. Надходження енергії до автодорожньої мережі у вигляді хімічної енергії палива автотранспортних засобів і зумовлює, в першу чергу, синергетичні процеси організації автотранспортних потоків.

Макроскопічний стан термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в певний момент часу визначається n параметрами стану залежності поміж $n+1$ термодинамічних параметрів залежністю [18, 141, 156 241]:

$$f(Z_1, Z_2, \dots, P_i, E_i, \dots, Z_n, Z_{n+1}) = 0 \quad (4.40)$$

де Z – узагальнені координати або потенціали термодинамічної системи;

P – потенціали системи, які є однозначними функціями координат E стану системи:

$$P_i = \varphi'(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (4.41)$$

і навпаки, E – координати стану системи однозначно визначаються через їх потенціали:

$$E_i = \varphi''(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (4.42)$$

В рівнянні (4.40) величини Z можуть бути як координатами, так і потенціалами термодинамічної системи, але як мінімум одна з пар Z , а саме P_i, E_i має бути суміщеною. Рівняння (4.40), (4.41), (4.42) визначають, що різниця потенціалів P по обидва боки контрольної поверхні системи призводять до зміни координат E стану системи і тому, по суті є рушійними силами динамічних змін стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. При цьому під категорією “контрольна поверхня системи” розуміємо умовну граничну поверхню на якій відбувається зміна величини потенціалів P , які мігрують в систему ззовні і в зворотному напрямку з системи в навколишнє середовище.

Зміна внутрішньої енергії системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка відбувається з одного боку в результаті хімічних реакцій спалювання автотранспортними засобами палива, що призводить до виконання механічної роботи руху автотранспортних потоків, а з іншого – зумовлена процесами енерго-масопереносу через контрольну поверхню за межі розглядуваної системи (за межі смуги відведення автомобільної дороги), призводить до зміни потенціалів P по обидва боки контрольної поверхні системи. Якщо сукупність координат стану системи E виразити через певний узагальнений заряд U як:

$$U = \varphi'''(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (4.43)$$

то значення U є по-суті внутрішньою енергією системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”.

В результаті переносу зарядів через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається зміна внутрішньої енергії системи, яка вимірюється добутком різниці потенціалів P на величину перенесеного заряду. Цей добуток є узагальненою роботою функціонування системи. Елементарна кількість роботи dA буде:

$$dA = P \cdot dE \quad (4.44)$$

де P – різниця потенціалів;

dE – перенесений заряд.

В залежності від знаку P та dE визначається і знак dA .

Робота не є властивістю системи, а характеризує лише процес переносу заряду через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Як тільки припиняється процес переносу заряду, припиняється і виконання роботи. Тому, при застосуванні позначення dA , воно розглядається не як диференціал A , не як приріст A , а лише як деяку елементарну кількість виконуваної роботи.

Диференціальне рівняння стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в нашому випадку (dU – приріст внутрішньої енергії системи) буде:

$$dU = P \cdot dE \quad (4.45)$$

При цьому швидкість V_{E_i} зміни координати стану (узагальненого заряду) системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” – це потік цієї координати (заряду). Потік заряду і різниця потенціалів, яка викликає цей потік є спряженими величинами. За Л. Онзагером – потік є похідною параметру стану системи (узагальненого заряду):

$$V_{E_i} = \dot{E} \quad (4.46)$$

При цьому, система яка перебуває в стані динамічної рівноваги з навколишнім середовищем може розглядатись як ізольована внаслідок усталеності ΔP , що підтримує стабільність (незмінюваність) координат E стану системи, тобто $E_i = const$. З точки зору захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу автодорожньої мережі необхідно мінімізувати перенос зарядів dE_i , які визначають структуру та обсяги шкідливих викидів, за межі контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” (в даному випадку – за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги). Разом із цим, необхідно враховувати, що до системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” безперервно надходить із зовнішнього середовища деяка маса речовини у вигляді маси палива, яке споживається автотранспортним потоком і перетворюється в енергію з приростом dU . Безперервний відтік зарядів dU_i в навколишнє середовище призводить до невинного зростання ентропії S природно-техногенної геоекосистеми вцілому. Таким чином, виходячи з вище викладеного походить, що застосування будь-яких систем інженерного захисту автодорожньої мережі в жодному разі не дозволяють ізолювати (відокремити) підсистему “автодорожня мережа – автотранспортний потік” від природно-техногенної геоекосистеми.

Очевидно, що у випадку, коли на підставі рівняння (4.6) на певній визначеній ділянці автомобільної дороги відбувається синхронізація колективного руху автотранспортних засобів, в системі “автодорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається процес самоорганізації, який виявляється у зрівноваженості характеристики інтенсивності q автотранспортного потоку. В цьому випадку маємо розглядати координату стану системи $E_{палива}$ як таку, що є заданою частиною розглядуваної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Тобто, приріст $dU_{палива}$ з зовнішнього середовища до системи відсутній ($E_{палива}$ є ознакою системи

“автодорожня мережа – автотранспортний потік”). Це твердження базується на висновку Г. Хакена про те, що “довготривалі системи підпорядковують собі системи з коротшим періодом існування” [189]. Отже, система “автодорожня мережа – автотранспортний потік” має розглядатися як така, для якої обмін зарядами dU_i з навколишнім середовищем через контрольну поверхню відбувається виключно через процеси масообміну (міграції) викидів, які продукуються автотранспортним потоком.

Таким чином, максимально можливий захист природно-техногенної системи від газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортним потоком, має передбачати наявність такої контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка б задовольняла умові мінімізації потоку dU_i за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. При цьому, як оптимальне рішення щодо конструкції такої контрольної поверхні, має розглядатись варіант в якому було б максимально використано природні ландшафтні об’єкти природно-територіального комплексу (особливості рельєфу території смуги впливу автодороги, наявність лісових масивів, напрям водотоків та контури берегів поверхневих водних об’єктів тощо).

Найхарактернішими прикладами використання елементів природного ландшафту, як контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” є ділянки автомобільних доріг, які перетинають лісові масиви.

За результатами картографічного оцінювання встановлено, що при загальній залісненості території України 15,9 % [79], протяжність автомобільних доріг, які лежать в межах лісових масивів, є безпосередньо дотичними (суміщеними) до них, або перетинають ці масиви, становить близько 1,5 % (без урахування газо-пилозахисних лісосмуг). Це, в першу чергу такі автомобільні дороги міжнародного значення як: M01 (E95), M02 (E101, E391), M06 (E40, E471), M07 (E373), M08, M09 (E372), M10, M11, M12 (E50), M23 (E58, E81) тощо. Приклад поперечного профілю

автомобільної дороги, яка розташована в межах лісового масиву наведено на рис.4.25.

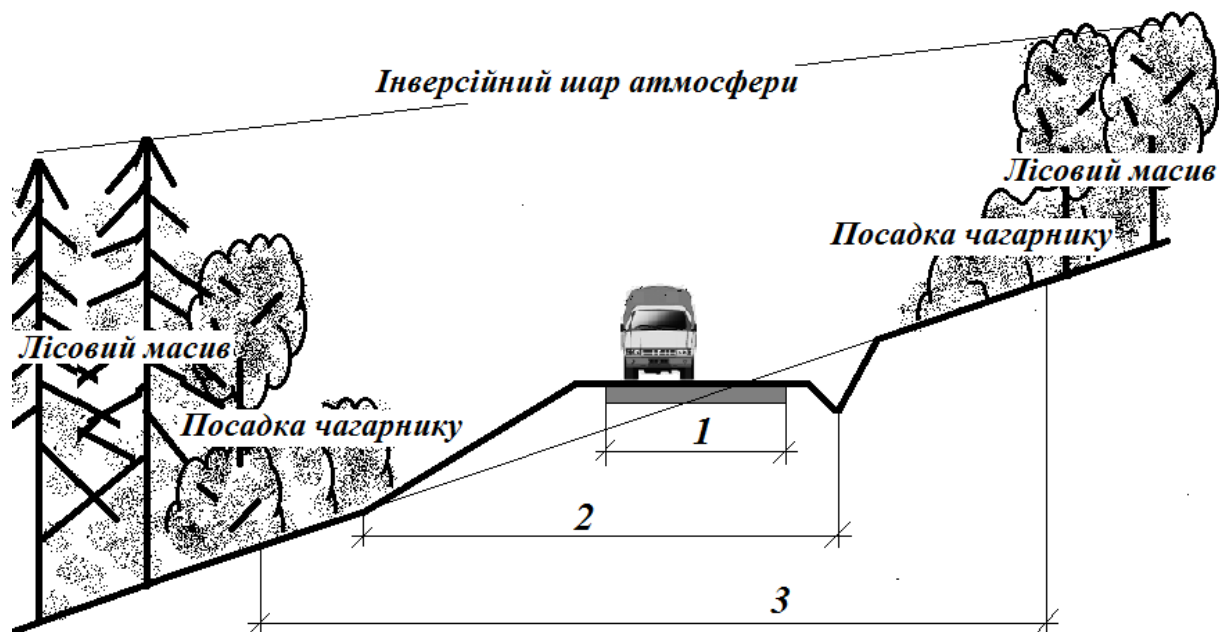


Рис.4.25. Поперечний профіль автомобільної дороги, яка розташована в лісовому масиві: 1 – проїжджа частина, 2 – земляне полотно, 3 – резервно-технологічна смуга

Конструкційним розвитком найефективнішого (з точки зору захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу автотранспортної мережі) ландшафтного варіанту комунікаційної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка передбачає прокладення траси автомобільної дороги за лісовим масивом, є варіант створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар’єрів у вигляді газо-пилізахисних деревно-чагарникових лісосмуг, як складової частини інженерної інфраструктури автомобільно-комунікаційного комплексу.

4.6. Екологічна ефективність застосування газо-пилізахисних лісосмуг деревно-чагарникового типу

Як було зазначено в розділі I, одним з найефективніших заходів підтримання екологічної рівноваги природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею є створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар'єрів у вигляді лісових газо-пилізахисних смуг деревно-чагарникового типу, структура посадки яких передбачає наявність лабіринту фітоценотичних ніш (штучно створюваних лакунарних порожнин), які обмежують міграцію пилових мінеральних забруднювачів за межі смуги відведення автомобільної дороги [57, 155, 216, 218].

Разом із тим пропонована конструкція газо-пилізахисної смуги при наявності лакунарних порожнин, які виконані відповідно до вимог (3.67), (3.68) і графічно відповідають схемі порожнин на рис.3.20, не повною мірою задовольняють вимогам формування інверсійного шару атмосфери на зрізах швидкостей і напрямків фонових та “долинних” повітряних потоків, який сформовано в профілі поперечного перерізу автомобільної дороги (рис.3.30). Це зумовлено тим, що штучно створена лакунарність верхнього ярусу газо-пилізахисної лісосмуги (відсутність крон окремих деревних рослин головної породи) призводить до розбалансування аеродинамічних властивостей повітряних потоків внаслідок порушення прямолінійності верхнього контуру поперечного профілю смуги (рис.1.25). Як наслідок знижуються газозахисні властивості лісосмуги. Для запобігання зазначеного недоліку запропоновано раціоналізований варіант газо-пилізахисної лісосмуги, який передбачає штучне створення лабіринту лакунарних порожнин лише у нижньому та середньому ярусах деревно-чагарникових насаджень лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг. Горизонтальний план посадки деревних і чагарникових рослин такої лісосмуги (для автомобільної дороги категорії 2) наведено на рис.4.26.

Експериментальна перевірка екологічної ефективності застосування газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг виконувалась в реальних умовах на спеціально підготовленій ділянці автомобільної дороги Н-03 Житомир – Чернівці (247-й кілометр) категорії 2 (за показником

інтенсивності руху) на час проведення (липень-вересень 2014 року і січень-березень 2015 року) експерименту (рис.4.27), а також за допомогою спеціально розроблених стендів для моделювання аеродинамічних процесів в масивах газо-пилізахисних лісосмуг. Основні статистичні характеристики швидкості повітряних потоків визначались відповідно до прогнозних даних meteorprog.ua/ua/weather/ КаменецьПодольськ.

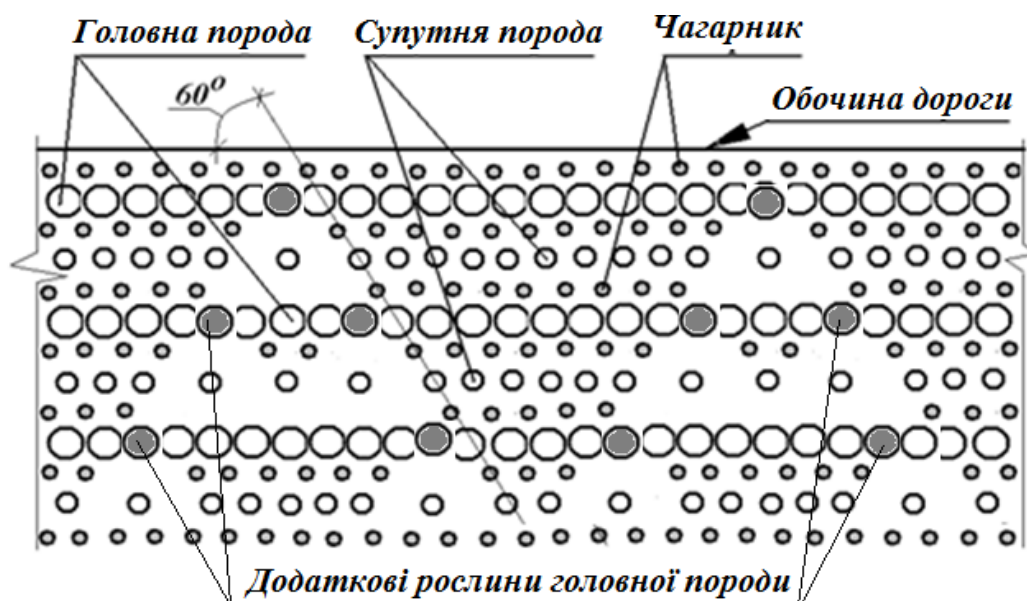


Рис.4.26. Горизонтальний план посадки деревних і чагарникових рослин у лісовій газо-пилізахисній смузі з лабіринтом лакунарних порожнин середнього та нижнього ярусів та оптимізованими аеродинамічними властивостями



Рис. 4.27. Ділянка 247 км автомобільної дороги Н-03

Камеральні експерименти виконувались у сертифікованих лабораторіях за стандартними методиками у відділі інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної інспекції в Хмельницькій області та Хмельницького обласного державного проектно-технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції (додаток Ц). Основні результати експериментального оцінювання екологічної ефективності застосування газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг наведено в таблицях 4.9-4.11.

Встановлено, що контрастність газо-пилізахисної смуги автодорожньої мережі значною мірою залежить від конструкції захисної смуги, її ажурності та напрямку і швидкості переважаючого повітряного потоку. Межі варіювання показника K контрастності моделі газо-пилізахисної смуги для автодороги категорії 2 становлять $K=5,21-15,04$. При цьому, найвищий показник $K=15,04$ відповідає мінімальним значенням кута ($\sim\alpha=30^\circ$) вектора повітряного потоку до площини аверсної сторони смуги та показника ажурності ($\sim K^a=0,12$) і максимальному значенню швидкості ($\sim V=8,3$ м/с) повітряного потоку. Відповідно, мінімальні значення $K=5,21-5,29$ визначені для факторів: $\sim\alpha=90^\circ$ – напрям повітряного потоку є нормальним до площини аверсної сторони смуги; $\sim V=3,7$ м/с – мінімальна досліджувана в експерименті швидкість повітряного потоку; $\sim K^a=0,59$ – максимальний показник ажурності захисної смуги (втрата листкової частини крони дерев і чагарників в зимовий період).

Залежність показника K контрастності лісової газо-пилізахисної смуги автодороги від напрямку повітряних потоків (відрізняється в $\sim 1,5-2,3$ рази), їх швидкості (відповідно – в $\sim 1,2-1,5$ рази) та від показника K^a ажурності крон дерев і чагарників (в зимовий період контрастність смуги зменшується в $\sim 1,2-1,6$ рази) однозначно визначає необхідність урахування погодно-кліматичних факторів та ландшафтно-територіальних

Таблиця 4.9

Результати визначення коефіцієнту контрастності лісової газо-пилосахисної смуги

Кут поміж напрямком вектору повітряного потоку та площиною аверсної сторони моделі смуги α , град.		30		60		90			
		K^{α_1}	K^{α_2}	0,12	0,59	0,12	0,59	0,12	0,59
Коефіцієнт ажурності крони лісосмуги K^{α}	V_1	На аверсному боці лісосмуги	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
		На реверсному боці лісосмуги	0,54	0,90	0,80	1,21	1,11	1,29	1,29
	V_2	На аверсному боці лісосмуги	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Швидкість повітряного потоку	V_2	На реверсному боці лісосмуги	0,31	0,48	0,51	0,65	0,71	0,70	0,70
		$K=f(K^{\alpha_1}, V_1)$	15,04	9,22	10,38	6,92	7,55	6,39	6,39
Коефіцієнт контрастності лісосмуги $K=f(K^{\alpha}, V)$	V_2	$K=f(K^{\alpha_1}, V_2)$	11,94	7,71	7,24	5,69	5,21	5,29	5,29
		$K=f(K^{\alpha_2}, V_2)$							

Таблиця 4.10

Вміст забруднюючих речовин в крайніх точках
аверсної та реверсної сторін поперечного перерізу
газо-пилозахисної смуги, мг/м³ (червень 2014 р.)

Речовина	Точки замірів				
	I	II	III	IV	Середнє значення
Аверсна сторона смуги					
<i>CO</i>	4,35	4,63	4,75	4,77	4,625
<i>NO_x</i>	0,087	0,082	0,078	0,080	0,082
<i>SO₂</i>	0,077	0,071	0,075	0,073	0,074
Реверсна сторона смуги					
<i>CO</i>	0,50	0,41	0,49	0,43	0,458
<i>NO_x</i>	0,0085	0,0072	0,0086	0,0079	0,008
<i>SO₂</i>	0,0090	0,0086	0,0094	0,0096	0,009
Контроль (без газо-пилозахисної смуги)					
<i>CO</i>	2,75	2,41	2,90	2,68	2,685
<i>NO_x</i>	0,088	0,079	0,061	0,062	0,073
<i>SO₂</i>	0,029	0,022	0,019	0,030	0,025

Таблиця 4.11

Вміст забруднюючих речовин в крайніх точках
аверсної та реверсної сторін поперечного перерізу
газо-пилозахисної смуги, мг/м³ (лютий 2015р.)

Речовина	Точки замірів				
	I	II	III	IV	Середнє значення
Аверсна сторона смуги					
<i>CO</i>	4,63	4,58	4,19	4,51	4,495
<i>NO_x</i>	0,080	0,078	0,071	0,072	0,075
<i>SO₂</i>	0,069	0,058	0,072	0,071	0,068
Реверсна сторона смуги					
<i>CO</i>	1,81	1,26	0,97	1,94	1,479
<i>NO_x</i>	0,0280	0,0360	0,0195	0,0267	0,028
<i>SO₂</i>	0,0139	0,0202	0,0190	0,0086	0,015
Контроль (без газо-пилозахисної смуги)					
<i>CO</i>	3,41	3,21	3,21	3,42	3,313
<i>NO_x</i>	0,043	0,041	0,048	0,043	0,044
<i>SO₂</i>	0,029	0,032	0,022	0,021	0,026

особливостей конкретної природно-техногенної геоекосистеми в процесі проектування автодорожньої мережі. та розробки конструкції газо-пилозахисних смуг деревно-чагарникового типу, як геохімічних бар'єрів міграційних потоків забруднюючих речовин.

Порівняння співвідношення фактичних концентрацій забруднюючих речовин за інгредієнтами CO , NO_x , SO_2 (відповідно ДСТУ ISO 6879-2003 Якість повітря. Характеристики і настанови щодо вимірювання якості повітря, ISO 6879:1995, IDT) на аверсній та реверсній сторонах газо-пилозахисної смуги деревно-чагарникового типу з показниками їх ГДК_{сд} свідчать про ефективність її ізолюючих властивостей. Так, якщо на аверсній стороні смуги, під час проведення досліджень концентрація забруднюючих речовин $C_{i,аверс}$ перевищувала значення відповідних ГДК_{сд} в 1,4–2,1 рази, то на реверсній стороні їх концентрація коливалась в межах:

- в літній період:
 - по CO – $(0,14-0,17) \cdot ГДК_{сд, CO}$;
 - по SO_2 – $(0,16-0,20) \cdot ГДК_{сд, SO_2}$;
 - по NO_x – $(0,18-0,21) \cdot ГДК_{сд, NO_x}$;
- в зимовий період:
 - по CO – $(0,32-0,64) \cdot ГДК_{сд, CO}$;
 - по SO_2 – $(0,18-0,41) \cdot ГДК_{сд, SO_2}$;
 - по NO_x – $(0,49-0,88) \cdot ГДК_{сд, NO_x}$.

Встановлено також, що в разі якщо ефективність захисних властивостей газо-пилозахисної лісосмуги по забруднюючих інгредієнтах CO , NO_x , SO_2 в літній період обрати за 1,0, то її ефективність по тих же інгредієнтах в зимовий період становитиме $\sim 0,32-0,77$. При цьому, за умови відсутності газо-пилозахисної смуги (контроль), зменшення рівнів забруднення атмосферного повітря на відстані 24 м від полотна проїжджої частини автомобільної дороги категорії 2 становить лише $\sim 0,6-0,9$ разів і мало відрізняється влітку та взимку. Отже, загальна ефективність захисних

(ізолюючих) властивостей газо-пилозахисних лісосмуг деревно-чагарникового типу пропонованої конструкції за газоподібними викидами, які продукуються автотранспортними потоками, для автомобільних доріг категорії 2 може бути визначена на рівні на рівні 70...80 % у порівнянні з контрольним варіантом (відсутність газо-пилозахисної лісосмуги).

Характер депонування пилових викидів, які продукуються автотранспортним потоком визначався за вмістом депонованого у ґрунті газо-пилозахисної лісосмуги аморфного вуглецю (сажі) та рухомих сполук свинцю відповідно до методик ДСТУ (ISO) 14235: 2005 “Якість ґрунту. Визначення органічного вуглецю”; ДСТУ 4289: 2004 “Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини”; ДСТУ 4770.9: 2007 “Визначення вмісту рухомих сполук свинцю у ґрунті” [96, 123, 125, 153]. Результати зазначених експериментальних досліджень (додаток Ч) наведено в таблиці 4.12 і таблиці 4.13.

Таблиця 4.12

Розподіл маси депонованого вуглецю за профілем поперечного перерізу конструкції лісової газо-пилозахисної смуги автомобільної дороги категорії 2 (усереднені дані)

Номер точки відбору проби	Номер бюксу	Вміст вуглецю, мг/кг
1	148	26,6
2	249	24,2
3	174	27,2
4	176	31,2
5	167	28,2
6	145	17,6

За результатами експериментального визначення вмісту вуглецю в окремих точках ґрунтового покриву профілю поперечного перерізу лісової газо-пилозахисної смуги визначено топографічний характер розподілу інтенсивності депонування пилових викидів (сажі) автотранспортним комплексом (автотранспортним потоком) за структурними ознаками деревно-чагарникової посадки (рис.4.28).

Таблиця 4.13

Розподіл маси депонованого свинцю за профілем поперечного перерізу конструкції лісової газо-пилзахисної смуги автомобільної дороги категорії 3(усереднені дані)

Номер точки відбору проби	Номер бюксу	Вміст свинцю, мг/кг
1	148	54,2
2	249	14,7
3	174	39,6
4	176	51,8
5	167	12,4
6	145	7,1

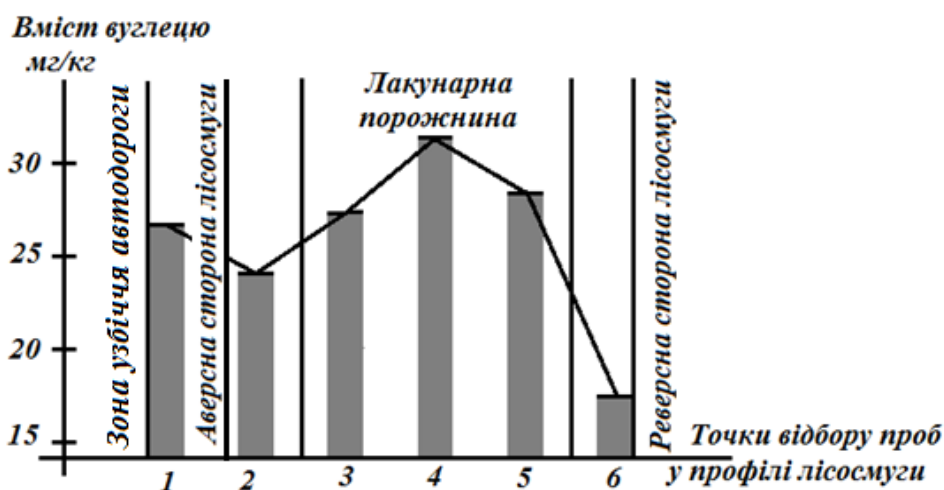


Рис.4.28. Характер розподілу обсягів та інтенсивності депонування пилових викидів (за масою депонованого вуглецю) в профілі поперечного перерізу лісової газо-пилзахисної смуги

Характер розподілу вільного вуглецю (сажі) за профілем поперечного перерізу лісової газо-пилзахисної смуги (для конструкції лісосмуги автомобільної дороги категорії 2) чітко визначає інтенсифікацію процесу депонування пилових забруднювачів автотранспортного потоку в межах штучно створеної лакунарної порожнини (фітоценотичної ніші). Так встановлено, що на аверсній стороні захисної лісосмуги (зона узбіччя загальної ширини смуги відведення автомобільної дороги) депонується ~17% загального обсягу пилових викидів, а частка депонування пилових викидів у ґрунті в межах лакунарної порожнини становить ~57%, тоді як в

зонах суцільної деревно-чагарникової посадки лісосмуги депонується лише ~26%, що майже в 2,2 рази менше. При цьому, експериментально визначений рівень захищеності приляглої території смуги відведення автомобільної дороги категорії 2 при наявності лісової газо-пилізахисної смуги типової конструкції із штучно створеними лакунарними порожнинами (фітоценотичними нішами) не гірший (за показником розподілення маси вільного вуглецю) за $90\pm 3\%$.

Аналогічні результати щодо характеру депонування пилових викидів автотранспортного комплексу масивом лісової газо-пилізахисної смуги для досліджуваної ділянки автомобільної дороги категорії 2 отримано на підставі результатів експериментального визначення розподілу важких металів (на прикладі *Pb*) у ґрунті лісосмуги [109]. За результатами експериментального визначення вмісту свинцю в окремих точках ґрунтового покриву профілю поперечного перерізу лісової газо-пилізахисної смуги визначено топографічний характер розподілу інтенсивності депонування пилових викидів (важких металів) автотранспортним комплексом за структурними ознаками деревно-чагарникової посадки (рис.4.29).

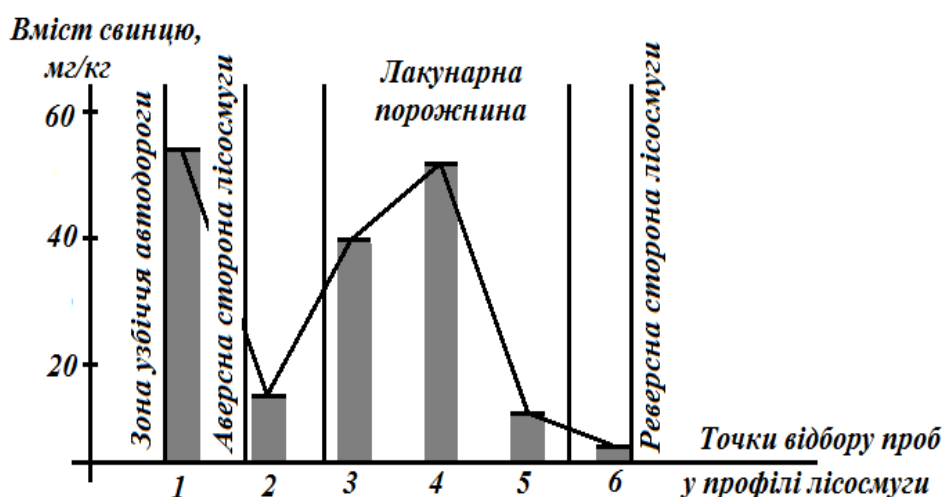


Рис.4.29. Характер розподілу обсягів та інтенсивності депонування пилових викидів (за масою депонованого свинцю) в профілі поперечного перерізу лісової газо-пилізахисної смуги

Результати аналізу питомого вмісту сполук свинцю у ґрунті профілю поперечного перерізу газо-пилозахисної лісосмуги (за характером розподілу часток від загальних обсягів викидів автотранспортними потоками) є значною мірою ідентичними до результатів щодо розподілу в масиві смуги пилових забруднювачів, які визначено за вмістом у ґрунті вільного вуглецю (сажі) [31]. Так, в зоні лакунарної порожнини зосереджено ~83% загального обсягу сполук свинцю, які депонуються в межах деревно-чагарникової посадки газо-пилозахисної лісосмуги (58% загального обсягу викидів). При цьому, експериментально визначена частка пилових викидів (за сполуками свинцю) на реверсній стороні лісосмуги не перевищує ~4%, що визначає рівень захищеності пришляхової території смуги відведення автомобільної дороги категорії 2 при наявності лісової газо-пилозахисної смуги типової конструкції із штучно створеними лакунарними порожнинами (фітоценотичними нішами) не гірший за $96\pm 3\%$.

Таким чином експериментально доведено, що штучно створювані лакунарні порожнини (фітоценотичні ніші) в масивах деревно-чагарникових посадок лісових газо-пилозахисних смуг автомобільних доріг забезпечують підвищення рівнів захисту територій, прилеглих до смуги відведення автодороги, від пилових викидів продукуваних автотранспортним комплексом (автотранспортними потоками). Встановлено, що в зоні лакунарних порожнин лісосмуги депонується до 60% загального обсягу пилових викидів.

Важливим показником екологічної безпеки експлуатації автотранспортної мережі є здатність природно-техногенної системи до інтенсивного відновлення “стандартного” складу атмосфери (розділ I), в тому числі до репродукування фонових значень вмісту кисня в атмосферному повітрі (розділ II). Результати експериментального визначення питомого вмісту кисню в атмосферному повітрі на аверсній та реверсній сторонах лісової газо-пилозахисної смуги (відповідно ДСанПіН 2.2.7.029, за методикою міждержавного стандарту ГОСТ 17.2.3.01-86

“Охрана природы. Атмосфера”) в літній та зимовий періоди року наведено в таблиці 4.14 і таблиці 4.15 відповідно.

Таблиця 4.14

Вміст кисню в атмосфері на аверсній та реверсній сторонах поперечного перерізу лісової газо-пилізахисної смуги, мг/м³ (липень 2014 р.)

Інгредієнт	Точки замірів				Середнє значення
	I	II	III	IV	
Аверсна сторона смуги					
O ₂	17,4	16,9	17,2	16,8	17,075
Реверсна сторона смуги					
O ₂	21,3	20,6	21,2	20,5	20,900

Таблиця 4.15

Вміст кисню в атмосфері
на аверсній та реверсній сторонах поперечного перерізу
лісової газо-пилізахисної смуги, мг/м³ (лютий 2015 р.)

Інгредієнт	Точки замірів				Середнє значення
	I	II	III	IV	
Аверсна сторона смуги					
O ₂	18,7	18,3	18,4	17,6	18,250
Реверсна сторона смуги					
O ₂	21,9	20,2	21,6	20,8	21,125

За даними результатів експерименту визначено відновлювані властивості лісової газо-пилізахисної смуги (в літній і зимовий періоди року) за часткою відновленого кисню (таблиця 4.16 і таблиця 4.17) з урахуванням показника питомого вмісту O₂ в “стандартній атмосфері” [30], який становить 25,1 мг/м³. Встановлено, що для лісової газо-пилізахисної смуги автомобільної дороги категорії 2 частка відновленого кисню масивом деревно-чагарникових насаджень становить влітку 45...51% (середнє значення – 47,7%), а в зимовий період року – 28...50% (середнє значення – 42%) – рис.4.30.

Таблиця 4.9

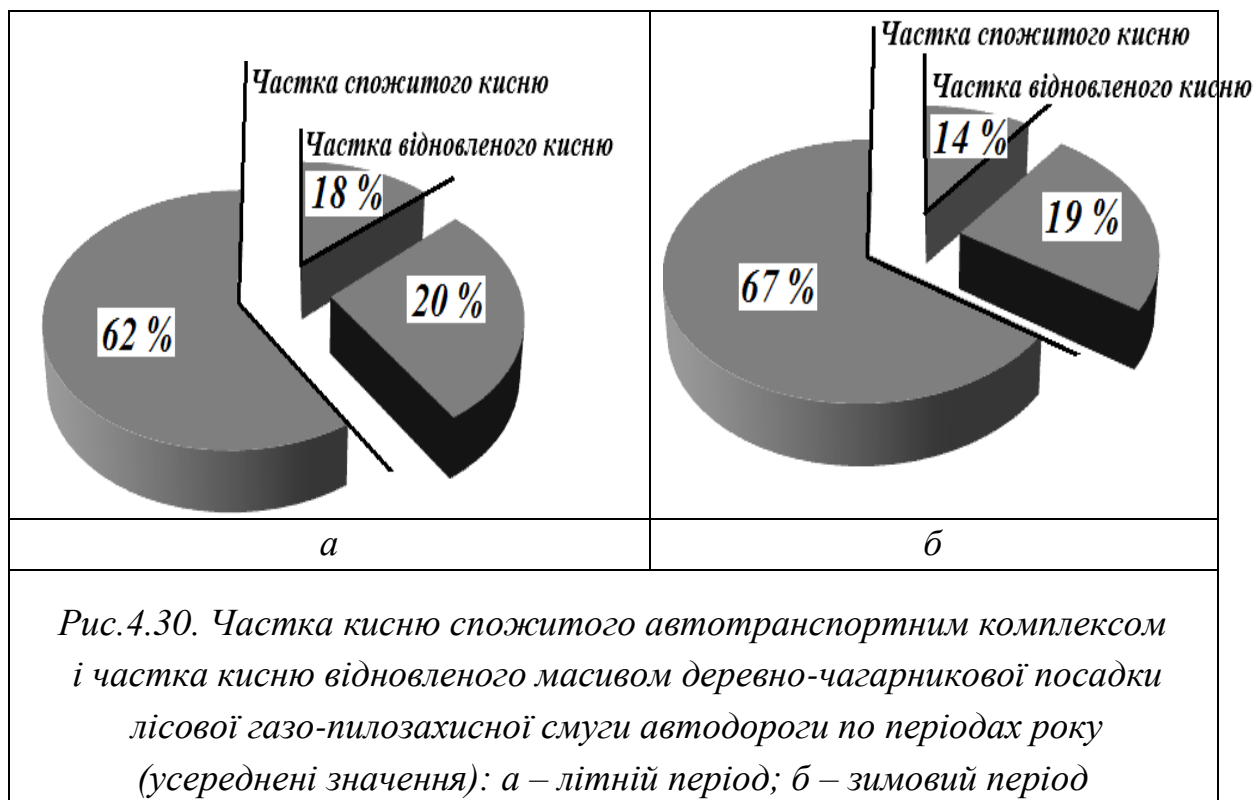
Відновлювальні властивості лісової газо-пилізахисної смуги
за результатами вимірювання вмісту кисню
на її аверсній та реверсній сторонах, $мг/м^3$ (липень 2014 р.)

Інгредієнт	Точки замірів				Середнє значення
	I	II	III	IV	
Витрати кисню автотранспортним потоком (за результатами вимірювання вмісту кисню на аверсній стороні смуги)					
Витрати O_2	7,7	8,2	7,9	8,3	8,025
Відновлення вмісту кисню в атмосферному повітрі (за результатами вимірювання вмісту кисню на реверсній стороні смуги)					
Відновлена кількість O_2	3,9	3,7	4,0	3,7	3,825
Частка відновленого кисню, %					
Частка відновленого O_2 , %	50,6	45,1	50,6	44,6	47,7

Таблиця 4.10

Відновлювальні властивості лісової газо-пилізахисної смуги за
результатами вимірювання вмісту кисню на її аверсній та реверсній
сторонах, $мг/м^3$ (лютий 2015 р.)

Інгредієнт	Точки замірів				Середнє значення
	I	II	III	IV	
Витрати кисню автотранспортним потоком (за результатами вимірювання вмісту кисню на аверсній стороні смуги)					
Витрати O_2	6,4	6,8	6,7	7,5	6,850
Відновлення вмісту кисню в атмосферному повітрі (за результатами вимірювання вмісту кисню на реверсній стороні смуги)					
Відновлена кількість O_2	3,2	1,9	3,2	3,2	2,875
Частка відновленого кисню, %					
Частка відновленого O_2 , %	50,0	27,9	47,8	42,7	42,0



Якщо, частку відновлення питомої маси кисню, визначити як опосередкований показник газозахисних властивостей лісосмуги, то можна стверджувати про те, що лісові газо-пилізахисні смуги з штучно створеними (спроєкованими) лакунарними порожнинами (фітоценотичними нішами) зберігаючи газозахисні властивості типових конструкцій лісосмуг забезпечують підвищення рівнів захисту територій, прилеглих до смуги відведення автодороги, від дисперсної фази аерозолів, продукованих автотранспортними потоками, за рахунок депонування у масиві смуги не менше 90% пилових викидів.

4.7. Дотримання екологічної безпеки

ландшафтів природно-територіальних комплексів,
які трансформовано автотранспортною мережею

Метою ландшафтного проектування є не лише створення автомобільної дороги, яка забезпечувала б її високі транспортно-

експлуатаційні властивості, зручність і безпеку руху, але і сприяла б збереженню природних ознак та властивостей ландшафту природно-техногенної геоекосистеми вцілому [273, 289].

Узгодження траси автомобільної дороги з ландшафтними ознаками має бути засноване на вимогах (розділ I) фрактальної інваріантності природних об'єктів ландшафту та штучних споруд інженерної інфраструктури автотранспортної мережі, тобто мають бути дотримані, так звані вимоги масштабності. При цьому, необхідно враховувати, що автомобільна дорога, як правило, є екологічним бар'єром [103, 108, 110], тобто межевою лінійною спорудою, яка не лише розчленовує ландшафт природно-територіального комплексу, але і призводить до трансформації всіх без винятку природних процесів в межах всієї природно-техногенної геоекосистеми (рис.4.31).

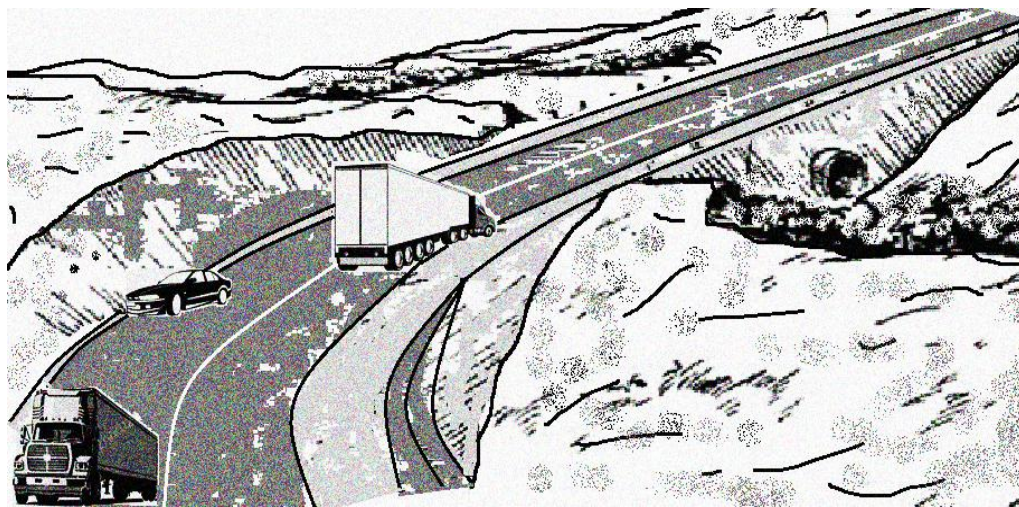


Рис.4.31. Характер розчленування ландшафту природно-територіального комплексу трасою автомобільної дороги

Загалом, ландшафтна організація природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею має розглядатись, як деякий мозаїчний комплекс складений з окремих ландшафтно-архітектурних (ландшафтно-територіальних) басейнів [101, 114], які характеризуються єдністю спільних ландшафтних ознак (сумірністю фрактальних розмірностей природних об'єктів і штучних споруд інженерної

інфраструктури автодорожньої мережі). Кожний ландшафтно-територіальний басейн топологічно має характеризуватись головними осями і геометричним центром цих осей, і обмежуватись деякими домінантами басейнового фрагменту природно-техногенної геоекосистеми. Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну (вздовж траси автодороги) має визначатись характером візуального сприйняття єдності архітектурного сприйняття ділянки дороги і для автомобільних доріг різних категорій визначається як:

$$L_6 = v_{\text{ТП}} \cdot t \quad (4.47)$$

де $v_{\text{ТП}}$ – швидкість автотранспортного потоку;

t – час подолання автотранспортним потоком ландшафтно-територіального басейну, який відповідно до рекомендацій [132] має бути $t \leq 10$ хв.

Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну для автомобільних доріг різних категорій, визначений відповідно (4.47) наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

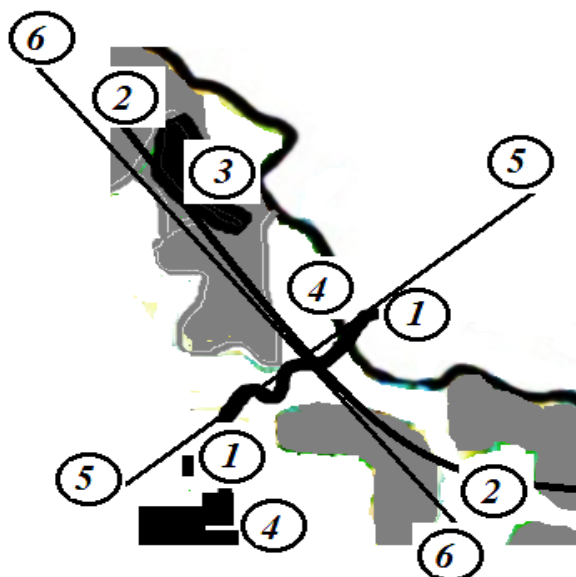
Максимальний лінійний розмір L_6
ландшафтно-територіального басейну трасування
автомобільних доріг, м

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1а, 1б	2	3
Максимальний лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну трасування автомобільних доріг, м	22×10^3	19×10^3	16×10^3

Мінімізація впливу автомобільної дороги, як екологічного бар'єру, на ландшафт природно-техногенної геоекосистеми має передбачати топографічне виявлення деякого екологічно безпечного “коридору”, в якому траса перебувала б у найменшому конфлікті з морфологічними

ознаками ландшафтно-територіального басейну. Особливо помітним протиріччя природного ландшафту і техногенної інфраструктури автомобільної дороги спостерігається в рівнинному рельєфі, де будівельна висота конструкції автодороги практично сумірна з вертикальними розмірами мезорельєфу території.

Характерним прикладом узгодження траси автомобільної дороги з ландшафтними ознаками природно-техногенної геоекосистеми є ділянка автодороги Н-03, яка перетинає Подільський Кряж в межах Національного природного парку (НПП) “Подільські Товтри” (рис.4.32).



*Рис.4.32. Ділянка автомобільної дороги Н-03 в межах Національного природного парку “Подільські Товтри”:
1-1 – траса автомобільної дороги Н-03; 2-2 – характерна ландшафтна вісь пасма Подільського кряжу; 3 – територія суворого заповідання в межах НПП “Подільські Товтри”; 4-4 – межові домінанти ландшафтно-територіального басейну; 5-5 і 6-6 – головні осі ландшафтно-територіального басейну природно-техногенної геоекосистеми*

В межах ландшафтно-територіального басейну природно-техногенної геоекосистеми, який лінійно обмежено домінантами 4-4 (межа міста Кам’янець-Подільський та улоговина пасма Подільського кряжу 2-2)

обираємо вісь 5-5, як головний напрямок трасування автомобільної дороги та допоміжну вісь 6-6. При цьому, напрям осі 5-5 співпадає з поздовжнім напрямком екологічно-безпечного “коридору”, який топологічно визначений поперечним до 2-2 напрямком. Головні осі 5-5 та 6-6 ландшафтно-територіального басейну мають не перетинати територію з суворого заповідання в межах НПП. Таким чином, трасування автомобільної дороги Н-03 (1-1) вздовж головної осі (5-5) забезпечує мінімізацію техногенного навантаження на об’єкти природно-територіального комплексу Національного природного парку “Подільські Товтри”.

Отже, основними принципами узгодження інфраструктури автомобільної дороги з природним ландшафтом є:

- збереження фрактально-інваріантних ознак ландшафтно-територіальної організації природно-територіального комплексу, що має бути реалізованим на стадії опрацювання варіантів плану трасування автомобільної дороги;
- інтегрування інженерної інфраструктури автомобільної дороги в ландшафт природно-територіального комплексу, як невід’ємного об’єкту природно-техногенної геоекосистеми (автодорога є елементом ландшафту, на відміну від створення ландшафтних об’єктів, які обслуговують дорожню інфраструктуру);
- підвищення рівня автотранспортної ємності природно-техногенної геоекосистеми шляхом створення штучних об’єктів ландшафту, які системно підсилюють геоморфологічні ознаки ландшафтно-територіального басейну автомобільної дороги.

4.8. Висновки за розділом IV

За результатами розглянутих методів еколого-технологічної оптимізації функціонування об'єктів інфраструктури автотранспортних мереж встановлено:

1. Визначене за критеріями неперервності кусочно-лінійної функції, мінімальне значення інтенсивності руху автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак колективного синхронізованого (когерентного) руху в складі автотранспортного потоку становить $3,0 \times 10^3$ авт./добу, що відповідає нормованим значенням інтенсивності руху для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3.

2. Основними чинниками, які визначають динаміку забруднення природно-техногенних геоекосистем внаслідок функціонування автотранспортного комплексу, є показник автотранспортної ємності території та ландшафтні особливості трасування і конструкційні параметри автодорожньої мережі, її технічний стан та експлуатаційні показники, наявність газо-пилезахисної інфраструктури в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг та синхронність (когерентність) колективного руху автотранспортних потоків на всіх без винятку ділянках автодорожньої мережі.

3. Пропонований метод оптимізації автотранспортних мереж та конструкційних параметрів профілю поперечних перерізів резервно-технологічних смуг автомобільних доріг, який полягає у графо-аналітичному моделюванні структури і складу автотранспортних потоків, дозволяє підвищити “пропускну здатність” конкретних ділянок автотранспортних мереж, в тому числі і на ділянках з особливими умовами руху, забезпечити синхронізацію колективного руху автотранспортних засобів, що зумовлює стабілізацію режимів роботи їх двигунів і, як наслідок забезпечує зменшення обсягів газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками.

4. Для мінімізації ефекту “розсинхронізації” колективного руху автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі та на ділянках автомобільних доріг з великою кривизною траси (серпантини, “шпильки” тощо) траєкторії руху основних автотранспортних потоків мають бути окреслені в плані спряженими кривими другого порядку, як правило спряженими гіперболами.

5. Екологічна оптимізація конструкційних рішень комунікаційної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” має передбачати максимально можливе обмеження динамічних процесів енерго-масопереносу через контрольну поверхню цієї системи, яка визначена розмірами резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. При цьому, обов’язковою умовою конструкційної оптимізації системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” є узгодження інженерної інфраструктури автодорожньої мережі з територіально-ландшафтними ознаками природно-територіального комплексу природно-техногенної геоекосистеми вцілому.

6. Основним принципом узгодження інфраструктури автомобільної дороги з об’єктами природного ландшафту є узгодження фрактально-інваріантних ознак ландшафтно-територіальної організації природно-територіального комплексу та об’єктів інженерної інфраструктури автодорожньої мережі, що має бути реалізованим на стадії опрацювання варіантів плану трасування автомобільної дороги.

7. Ефективним заходом підтримання екологічної рівноваги природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автотранспортних мереж є створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар’єрів у вигляді лісових газо-пилізахисних смуг деревно-чагарникового типу, структура посадки яких передбачає наявність лабіринту штучно створюваних лакунарних порожнин у вигляді фітоценотичних ніш, а її профіль має бути окреслено нерівнобічною трапецією з кутами нахилу бічних сторін: аверсної $\sim 20^\circ$ та реверсної $\sim 30^\circ\text{--}50^\circ$ і висотою > 15 м.

РОЗДІЛ V
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ
ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ АВТОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ.
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ
ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Прогнозування якості проєктів будівництва та реконструкції
автомобільних доріг за показниками екологічної безпеки

При розробленні проєктів будівництва та реконструкції автотранспортної мережі першочергового значення набуває забезпечення фіксованих рівнів екологічної безпеки ландшафтних чинників природно-техногенних геоекосистем з точки зору прогнозування динаміки та особливостей розвитку антропогенної зміни ландшафтів і процесів їх техногенної трансформації, здатних впливати на будь-які об'єкти природно-територіального комплексу [32, 34, 102, 142]. Більшість формалізованих методів прогнозування якості (в тому числі і екологічної якості технічних систем) засновані на оцінюванні передбачуваних ризиків, як поєднання ймовірностей та наслідків несприятливих подій у вигляді відмови функціонування того або іншого технічного об'єкту або інженерної споруди:

$$P_- + P_+ = 1 \quad (5.1)$$

де P_- – ймовірність відмови об'єкту технічної системи (інженерної споруди);

P_+ – ймовірність безвідмовної роботи технічної системи (інженерної споруди).

На відміну від більшості інженерно-технічних систем для автомобільної мережі (об'єктів інфраструктури автомобільних доріг)

неможливо визначити деякий граничний стан, за якого необхідним є повне припинення експлуатації автотранспортного комплексу [170]. Складність і недостатня розробленість загальнонаукової методології прогнозування циклів забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею зумовлюють спрямованість прогнозного оцінювання, як правило, у межах лише кількох компонентів (чинників) ландшафту, який трансформується внаслідок функціонування автотранспортного комплексу.

5.1.1. Визначення властивостей ознак природно-техногенної геоекосистеми

Об'єктивність оцінки прогнозованого стану природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею є визначальним чинником при виборі оптимального варіанту проєкту на будівництво або реконструкцію мережі автомобільних доріг. Стан об'єктів проєктованої системи, з огляду на різні рівні їх складності, визначається рядом чинників (параметрів) і носить характер багатопараметричного. Відомо [166], що така система визначається комплексом значень ознак і відповідно до визначення Мітчерліха [203] не може бути описана одним параметром, вона (система) завжди є суттєво багатопараметричною. Розрізненість цих параметрів, як за фізичною сутністю, так і за їх розмірностями, не дозволяє формалізувати оцінку системи в цілому. Отже, реалізація такої задачі є достатньо складною у зв'язку з невизначеним (необмежено великим) обсягом відповідних параметрів (ознак) та їх нормованих показників [204, 207].

В загальному випадку при порівнянні інформації про декілька однофункціональних систем (проєктів автотранспортної мережі) ці системи (проєкти) матимуть різні значення однотипних показників. При цьому, за певною групою ознак може бути кращою одна система (проєкт), за іншою групою ознак – інша система (проєкт) і так далі [260]. Тому, для аналітичної

формалізації якості розглядуваних проєктів автотранспортних мереж необхідно визначити характер динаміки ознак за якими визначається оптимальний варіант порівнюваних проєктів [195].

Визначимо як додатні властивості X^+ , ознаки системи (проєкту), які із збільшенням числового значення параметру, який характеризує цю ознаку, призводять до збільшення показника якості системи (проєкту) вцілому. До таких ознак можна віднести автотранспортну ємність [авт/км²] території природно-техногенної геоекосистеми, перспективну пропускну здатність [авт/добу] автомобільної дороги, синхронізовану швидкість автотранспортного потоку [км/годину] тощо.

Аналогічно, будемо визначати властивість (ознаку) X^- як від'ємну, якщо із збільшенням числового значення параметру, який характеризує цю властивість, показник якості системи (проєкту) вцілому зменшується. До таких ознак необхідно віднести питомі витрати палива [л/км] автотранспортним потоком і питомі обсяги шкідливих викидів [кг/км], які продукуються потоками автотранспортних засобів, питомі витрати палива [кг/км] показник розсинхронізації швидкості колективного руху автотранспортного потоку у вигляді амплітуди варіювання щільності потоку [авт/годину] тощо.

Окрім необмежено і неперервно змінюваних (в певному доцільному інтервалі) додатних і від'ємних властивостей система (проєкт системи) може характеризуватись також певною групою властивостей X^0 з двобічним обмеженням оптимального значення. При цьому, найвищий показник якості системи (проєкту) ці властивості забезпечують за певного (однозначно визначеного, нормованого) числового значення показника властивості (ознаки) і при збільшенні або зменшенні значення цього показника якість системи знижується. Прикладом такої ознаки є конструкційні розміри [м] об'єктів поперечного профілю резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

На відміну від вищезазначених характеристик властивостей (ознак) системи необхідно їх розрізняти також і за характером неперервності значення числового параметру:

- неперервною є властивість (ознака), числові значення якої можуть набувати будь-яких значень (в тому числі і ірраціональних) у визначених межах існування даної властивості;
- дискретною є властивість (ознака), яка може набувати лише певних (чітко визначених) числових значень і зміна числового значення такої властивості відбувається стрибком від одного числового значення до іншого (найчастіше це натуральні числа, рідше можуть бути раціональні дроби).

На відміну від неперервних числових показників, дискретні числові властивості відповідних ознак будемо позначати як: Y^+ – числове значення параметра (ознаки) дискретної додатної властивості, Y^- – числове значення параметра (ознаки) дискретної від'ємної властивості, Y^0 – числове значення параметра (ознаки) дискретної властивості з двобічним обмеженням.

Певні властивості (ознаки) порівнюваних варіантів систем (проектів) можуть бути такими, що не завжди описуються числовим значенням і характеризуються лише певною термінологічною категорією (наприклад, морфологічні ознаки деревних і чагарникових порід газо-пилізахисних лісосмуг та їх пилізахисні властивості тощо). В цьому випадку, кожній з ознак (властивостей), яка характеризується термінологічною категорією, може бути присвоєне числове значення у вигляді деякої бальної оцінки, яка чисто суб'єктивно визначає ступінь відповідності розглядуваної ознаки (властивості) рівню якості оцінюваного об'єкту або системи в цілому. Для таких ознак (властивостей) суб'єктивно присвоєні бальні оцінки будемо позначати як Z^+ , Z^- , Z^0 для відповідно додатних, від'ємних властивостей та властивостей з двобічним обмеженням.

5.1.2. Оцінювання та узагальнення багатопараметричної інформації для порівняння показників якості варіантів проєктів

Динаміка трансформування природно-територіального комплексу під впливом автотранспортної мережі зумовлює перебіг нестационарних процесів, які загалом можуть бути описані у вигляді:

$$S_p(t) = x_S^p(t) + x_p(t) \quad p = 1, 2, \dots, m; \quad (5.2)$$

де $S_p(t)$ – значення p -го контрольованого параметру, змінюваного у часі;

$x_S^p(t)$ – детермінована складова процесу;

$x_p^p(t)$ – стохастична складова процесу;

m – кількість контрольованих параметрів (ознак).

Якщо оцінювати досліджувані варіанти системи (проєкту) з точки зору узагальнення її параметрів (ознак), то формула (5.2) набуває вигляду:

$$S_p^{(*)}(t) = \sum_{t=0}^t m_S^{p^{(*)}} + \int_{t=0}^t x_p^{(*)} \cdot dt \quad (5.3)$$

де $S_p^{(*)}(t)$ – формалізоване значення оцінюваного параметру (ознаки).

Отже, для числового узагальнення багатопараметричної інформації про систему (проєкт) всі розглядувані її властивості (ознаки) мають бути представлені в деякій інтенсивній формі, яка передбачає відносність числового виразу оцінюваної ознаки у безрозмірній формі щодо деякої “норми” або обраного (наперед заданого) базового значення цієї ж ознаки, що задана в екстенсивній формі (у вигляді абсолютного значення з певною визначеною розмірністю) [277]. При цьому, за умови визначення абсолютних (екстенсивних) значень границь варіювання (максимальної та мінімальної) розглядуваної ознаки, будь-які числові значення цієї ж ознаки в інтенсивній формі будуть визначені межами 0...1.

Таким чином, інтегральна властивість оцінюваної системи (проєкту) за обраною групою окремих властивостей цієї системи (проєкту) може бути визначена як:

$$K = f \left(\begin{array}{l} X_1^+, \dots, X_a^+, X_{a+1}^-, \dots, X_b^-, Y_{b+1}^+, \dots, Y_c^+, Y_{c+1}^-, \dots, Y_d^-, \\ X_{d+1}^0, \dots, X_m^0, Y_{m+1}^0, \dots, Y_n^0, Z_{n+1}, \dots, Z_k \end{array} \right) \quad (5.4)$$

де f – функція узагальнення властивостей системи, яка має задовольняти таким вимогам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{df}{dX_a^+} > 0; \quad (a = 1, \dots, a); \\ \frac{df}{dX_b^-} < 0; \quad (b = a + 1, \dots, b); \\ \frac{df}{dY_c^+} > 0; \quad (c = b + 1, \dots, c); \\ \frac{df}{dY_d^-} < 0; \quad (d = c + 1, \dots, d); \\ \frac{df}{dX_m^0} \rightarrow opt; \quad (m = d + 1, \dots, m) \\ \frac{df}{dY_n^0} \rightarrow opt; \quad (n = m + 1, \dots, n) \\ Z_k \ni \begin{cases} min \\ max \end{cases}; \quad (k = n + 1, \dots, k) \end{array} \right. \quad (5.5)$$

Для визначення числових оцінок d (в інтенсивній формі) окремих властивостей оцінюваної системи (проєкту) застосовуємо більш вузький клас функцій, який зведено до експоненційної та показникової функцій. Перша з цих функцій, яка визначається подвійною експонентою для оцінювання неперервних і дискретних додатних і від'ємних властивостей, а

для оцінювання властивостей з двобічним обмеженням ця функція матиме вигляд експоненційно-показникової функції:

– подвійна експоненційна функція (рис.5.1):

$$d_i = e^{-e^{-R_i}} = \exp[-\exp(R_i)]; \quad (5.6)$$

– експоненційно-показникова функція (рис.5.2):

$$d_i = e^{-(|R_i|)^n} = \exp[-(|R_i|)^n]; \quad (5.7)$$

де показник степені n – додатне число для обчислення якого розраховується деяка величина $|m|$:

$$|m| = \frac{2R_i - (R_{max} - R_{min})}{R_{max} - R_{min}} \quad (5.8)$$

після чого показник степені n можна обчислити якщо задати оцінюваній властивості R деяке значення d (найкраще в інтервалі $0,37 < d < 0,99$), розрахувати відповідно (5.8) величину $|m|$, а потім скористатись виразом:

$$n = \frac{\ln\left(\ln\frac{1}{d}\right)}{\ln|m|} \quad (5.9)$$

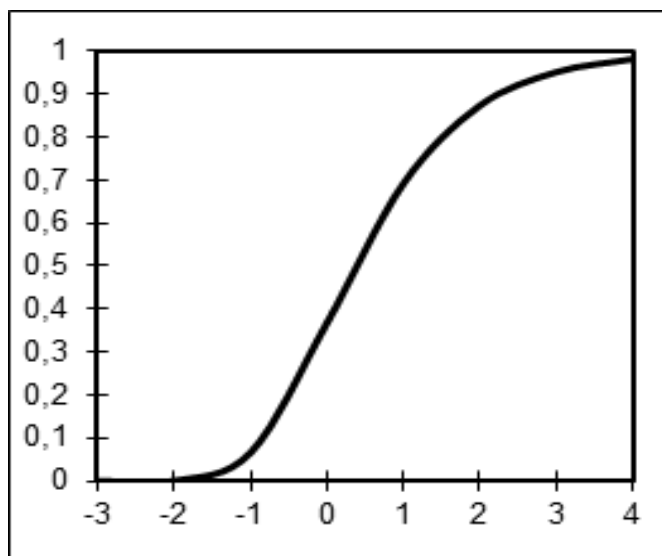


Рис.5.1. Подвійна експоненційна функція

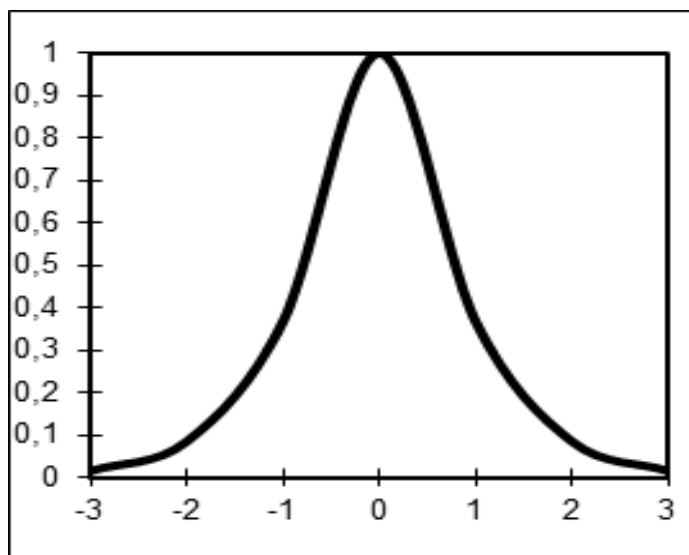


Рис.5.2. Експоненційно-показникова функція

Обираючи різні значення n можна може бути задана різна кривизна оціночної кривої (рис.2.5). Це дозволяє враховувати особливий ранг (за ступенем важливості) окремих властивостей (ознак) проектованої природно- техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею. При цьому для таких властивостей показник n матиме більше значення і малим числовим змінам оцінюваного параметру ознаки поблизу обмежуючих границь буде відповідати різка (контрастна) зміна їх оцінки.

Остаточне узагальнення числових параметрів (оцінок) d_i окремих властивостей (ознак) системи (проекту) виконується їх усередненням за допомогою середньої геометричної:

$$D = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i} = \sqrt[q]{d_1 \times d_2 \times \dots \times d_q} \quad (5.10)$$

де D – узагальнена (інтегральна) оцінка системи (проекту) природно- техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею.

Незважаючи на чисту емпіричність пропонованого методу узагальненого оцінювання параметрів проектованої природно-техногенної

геоекосистеми, використання його є досить перспективним з точки з метою вибору оптимального проекту та подальшого прогнозування процесів трансформації природно-територіальних комплексів (рис.5.3).

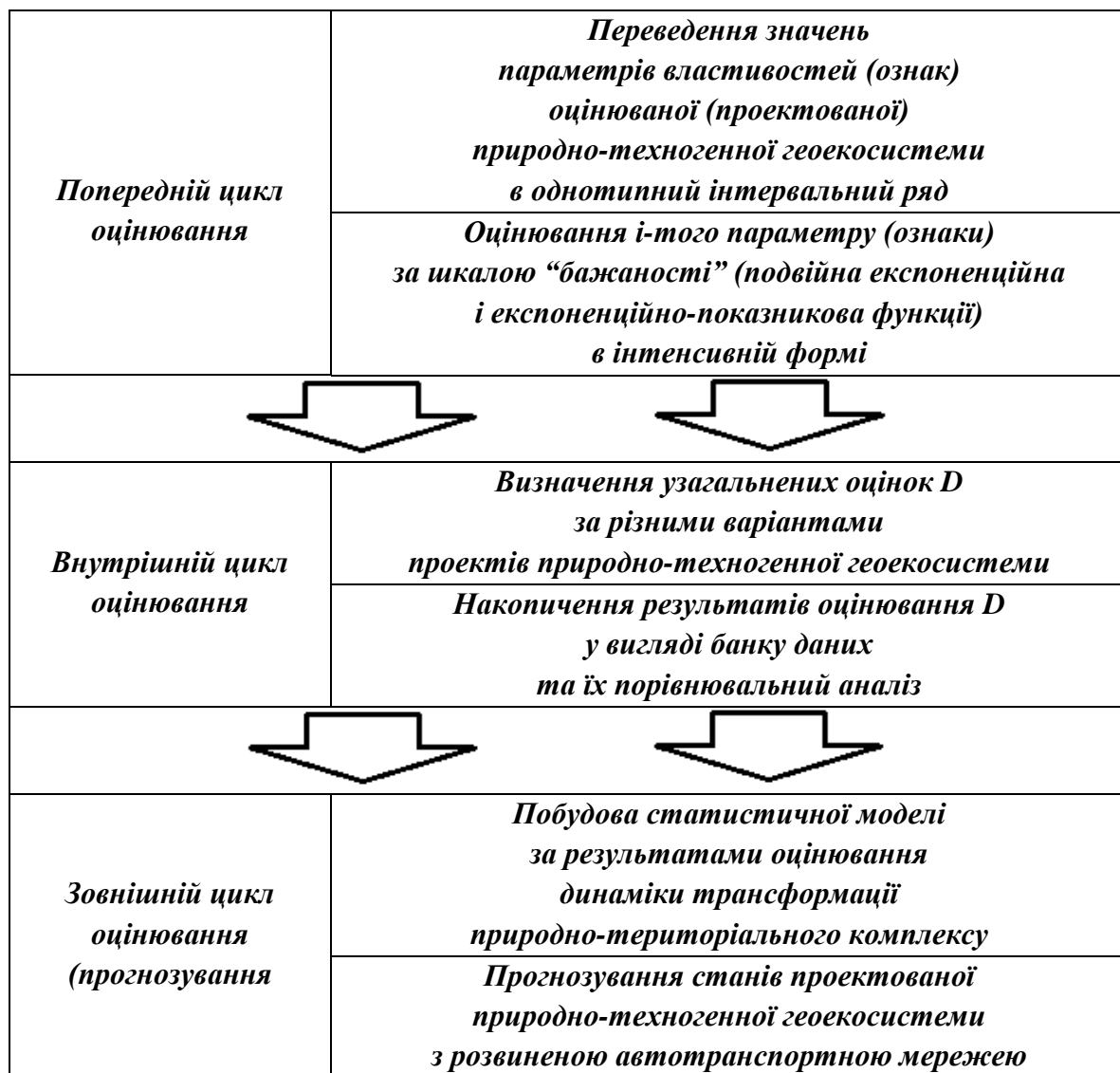


Рис.5.3. Алгоритм оцінювання та прогнозування динаміки проектованої природно-техногенної геоекосистеми

Інтегральна оцінка D стану природно-техногенної геоекосистеми з розвинуеною автотранспортною мережею є підставою для розробки і практичної реалізації проекту мережі автомобільних доріг та подальшого прогнозування динаміки системи під впливом автотранспортного комплексу. При розв’язку таких завдань проектування ключовим питанням є вибір ознак та їх показників (критеріїв), які мають бути використані для

вибору оптимального варіанту проекту. Для опису наслідків впливу автодорожньої мережі на природно-техногенну геоекосистему необхідно застосовувати метод агрегування (групування) вихідних даних проекту, або застосовуваних критеріїв, що дозволяє згрупувати наявну вихідну інформацію у деякому зручному для проектування вигляді. Зазначені критерії будуть вимірюваними в разі, якщо вони є застосовуваними та призначені для визначення їх миттєвих значень, або для аналізу ймовірності розподілення сукупності значень за обраним законом розподілу. Важливим є аби використовувана при проектуванні сукупність критеріїв задовольняла таким вимогам [256, 150]:

- була повною – охоплювала всі значущі чинники (ознаки) проектованої системи;
- була дієвою – застосовуваною при аналізі вихідної інформації;
- не була надмірною – не дублювала (в тому числі і опосередковано) облік окремих властивостей (ознак) системи в декількох взаємопов'язаних показниках;
- відзначалась стабільністю – мала б певну “інерційність” відгуків окремих чинників щодо їх “миттєвих” зовнішніх збурень.

Перераховані вище властивості ознак при аналізі критеріїв мають бути підставою для вибору оптимального варіанту проекту природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею та подальшого прогнозування наслідків реалізації проекту мережі автомобільних доріг.

5.1.3. Практична реалізація прогнозування якості проекту раціоналізації автотранспортної мережі.

Практична реалізація пропонованого вище методу оцінювання та узагальнення багатопараметричної інформації для порівняння показників якості порівнюваних варіантів проектів може бути розглянута на прикладі

проекту еколого-технологічної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі Подільського регіону Хмельницької області (розділ 4.2), як природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею. Порівнюваними варіантами є:

- Варіант I (контроль) – без реалізації заходів оптимізації автотранспортної мережі.
- Варіант II – впорядкування та раціоналізація діючої мережі автомобільних доріг з одночасним будівництвом додаткових смуг руху на ділянках з щільністю автотранспортних потоків $\rho > 0,03$ [1/м] та значенням їх інтенсивності $q > 0,14$ [1/с].
- Варіант III – пропонується варіант проекту реорганізації автодорожньої мережі, який полягає в доповненні суграфу її (мережі) опорного каркасу до повного графу (розділ 4.2).

За параметри порівняння обрано такі властивості (ознаки):

- довжина трасування додаткових смуг руху автомобільних доріг [км];
- значення пікових (максимально прогнозованих) інтенсивностей автотранспортних потоків [1/с];
- значення пікових (максимально прогнозованих) щільностей автотранспортних потоків [1/м];
- прогнозований коефіцієнт розсинхронізації колективного руху автотранспортних потоків;
- усереднена колективна швидкість автотранспортних потоків [м/с];
- оцінка регулярності суграфу опорного каркасу автодорожньої мережі;
- питомий показник автотранспортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми;
- додаткові питомі витрати на спорудження додаткової інженерної інфраструктури автомобільних доріг;
- питомі витрати на реалізацію пропонується проектів транспортно-екологічної оптимізації мережі автомобільних доріг.

Закінчення таблиці 5.1

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-
Прогнозований коефіцієнт розсинхронізації колективного руху автотранспортних засобів	1,40	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,10	$d=0,69$	1,0	$d=0,87$
Усереднена швидкість автотранспортних потоків, [м/с]	30,0 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	34,0 ($\gamma=0,0$)	$d=0,37$	38,0 ($\gamma=2,0$)	$d=0,87$
Оцінка регулярності суграфу автодорожньої мережі	0,60 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	0,60 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,0 ($\gamma=2,0$)	$d=0,87$
Питомий показник автотранспортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми	1,0 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,0 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,40 ($\gamma=2,0$)	$d=0,87$
Додаткові питомі витрати на спорудження додаткової інфраструктури автомобільних доріг	1,0 ($\gamma=2,0$)	$d=0,87$	1,80 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,80 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$
Питомі витрати на реалізацію проекту	1,0 ($\gamma=2,0$)	$d=0,87$	1,80 ($\gamma=2,0$)	$d=6,1 \times 10^{-4}$	1,60 ($\gamma=1,0$)	$d=0,69$
Узагальнена інтегральна оцінка проекту, D	$D=3,15 \times 10^{-3}$	$D=1,21 \times 10^{-2}$	$D=1,21 \times 10^{-2}$	$D=3,82 \times 10^{-1}$		

Порівняльний аналіз результатів інтегрального оцінювання за узагальненою критеріальною оцінкою D транспортно-екологічної ефективності проектних рішень щодо оптимізації автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми Подільського регіону Хмельницької області встановлено, що оптимальним рішенням ($D = \max \bar{d}_i$) з точки зору раціоналізації колективного руху автотранспортних потоків та екологічної безпеки регіону є проект, який передбачає транспортно-технологічну реорганізацію автомобільної дороги Т 0601 на ділянці Дениші–Дубрівка протяжністю 77 км з автомобільної дороги категорії 4 в автомобільну дорогу категорії 3 за показником інтенсивності транспортних потоків.

5.2. Основні принципи управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею

Для подалі зростаючою щільності та транспортно-технологічного ускладнення мережі автомобільно-комунікаційних структур природно-техногенних геоекосистем саме стадія їх проектування визначає тривалість циклів задоволення попиту, які визначаються показниками якості (в тому числі екологічної якості), як окремих техногенних об'єктів, так і всієї природно-техногенної геоекосистеми вцілому. Стадія проектування (ландшафтного узгодження) техногенних об'єктів є особливо важливою тому, що якість будь-якого технічного об'єкту (споруди), яку закладено при її проектуванні, на наступних стадіях циклу задоволення потреб (стадії виготовлення, будівництва, експлуатації) можна лише зберегти, але ніяк не підвищити. Факторологічні дослідження [150] діяльності проектних установ та організацій, які займаються розробкою та проектуванням автотранспортних мереж, свідчать, що одним з основних факторів розробки ними проектів з фіксованими рівнями якості технічних об'єктів (в тому числі і за показниками їх екологічної безпеки) є потужність бази використовуваних даних. Використовувана при проектуванні база даних

разом із алгоритмом формальних методів проектування є основою для забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки проектованої автомобільно-комунікаційної системи. Загалом, структура розв'язку проектної задачі конструювання природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею може бути представлена у вигляді блок-схеми, яку наведено на рис.5.4.

Рівень техногенного впливу автодорожньої мережі на природно-територіальний комплекс, який виникає в процесі її будівництва (реконструкції), експлуатації та ремонтних робіт, залежить, в першу чергу, від інженерних рішень, які приймаються при трасуванні структури та розробленні конструкції автомобільних доріг (в тому числі за ландшафтними ознаками природно-техногенної геоекосистеми, використовуваними ресурсами та робочими матеріалами, способами переробки та використання цих ресурсів і матеріалів, застосуванням захисних споруд тощо). Ці інженерні рішення, які безпосередньо впливають на стабільність рівнів екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми, необхідно розглядати як комплексну задачу створення системи задоволення транспортно-комунікаційних потреб з високою екологічною якістю. Екологічна раціональність автотранспортного комплексу є сукупністю тих його властивостей, які виражають зазначену раціональність з точки зору відповідності прийнятих конструкційних рішень як умовам будівництва, експлуатації та ремонту автодорожньої мережі, так і природним умовам природно-територіального комплексу. Отже, для забезпечення необхідного (фіксованого) рівня екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми (зокрема її транспортно-комунікаційної складової) ці умови (з достатнім ступенем точності і деталізації) мають бути сформульованими ще до початку розробки і проектування всієї інфраструктури автотранспортно-комунікаційної системи.

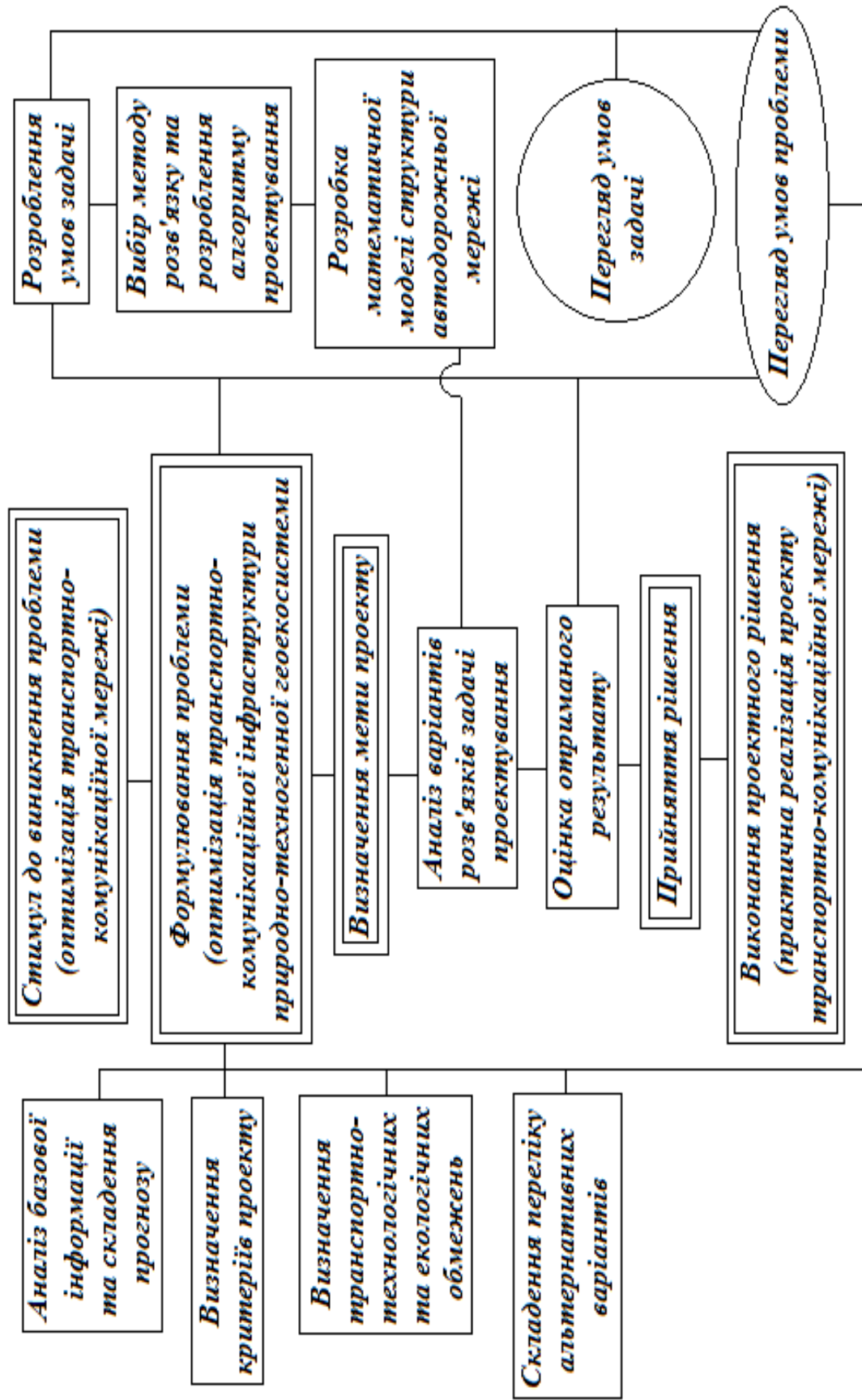


Рис.5.4. Структурна блок-схема розв'язку проектної задачі конструювання природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею

Умови розробки, проектування, будівництва (реконструкції) та експлуатації автотранспортної мережі (рис.5.5) конкретної природно-техногенної геоекосистеми є досить динамічними, а тому екологічна раціональність (екологічна безпека) цієї системи має розглядатись та оцінюватись відповідно до обмежень визначеного діапазону цих умов, а саме обмежень за часом, простором, конкретними екологічними та ландшафтними ознаками тощо. Рівень фіксації екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як підсистеми природно-техногенної геоекосистеми має безперервно змінюватись (рис.5.4) відповідно до того, як змінюються екологічні ознаки природно-територіального комплексу, умови, засоби і конструкційні матеріали будівництва (реконструкції) автомобільних доріг, їх експлуатації та ремонту. Саме ця особливість задоволення циклів транспортно-комунікаційних потреб зумовлює спадковість ознак екологічної безпеки підсистеми мережі автомобільних доріг в межах розглядуваної природно-техногенної геоекосистеми.

Спадковість показників екологічної безпеки транспортно-комунікаційної підсистеми природно-техногенної геоекосистеми визначається сукупністю тих її властивостей, які виражають екологічну раціональність автотранспортної мережі з точки зору єдності, повторюваності та змінюваності конструкційних рішень для нової проектованої автотранспортної підсистеми. Ці властивості зокрема характеризують:

- єдність повторюваності окремих складових автотранспортного комплексу в даному виконанні геоекосистеми вцілому або в розглядуваній множині її виконання і застосування в ній нових складових частин або об'єктів, які зумовлено новизною вимог до природно-техногенної геоекосистеми або множини її виконання за функціональними призначеннями, умовами її будівництва (реконструкції) або експлуатації – конструкційна спадковість проектованої системи;

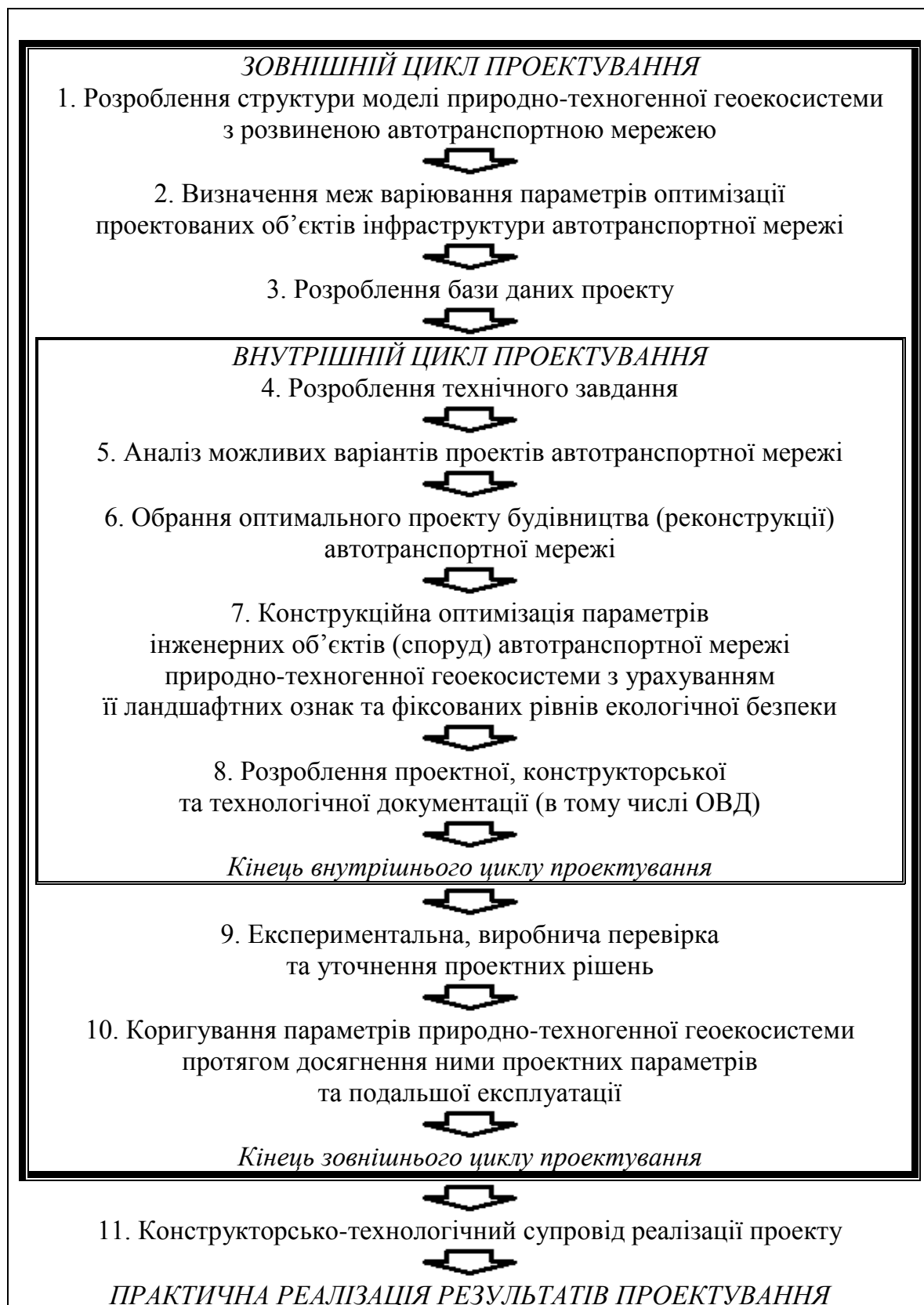


Рис.5.5. Алгоритм проєктування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми

- єдність повторюваності та змінюваності технологічних методів будівництва (реконструкції), підтримання в робочому стані і поновлення елементів та об'єктів автотранспортного комплексу, які враховуються при розробленні та конструюванні природно-техногенної геоекосистеми
- технологічна спадковість техногенної системи.

Спадковість властивостей підсистеми автотранспортного комплексу природно-техногенної геоекосистеми набуває визначального значення, як основного принципу екологічної раціональності конструкторської підготовки, спорудження та функціонування автодорожньої мережі регіону. Використання цього принципу дозволяє забезпечити спадковість параметрів та рівнів екологічної безпеки транспортно-комунікаційних мереж та їх інженерної інфраструктури, оптимізувати процес конструкторського і технологічного проектування, максимально використати попередні напрацювання науково-дослідних, дослідно-конструкторських та дослідно-технологічних розробок, результатів експериментальної реалізації проєктів при будівництві (реконструкції) окремих ділянок автомобільних доріг, їх перевірки в умовах експлуатації, технологічного обслуговування та ремонту конкретних автотранспортних мереж.

У зазначеному ракурсі спадковість автотранспортної підсистеми природно-техногенної геоекосистеми рівнозначна її екологічній раціональності, оскільки характеризує можливість багатократного застосування окремих інженерних рішень, які попередньо уже були забезпечені у сферах будівництва, експлуатації та ремонту автодорожньої мережі відповідними ресурсами, матеріалами та засобами. Тим самим спадковість конструкцій автодорожніх мереж, як і їх екологічна безпека, визначає не лише можливість розробки і реалізації нових автотранспортних систем з фіксованими, підвищеними та прогресуючими рівнями їх екологічної безпеки, але і зменшення екологічних ризиків техногенних підсистем в цілому в межах територіальних природно-техногенних

геоекосистем з розвиненими автотранспортними та іншими комунікаційними мережами.

Необхідно зазначити, що після практичної реалізації результатів системного проектування конкретної конструкції природно-техногенної геоекосистеми, виведення на проєктовані експлуатаційні показники її функціонування потребує певного періоду часу, який в окремих випадках може досягати 10-ти і більше років. Тривалість періоду виведення конструкції природно-техногенної геоекосистеми на проєктні показники зумовлена комплексом біологічних, ландшафтно-територіальних, погодно-кліматичних тощо особливостей природно-територіального комплексу. Наприклад, тривалість виведення на експлуатаційні показники конструкцій газо-пилрозахисних лісосмуг автомобільних доріг зумовлена біологічними особливостями розвитку деревних і чагарникових порід, які використано при посадці лісосмуги. Процес виведення конструкції природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автодорожньою мережею на проєктовані експлуатаційні показники потребує обов'язкового наукового та конструкторсько-технологічного супроводу реалізації проєкту.

Пропонований порядок проектування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми, який наведено на рис.5.5, є підставою для розробки системи автоматизованого проектування (САПР) як окремих ділянок автомобільних доріг, так і автотранспортно-комунікаційної мережі регіону в цілому. Фрагмент архітектурно-будівельної частини проектування лісової газо-пилрозахисної смуги у вигляді алгоритму машинної програми САПР наведено на рис.5.6. Такий фрагмент машинного алгоритму САПР передбачає можливість неперервної оптимізації параметрів газо-пилрозахисних лісосмуг деревно-чагарникового типу автомобільних доріг різних категорій в умовах зміни властивостей і ознак техногенних ландшафтів та динаміки розвитку транспортної і технологічної структури визначеної природно-техногенної геоекосистеми [221].

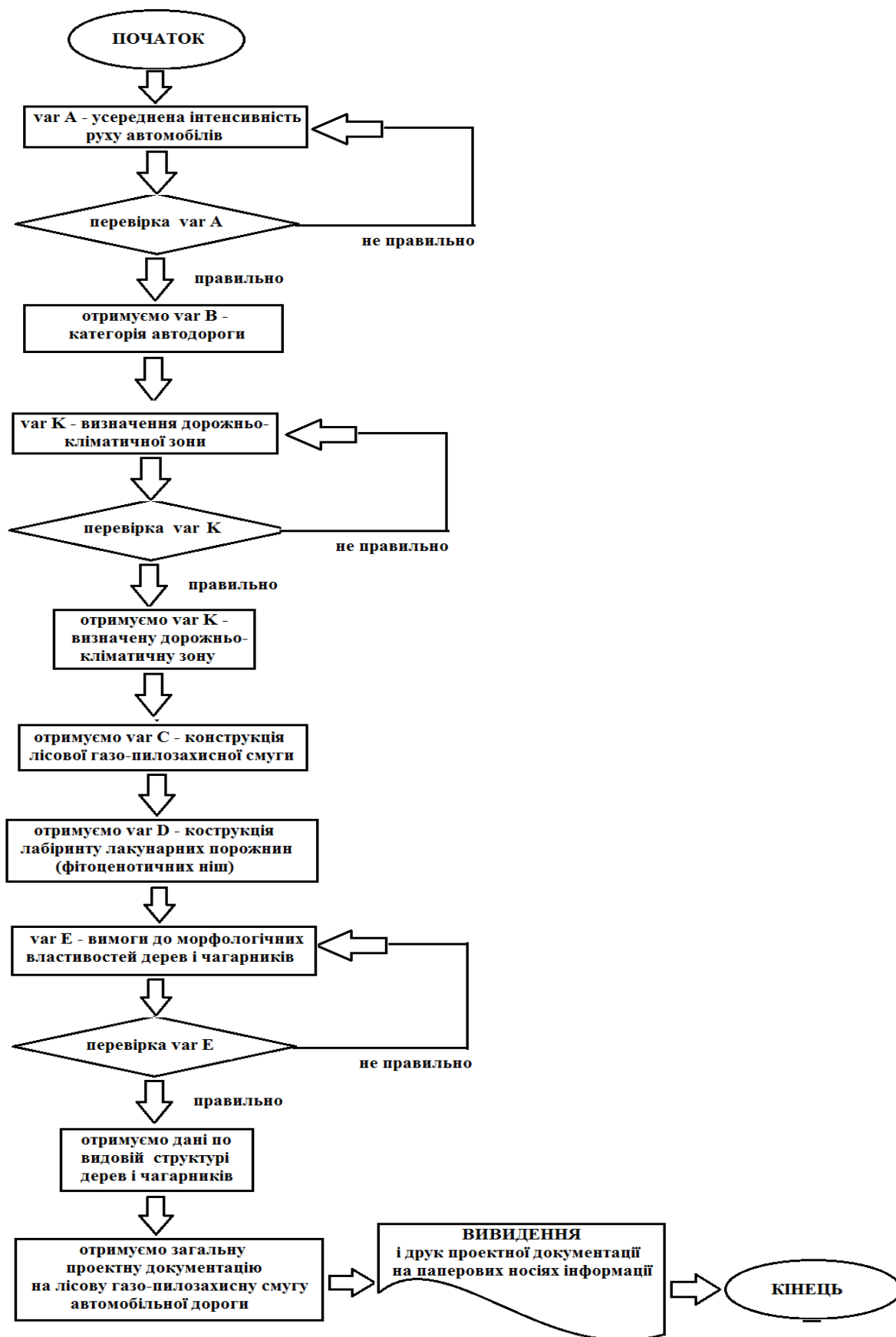


Рис.5.6. Фрагмент алгоритму програмного забезпечення системи автоматизованого проектування САПР газо-пилізахисної смуги автомобільної дороги

Зокрема, наведений на рис.5.6, фрагмент алгоритму програмного забезпечення системи автоматизованого проектування (САПР) газо-пилозахисної смуги автомобільної дороги передбачає таку процедуру проектування [222]:

- визначення категорії автомобільної дороги залежно від проектної інтенсивності руху (щільності) автотранспортного потоку;
- вибір дорожньо-кліматичної зони природно-техногенної геоекосистеми для проектованої автомобільної дороги;
- вибір типової конструкції газо-пилозахисної лісосмуги відповідно до визначеної категорії автомобільної дороги та дорожньо-кліматичної зони природно-техногенної геоекосистеми;
- обрання конструкційної схеми посадки дерев і чагарників, визначення структури лакунарних порожнин (фітоценотичних ніш) лісової газо-пилозахисної смуги, в тому числі на ділянках з особливими умовами руху автотранспортних потоків (у вузлах автодорожньої мережі, серпантинах, шпильках, “крайових зонах” тощо);
- вибір видового складу деревних і чагарникових порід газо-пилозахисної лісосмуги відповідно до дорожньо-кліматичного зонування природно-техногенної геоекосистеми за морфологічними ознаками дерев і чагарників, показниками їх газостійкості, здатністю затримувати мінеральний пил, динамікою ажурності крони, погодно-кліматичними та едафічними (грунтовими) умовами;
- автоматизоване розроблення проектної документації на відповідну конструкцію лісової газо-пилозахисної смуги деревно-чагарникового типу автомобільної дороги з виведенням її на друк на паперових носіях інформації (додаток Ш, Щ).

Обрання варіанту проектного рішення трасування і конструкції автомобільної дороги в складі автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми є по суті вибором оптимального рішення з деякої множини

розглядуваних варіантів проектів, тобто $E_i \in E$. Кожний з розглядуваних варіантів E_i проекту однозначно визначає деякий фіксований у вигляді узагальненої оцінки результат e_i . Тобто, відповідно (5.5), оцінкою еколого-ландшафтного ризику проекту автодорожньої мережі за критерієм Гурвіца (НВ-критерій) буде [110]:

$$\begin{aligned} E_0 &= \{E_{i_0} | E_{i_0} \in E \cap e_{i_0} = \\ &= \max | c \min e_{ir} + (1 - c) \max e_{ij} | \cap 0 \leq c \leq 1 \end{aligned} \quad (5.11)$$

При цьому, якщо обраний ваговий коефіцієнт $c = 1$, то (5.11) перетворюється на ММ-критерій [110]:

$$E_0 = \{E_{i_0} | E_{i_0} \in E \cap e_{i_0} = \max e_i\} \quad (5.12)$$

Отже, для множини E_0 оптимальних варіантів (у випадку вибору оптимального варіанту проекту автодорожньої мережі – для проекту з максимально можливим рівнем екологічної безпеки природно-техногенної геоекосистеми), які належать до множини E всіх розглядуваних варіантів і оцінка e_{i_0} яких має максимальне значення серед усіх оцінок e_i оціночною функцією ММ-критерію буде:

$$\max e_{ir} = \max(\min e_{ij}) \quad (5.13)$$

За наведеною функцією (5.13) ММ-критерію послідовно вибраковуються проекти з найменш сприятливими результатами. Після чого обирається найсприятливіший варіант проекту будівництва (реконструкції) автодорожньої мережі:

$$\begin{cases} Z_{MM} = \max e_{ir} \\ e_{ir} = \min e_{ij} \end{cases} \quad (5.14)$$

де Z_{MM} – оціночна функція ММ-критерію.

Отже, остаточний вибір оптимального варіанту проекту будівництва (реконструкції) як окремих об'єктів інженерної інфраструктури, так і всієї автодорожньої мережі в межах конкретно визначеної природно-техногенної геоекосистеми може бути реалізованим відповідно до:

$$E_0 = \{E_{i0} \in E \cap e_{i0} = \max \min e_{ij}\} \quad (5.15)$$

Отже, множина E_0 оптимальних варіантів (обраний оптимальний варіант проектного рішення) мітиться у тих варіантах E_{i0} , які належать множині E всіх варіантів проектів і оцінка e_{i0} яких є максимальною серед усіх оцінок $e_{ir} = \min e_{ij}$.

Незважаючи на емпіричність пропонованого методу управління та оптимізації проектів конструкції природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею, цей метод є достатньо перспективним для розв'язку багатопараметричних проектних задач. При цьому, функція (5.15) оптимізації проекту природно-техногенної геоекосистеми має бути однозначно визначеною через деяку інтегральну узагальнюючу оцінку D , яка характеризується певним числом, яке змінюється в межах $0 < D < 1$, мала б певний фізичний сенс, відзначалась високою статистичною ймовірністю тощо, що зумовлювало б можливість зменшення кількості визначаємих експериментально параметрів оптимізації проекту до мінімально можливої їх кількості.

5.3. Еколого-економічне оцінювання проектів будівництва та реконструкції автодорожніх мереж

Результатом інтенсифікації транспортно-комунікаційних систем є трансформація природно-територіальних комплексів, які сформовано в межах окремих геоморфологічних систем, в природно-техногенні

геоекосистеми, що призводить до деградації природних ландшафтів і опосередковано може бути оціненим як певні екологічні збитки у грошовому еквіваленті. Загалом, величина економічних збитків, які викликані антропогенними порушеннями рівноваги природно-територіальних комплексів, є деяким інтегральним показником, який може відображати ефективність заходів щодо їх стабілізації. При цьому, визначального значення набуває еколого-економічне оцінювання порушуваних властивостей природно-територіального комплексу, які мають бути визначені параметрами екологічної безпеки автомобільно-комунікаційної складової природно-техногенної геоекосистеми та можливістю їх програмування на стадії розроблення проекту [163, 164].

Підтримання природно-ресурсного потенціалу природно-територіальних комплексів на певному оптимальному рівні вимагає значних матеріальних витрат, а отже сутність еколого-економічного оцінювання проектів природно-техногенної геоекосистеми полягає у відображенні вартості заходів, які спрямовані на забезпечення стабільності геоморфологічних властивостей трансформованих природних ландшафтів. Зазначені матеріальні (економічні) витрати поділяють на такі дві категорії:

- витрати на природоохоронні заходи безпосередньо на трансформованих територіях, де потенційно можуть виникати порушення властивостей природно-територіального комплексу;
- економічні збитки від можливих екологічних наслідків техногенної трансформації природно-територіальних комплексів, зокрема витрати на компенсації втрат природних ресурсів, а також витрати на ліквідацію негативних впливів на довкілля (зокрема, розчленування природних ландшафтів мережею автомобільних доріг).

Загалом еколого-економічні збитки E можуть бути обчислені як [144]:

$$E = V_{\text{природоохоронних заходів}} + Z_{\text{фактичні}} \quad (5.16)$$

де $V_{\text{природоохоронних заходів}}$ – витрати на здійснення природоохоронних заходів;

$Z_{\text{фактичні}}$ – фактичні збитки після проведення (або в результаті не проведення природоохоронних заходів).

Якщо $V_{\text{природоохоронних заходів}}$ залежать від масштабів і характеру їх проведення за проектним рішенням, а отже їх можна визначити із певним ступенем достовірності, то фактичні збитки ($Z_{\text{фактичні}}$) однозначному визначенню не підлягають і можуть не збігатися за місцем і часом їх виникнення. Обидві вищенаведені категорії економічних витрат (збитків) перебувають поміж собою у функціональній залежності. Так, при збільшенні витрат на природоохоронні засоби (I-а категорія) відбувається зниження витрат щодо збитків через втрату природних ресурсів (II-а категорія економічних витрат).

Зазначені економічні (матеріальні) збитки в загальному випадку можна поділити на прямі та опосередковані. За характером дії еколого-економічні збитки поділяють на явні (чітко визначаються за допомогою загальноприйнятих експериментальних та розрахункових методів) та приховані (для їх виявлення необхідно застосовувати спеціальні опосередковані методи). За часом виявлення еколого-економічні збитки поділяють на поточні та прогнозовані, які виявляються у віддаленій перспективі. З точки зору еколого-економічного оцінювання природоохоронних заходів надзвичайно важливою є категорія попереджених збитків. Попередженими збитками є різниця поміж можливими збитками від техногенної діяльності і фактичними витратами на природоохоронні заходи, які здійснено на даний момент часу [98, 169, 180]. Таким чином, при порівнянні варіантів проектів конструкції природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею за

критеріями еколого-економічної ефективності потрібно керуватись принципом “витрати (збитки) – негативні наслідки”.

Порядок оцінки прямих еколого-економічних збитків, які зумовлено викидами шкідливих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Порядок оцінки прямих еколого-економічних збитків
від забруднення атмосферного повітря автотранспортними потоками

Назва показника	Розрахункова формула	Використовувані параметри
1. Збитки від забруднення (грн.)	$Y_3^B = Y_{B.3}^B \cdot \sigma_{B.H.3}^B \cdot M_{\text{пр.}}^B$	$Y_{B.3}^B$ (грн./ум. т) – відносні збитки від викиду однієї умовної тони забруднюючих речовин; $\sigma_{B.H.3}^B$ – відносна небезпека забруднення природно-техногенної геоекосистеми;
2. Приведена маса річних викидів забруднюючих речовин (т/рік)	$M_{\text{пр.}}^B = \sum_{i=1}^l A_{jB}^B \cdot M_{jD}^B$	I_j – обсяги викидів j-тої шкідливої речовини; $(1 - \delta_j)$ – емпіричний коефіцієнт, що визначає частку шкідливих викидів, яка депонується елементами ландшафту природно-техногенної геоекосистеми
3. Маса домішок j-того виду, що надходять в атмосферне повітря природно-техногенної геоекосистеми (т/рік)	$M_{jD}^B = I_j \cdot (1 - \delta_j)$	
4. Показник відносної агресивності j-тої речовини, що надходить до атмосферного повітря	$A_{jB}^B = \frac{1}{\text{ГДК}_{\text{ш.р.}j}^B}$	

При цьому, обсяги викидів M_i (кг/год×км) шкідливих речовин автотранспортним потоком можуть бути визначені (без урахування технічного стану автотранспортних засобів) як:

$$M_i = \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^j \sum_{l=1}^k w_j \cdot P_{ki} \cdot q_a \quad (5.17)$$

де w_j – викиди забруднюючих речовин j -м автотранспортним засобом, кг/км;

P_{ki} – ймовірність потрапляння k -ї групи автотранспортних засобів в i -й діапазон швидкостей руху автотранспортного потоку;

q_a – інтенсивність автотранспортного потоку, автомобілів/год.

Результати порівняльного оцінювання еколого-економічної ефективності проекту еколого-транспортної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі Подільського регіону Хмельницької області (розділ 4.2), як природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Результати оцінювання еколого-економічної доцільності
варіантів реорганізації автотранспортної мережі
природно-техногенної геоекосистеми
Подільського регіону Хмельницької області

Оцінюваний параметр	Порівнювані варіанти проектів реорганізації автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми		
	Варіант I – контроль (без реконструкції)	Варіант II (раціоналізація використовуваної мережі автомобільних доріг)	Варіант III (пропонований варіант проекту реорганізації автодорожньої мережі)
Узагальнена інтегральна оцінка еколого-економічної доцільності проекту, D (таблиця 5.1)	$3,15 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-2}$	$3,82 \times 10^{-1}$
Витрати на реалізацію проекту, млн грн. (в цінах 2017 р.)	-	168	93

Аналіз результатів порівняльного оцінювання варіантів проекту еколого-транспортної оптимізації автодорожньої мережі Подільського регіону Хмельницької області свідчить про доцільність проведення транспортно-технологічної оптимізації ділянки Дениші-Дубрівка автомобільної дороги Т0612, Т0618 (див. розділ 4.2), яка передбачає реконструкцію цієї ділянки і переведення її в автомобільну дорогу категорії 3.

Отже підтримання визначеного екологічно безпечного рівня природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею вимагає значних фінансових і матеріальних витрат, які мають бути спрямовані на стабілізацію всіх геоморфологічних ознак цієї системи.

Процедурою поетапної підготовки проекту на будівництво (реконструкцію) автодорожньої мережі (таблиця 5.4) в обов'язковому порядку передбачається розроблення оцінки впливу на довкілля (ОВД). Відповідно до змісту Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» «...необхідно здійснювати організаційні заходи, які спрямовані на запобігання шкоди довкіллю, забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів...». Здійснення оцінки впливу на довкілля є обов'язкова для об'єктів, які віднесені до першої категорії об'єктів планованої діяльності, тобто таких, що становлять підвищену екологічну небезпеку: будівництво автомагістралей, автомобільних доріг першої категорії, автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення, які мають чотири чи більше смуги руху, або реконструкція або розширення наявних смуг руху до чотирьох і більше, за умови їхньої безперервної протяжності 10 кілометрів і більше [97]. При цьому, характер розгалуженості та протяжності автотранспортної мережі зумовлює, як правило, її вплив на території суміжних регіонів (в окремих випадках на території суміжних країн), а отже відповідно до міжнародної Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті.

Таблиця 5.4

Процедура поетапного розроблення проекту
будівництва (реконструкції) автомобільної дороги

Етап (стадія) екологічного оцінювання проекту	Мета виконання екологічного оцінювання проекту	Передбачуваний результат екологічного оцінювання
Ідентифікація мети	Виявлення характеру впливу проєктованого об'єкту (ділянки автотранспортної мережі) на ознаки природно-техногенної геоекосистеми	Формалізація передбачуваних наслідків трансформації природно-техногенної геоекосистеми
Прогнозування	Екологічна раціоналізація (мінімізація) екологічних наслідків реалізації проекту у відповідності до показників автотранспортної ємності природно-техногенної геоекосистеми	Мінімізація техногенної трансформації природно-техногенної геоекосистеми автотранспортною інфраструктурою
Інтерпретація результатів прогнозування	Узгодження екологічних, технічних, економічних, господарських тощо розбіжностей проекту	Моніторинг та консультування з питань нормативної процедури затвердження проекту будівництва (реконструкції) автотранспортної мережі
Остаточне оцінювання проектного рішення	Визначення господарської та екологічної значущості проекту	Остаточне затвердження проектних рішень.

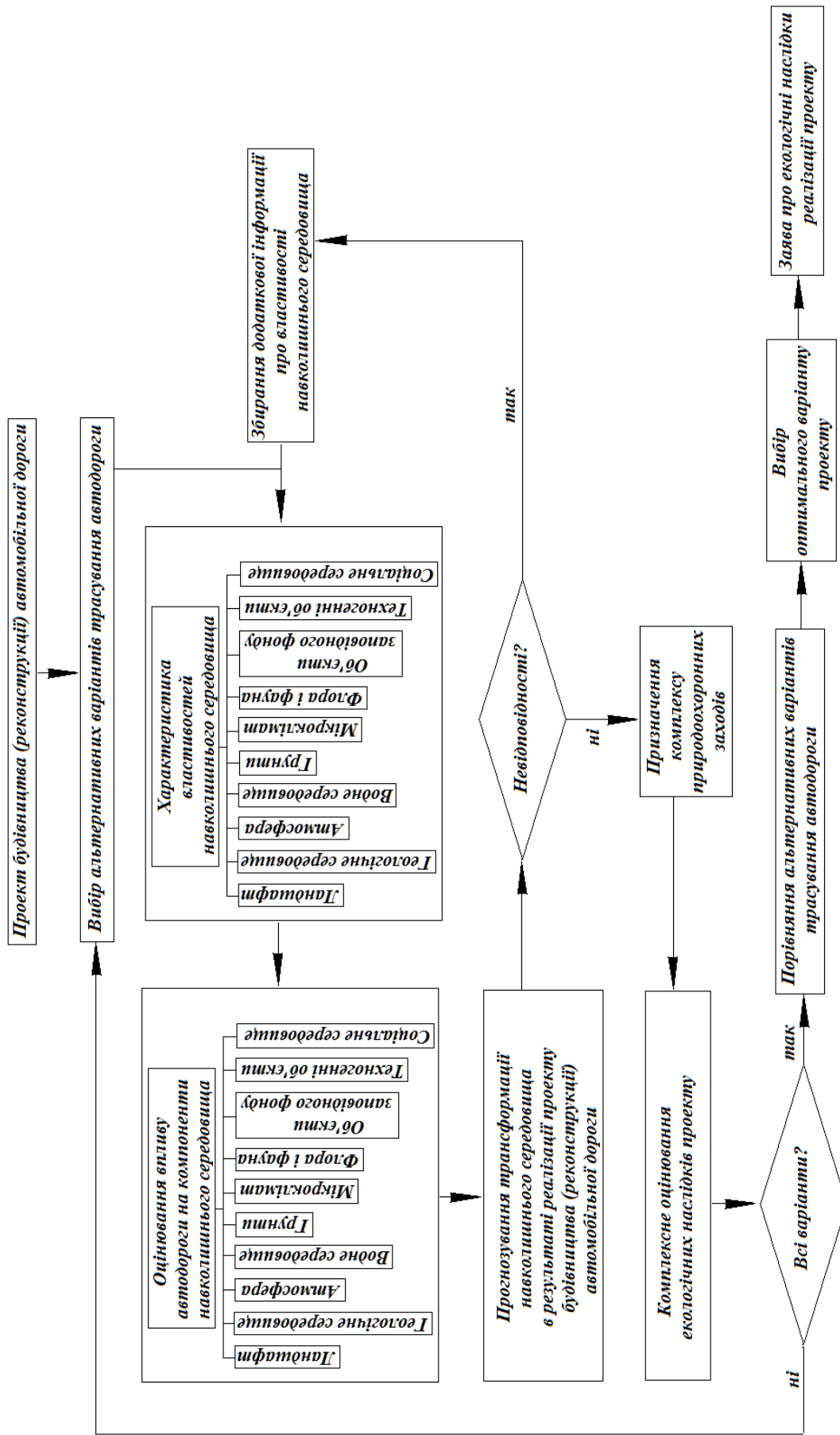


Рис. 5.7. Алгоритм виконання оцінки впливу на довкілля (стадія проектування будівництва (реконструкції))

Запропоновані алгоритм (рис. 5.7) розроблення матеріалів оцінки впливу на довкілля на стадії підготовки проєкту на будівництво (реконструкцію) автомобільної дороги дозволяють реалізувати автоматизоване розроблення відповідної проєктної документації в загальній структурі систем автоматизованого проєктування (САПР), які використовують проєктні організації галузі автодорожнього будівництва (додаток Щ, Ю).

5.4. Основні результати практичної реалізації результатів досліджень

Викладені вище результати досліджень було реалізовано у відповідних службах державних установ, у проєктних організаціях різних форм власності, закладах вищої освіти протягом 2011 – 2018 років, про що свідчать акти про передачу та впровадження завершених науково-дослідних робіт та інші документи, які наведено в додатках В-Н.

Результати обґрунтування конструкційних параметрів резервно-технологічних смуг та газо-пилрозахисних лісосмуг автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3 і 4 передано до Житомирського філіалу “Житомиркомундорпроєкт” (2017 р.) та Хмельницького філіалу (2015 р.) “НДІпроєктреконструкція” і використано при розробці технічної документації на реконструкцію автомобільної дороги Н03 (категорія2).

На підставі розроблених алгоритмів автоматизованого проєктування та фрагментах машинних програм в Житомирському філіалі “Житомиркомундорпроєкт” (2011 р.) “НДІпроєктреконструкція” удосконалено систему автоматичного проєктування автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3, 4 та 5.

Результати дослідження динаміки процесів дезінтеграції мінеральних речовин дорожніх одягів використано при підготовці технологічної документації на виконання ремонтних робіт мережі автомобільних доріг

(автомобільні дороги категорій 3, 4 та 5) Кам'янець-Подільського району Хмельницької області комунальним підприємством КП “Комбінат благоустрій” (2017 р.).

За розробленою “Методикою проектування лісових газопилозахисних смуг” автодорожньої мережі у міжрайонному відділі погоджувальної діяльності Державного управління охорони навколишнього природного середовища у Хмельницькій області (2013 р.) та у відділі містобудування, архітектури та житлово-комунального господарства Кам'янець-Подільської районної Державної адміністрації у Хмельницькій області (2015 р.) розроблено ряд рекомендацій щодо оптимізації, ремонту та облаштування резервно-технологічних смуг автомобільних доріг та пришляхових територій для умов природних ландшафтів Подільського Придністер'я, які використовуються, зокрема і при проведенні інспекційних перевірок.

Розроблену методику оцінювання та узагальнення багатопараметричної інформації для порівняння показників якості природно-техногенних геоекосистем з розвиненою автотранспортною мережею, яку передано до Головного управління статистики у Житомирській області (2017 р.), апробовано в управлінні інформаційних технологій для аналізу та опрацювання таких форм статистичної звітності: форма №2-гр “Звіт про роботу автотранспорту”, форма №1-ДГ “Про наявність автомобільних доріг загального користування та їх благоустрій”, а також при підготовці статистичної звітності.

Результати дисертаційних досліджень широко використано в навчальному процесі підготовки фахівців з вищою освітою в Подільському державному аграрно-технічному університеті за напрямками підготовки 101 – екологія, 275 – транспортні технології (2018 р.) Результати досліджень використано також при підготовці до видання навчального посібнику “Моделювання і прогнозування динаміки природно-техногенних геоекосистем” (2017 р.).

5.5. Висновки за розділом V

За результатами пропонованих методів управління проектами автотранспортних мереж та їх еколого-економічного оцінювання можна зробити такі висновки.

1. Метод порівняльного оцінювання проектів будівництва (реконструкції) автомобільних доріг, який розроблено на підставі узагальнення багатопараметричної інформації про властивості окремих ознак природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею з використанням функції “бажаності”, дозволяє на етапі проектування оптимізувати конструкційні параметри та обрати варіант проекту з максимально високим прогнозованим рівнем екологічної безпеки природно-територіального комплексу.

2. Розроблений поетапний порядок проектування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми є підставою для розробки системи автоматизованого проектування (САПР) як окремих ділянок автомобільних доріг, так і автотранспортно-комунікаційної мережі регіону в цілому і передбачає можливість неперервної оптимізації конструкційних параметрів мережі автомобільних доріг різних категорій в умовах зміни властивостей і ознак техногенних ландшафтів та динаміки розвитку транспортної і технологічної структури природно-техногенної геоекосистеми.

3. Стабілізація ландшафтних і екологічних ознак природно-територіального комплексу та підтримання визначеного екологічно безпечного рівня природно-техногенної геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею вимагає значних фінансових і матеріальних витрат, які мають бути спрямовані на стабілізацію всіх геоморфологічних ознак цієї системи.

4. Результати практичної реалізації та виробничої перевірки досліджень, які наведено в дисертаційній роботі, свідчать про їх значимість

не лише для установ і організацій, які спеціалізуються на проектуванні автомобільних доріг та для ремонтно-будівельних дорожньо-транспортних підприємств, але і для державних служб, які є відповідальними за дотримання екологічної безпеки. Матеріали дисертаційної роботи широко використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців у вищих навчальних закладах.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій подано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми, яка полягає у підвищенні рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі та підвищення якості ландшафтних елементів навколишнього середовища в межах резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

Основними науково-практичними результатами, які отримано в дисертаційній роботі є:

1. Інтенсифікація автокомунікаційного комплексу в сучасних умовах зумовлює динамічну розбудову мережі автомобільних доріг з відповідною супутньою інфраструктурою, що призводить до незворотної трансформації природно-територіальних комплексів у вигляді штучних деформацій ландшафту, розчленування території, порушення фонові стратифікації атмосфери і, як наслідок, до змін мезоклімату придорожніх територій.

2. Транспортно-технологічні умови експлуатації автодорожніх мереж, що характеризуються функціональними ознаками сукупності термодинамічних циклів згоряння паливних матеріалів, які забезпечують колективний рух автотранспортних засобів, зумовлюють множину одномоментних викидів в атмосферне повітря хмари газо-пилового аерозолі. Дивергентний характер дифузії емісії газо-пилового аерозолі визначає формування роторів турбулентності на “зрізах” швидкостей зустрічних автотранспортних потоків та на поверхнях рельєфу окремих об’єктів ландшафту резервно-технологічних смуг автомобільних доріг.

3. Визначене за критеріями неперервності кусочно-лінійної функції, мінімальне значення інтенсивності руху автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак колективного синхронізованого (когерентного) руху в складі

автотранспортного потоку становить $3,0 \times 10^3$ авт./добу (автомобільні дороги категорій 1-а, 1-б, 2, 3).

4. Обсяги газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, їх структура та хімічний склад визначаються складом, щільністю, інтенсивністю та когерентністю руху автотранспортних засобів, ландшафтними особливостями трасування і конструкційними параметрами автодорожньої мережі, її технічним станом та експлуатаційними характеристиками. Для найхарактерніших за впливом на природно-територіальні комплекси автомобільних доріг з інтенсивністю автотранспортних потоків > 3000 авт./добу питомі річні обсяги цих викидів досягають: мінерального пилу – 12 т/рік×км; сажі (аморфного вуглецю) – 10 т/рік×км; чадного газу (CO) – > 100 т/рік×км; оксидів нітрогену (N_xO_y) – 11 т/рік×км; ароматичних та поліциклічних вуглеводнів ($C_{20}H_{12}$) – 18 т/рік×км.

5. Еколого-ландшафтна оптимізація трасування автодорожньої мережі, відповідних об'єктів інженерної інфраструктури та конструкційних параметрів поперечного профілю резервно-технологічних смуг (смуг впливу) автомобільних доріг за принципом узгодження їх фрактально-інваріантних ознак з ознаками ландшафтно-територіальної організації природно-територіальних комплексів забезпечує максимально можливе обмеження процесів енерго-масопереносу (запобігання міграційним процесам емісії забруднювачів) за межі резервно-технологічної смуги автодороги. Порівняльна оцінка проєктів будівництва (реконструкції) мережі автомобільних доріг свідчить, що розроблені методи еколого-ландшафтно-оптимізації автодорожньої мережі дозволяють на порядок покращити комплексну інтегральну оцінку екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами з урахуванням їх автотранспортної ємності.

6. Ефективність захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками, має забезпечуватись інтенсифікацією процесів депонування пилових

викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг з одночасним відновленням структури та хімічного складу атмосфери до параметрів її “стандартних” (фонових) властивостей, що досягається оптимізацією ландшафтних параметрів конструкції профілю резервно-технологічної смуги автодороги. Проектовані ландшафтні параметри повинні забезпечувати стійку мезокліматичну раціональну стратифікацію приземних шарів атмосфери прилеглих до поверхонь рельєфу окремих ландшафтних об’єктів, в тому числі і штучно створюваних, топологічна структура яких має бути фрактально узгодженою з ландшафтом резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

7. Одним з найефективніших заходів забезпечення екологічної рівноваги природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автотранспортних мереж є створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар’єрів у вигляді лісових газо-пилозахисних смуг деревно-чагарникового типу, структура посадки яких передбачає наявність лабіринту штучно створюваних лакунарних порожнин у вигляді фітоценотичних ніш, які обмежують міграцію пилових викидів автотранспорту за межі резервно-технологічних смуг автодоріг. Ширина газо-пилозахисної лісосмуги визначається показниками інтенсивності автотранспортного потоку, категорією автомобільної дороги та комплексною ознакою автотранспортної ємності природно-територіального комплексу, а її профіль має бути окреслено нерівнобічною трапецією з кутами нахилу бічних сторін: аверсної $\sim 20^\circ$ та реверсної $\sim 30^\circ\text{--}50^\circ$ і висотою > 15 м.

8. Розроблений алгоритм визначення впливу на довкілля проекту будівництва (реконструкції) автомобільної дороги є підставою для розроблення відповідних систем автоматизованого проектування (САПР) як окремих ділянок автодоріг, так автотранспортно-комунікаційної мережі регіону в цілому і забезпечує можливість неперервної оптимізації конструкційних параметрів автомобільних доріг відповідних категорій в

умовах зміни властивостей і ознак техногенно трансформованих ландшафтів та динаміки транспортної і технологічної інфраструктури природно-техногенної геоекосистеми.

9. Реалізація пропонованих науково-методологічних основ та заходів, щодо практичної реалізації екологічної безпеки автодорожніх мереж, забезпечує еколого-технологічну оптимізацію функціонування автотранспортного комплексу, зменшення транспортно-техногенного тиску на природно-техногенні геоекосистеми та стабілізацію ландшафтних і екологічних ознак природно-територіальних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абраменко С.В. Апарин Г.П., Крючков А.Н. Географические информационные системы. Создание цифровых карт. Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – 276 с.
2. Автомобильные дороги общего пользования. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог. ОДМ 218.011-98 (Утв. Приказом ФДС РФ от 05.11.1998 № 421).
3. Адаменко О.М., Міщенко Л.В. Екологічний аудит територій. Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 342 с.
4. Адаменко О.М. Наш майбутній дім – Екоєвропа. Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2007. – 428 с.
5. Адаменко О.М. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище : науково-теоретичні основи, практична реалізація: автореф. дис. на здобуття наук.ступ. док. техн. наук: 21.06.01 / Івано-Франк. нац. техн. ун-тет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2006. -25 с.
6. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія. Київ: Манускрипт, 1998. – 350 с.
7. Адаменко О.М. Конструктивная экология. Saarbrucken: Lap Lambert, 2014. – 122 с.
8. Адаменко О.М., Адаменко Я.О., Архипова Л.М. Екологічна безпека територій. За ред. О.М. Адаменка. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2014. – 444 с.
9. Адаменко О.М., Зоріна Н.О. Методологія та організація наукових досліджень в екології. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2015. – 172 с.
10. Адаменко Я.О. Оцінка впливів на навколишнє середовище. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2014. – 284 с.

11. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. – 279 с.
12. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения. Справочник. Перевод с английского В.У. Рэнкин, П.Клафи, С. Халберт и др. Москва: Транспорт, 1981. – 592 с.
13. Андрейцев В.І. Право екологічної безпеки. Київ: Знання-Пресс, 2002. – 332с.
14. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1980. – 189 с.
15. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1. Учебник для вузов. Москва: Транспорт, 1979. – 367 с.
16. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2. Учебник для вузов. Москва: Транспорт, 1987. – 415 с.
17. Баженов В.А., Ісаєнко В.М., Саталкін Ю.М. Інженерна екологія. За заг. ред. В.П. Бабака. Київ: вид-во НАУ, 2006. – 492 с.
18. Базаров И.П. Термодинамика. Москва: Высшая школа, 2010. – 376 с.
19. Батурин В.К. Техногенное химическое воздействие автомобильных дорог на экосистемы придорожной полосы. Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. – 112 с.
20. Бахмат М.І., Шелудченко Екологічний фундаменталізм, як еволюція детермінованого біоцентризму. *Збірник наук. праць ПДАТУ: Спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. – С. 3–5.
21. Бахмат О.М., Васик Л.С., Шелудченко І.А. Моніторинг транскордонного переносу забруднюючих речовин у штучних ландшафтах автошляхової мережі. *Збірник наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету «Сучасні проблеми*

- збалансованого природокористування – вип. IV*”. Кам’янець-Подільський, 2009. – С. 101-103.
22. Бегма И.В., Томаревская Е.С. Проектирования автомобильной дороги с учетом зрительного восприятия. Москва: Автотрансиздат, 1963. – 76 с.
 23. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнений природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 56 с.
 24. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
 25. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Основи екології. Київ: Либідь, 2004. – 408 с.
 26. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. Київ: Либідь, 1995. – 368 с.
 27. Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. Моніторинг довкілля. Херсон: Грінь Д. С., 2011. – 530 с.
 28. Боков В.А., Луцник А.В. Основы экологической безопасности. Симферополь: СОНАТ, 1998. – 97 с.
 29. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. Москва: Наука, 1986. – 544 с.
 30. Бронштейн Д.Л. Современные средства измерения загрязнения Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 325 с.
 31. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
 32. Васик Л.С., Шелудченко Б.А., Бахмат О.М., Гищук В.П. та ін. Екологічна експертиза. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2006. – 68 с.
 33. Васик Л.С., Гаврилянчик Р.Ю., Шелудченко І.А. та ін. Інженерна екологія. Ч. 8. Міські екосистеми. За ред. Б.А. Шелудченко. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2010. – 136 с.

34. Васик Л.С., Павлів О.В., Каленчук Я.В. Екологічна експертиза та природоохоронне інспектування. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2010. – 112 с.
35. Васик Л.С., Овчарук О.В. Модель-імітатор лісової газо-пилізахисної смуги. *Наук. журнал «Екологічна безпека». Кременчук, 2011. – № 2/2011 (12). С. 76-79.*
36. Васик Л.С. Лісова газо-пилізахисна смуга автомобільної дороги / Л.С. Васик. *VI Всеукр. наук.-практ. конф. “Наука. Молодь. Екологія – 2010”.* Житомир, 2010. С. 15-16.
37. Васик Л.С., Бахмат О.М., Каленчук Я.В., Хабовський А.Е. Особливості формування крон деревно-чагарникової лісової газо-пилізахисної смуги. *Матер. II-ї Міжн. наук.-практ. конф. “Сучасний стан та перспективи розвитку біо- і агроценозів в умовах постійного техногенного забруднення – 2010”.* Дрогобич-Трускавець, 2010. С. 288-291.
38. Васик Л.С. Лісова газо-пилізахисна смуга у вузлах автошляхових мереж. *Тезиси докл. междунар. научн. симпоз. “Неделя еколога – 2010”.* Днепродзержинск, 2010. С. 63-65.
39. Васик Л.С., Бахмат О.М. Створення шумо-газо-пилізахисних насаджень на територіях прилеглих до автошляхів. *Тези допов. Всеукр. наук.-практ. конф. “Регіональні та транскордонні проблеми екологічної безпеки. Горбуновські читання – 2011”.* Чернівці: 2011. С. 34-35.
40. Васик Л.С. Узгодження конструкційних параметрів лісових газо-пилізахисних смуг на ділянках з особливими ландшафтно-транспортними умовами ПТГЕС. *Міжн. наук.-практ. конф. “Подільські читання – 2012”.* Кам'янець-Подільський, 2012. С. 81-83.
41. Васик Л.С., Шелудченко Б.А. Результати дослідження аналітичної моделі динаміки концентрацій оксиду вуглецю на пришляхових територіях. *Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. “Сучасні проблеми*

- збалансованого природокористування”. Кам’янець- Подільський, 2008. С. 106-107.
42. Васильева Н.П., Каар Э.В., Васильева Н.П. Методы и направления лесовосстановления техногенных ландшафтов. Москва: 1978. С. 115–135.
 43. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. Москва, 1989. - 261 с.
 44. Виннер Н. Кибернетика и общество. Москва: Изд-во иностр. лит., 1958. – 200 с.
 45. Внукова Н.В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль – дорога – середовище: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 21.06.01. Харків, 2015. – 36 с.
 46. Внукова Н.В. Методологія екологічної безпеки комплексу АДС (автомобіль – дорога – середовище). Монографія. Харків: ХНАДУ, 2011. – 196 с.
 47. Внукова Н.В., Желновач Г.М., Карпенко О.С. Можливість оцінки ризику забруднення атмосферного середовища та ґрунтів придорожного простору автодоріг. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць.* – 2010. – № 48. С. 11-14.
 48. Внукова Н.В., Подригало М.А., Калініченко А.В., Коробко А.І. Аналіз та прогнозування європейських екологічних норм для автомобільного транспорту та аналогічні нормативи в Україні. *Екологія и промышленность.* – 2010 № 1(22). С. 4-9.
 49. Внукова Н.В. Показники впливу комплексу АДС на навколишнє середовище і методи їх оцінки. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць.* – 2010. – № 51. С. 173-179.
 50. Внукова Н.В., Барун М.В. Аналіз методів оцінки забруднення придорожного простору. *Зб. наук. праць УкрНДІЕП «Проблеми охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки».* 2010. С. 243-256.

51. Внукова Н.В. Вплив природно-кліматичних умов на екобезпеку транспортного комплексу. *Вісник НТУ «ХПІ» зб. наук. праць. Тематичний випуск: нові рішення в сучасних технологіях.* – 2011. – № 34. С. 3-6.
52. Внукова Н.В., Ковальова О.М., Желновач Г.М. Математичне моделювання споживання паливно-енергетичних та матеріальних ресурсів інтегрованими системами “автомобіль – дорога – середовище”. *Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць.* 2011. – Вип. 66. – С.404-410.
53. Внукова Н.В. Вплив технічного стану двигунів внутрішнього згоряння на паливну економічність і екологічну безпеку. *Вісник НТУ «ХПІ» зб. наук. праць. Тематичний випуск: нові рішення в сучасних технологіях.* – 2011. – № 53. С. 27-34.
54. Внукова Н.В. Методика оцінки техногенних та екологічних ризиків при експлуатації системи “автомобіль – дорога – середовище” // *Сборник трудов XIX международной научно-практической конференции КАЗАНТИП-ЭКО-2011 “Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения г. Щелкино, АР Крым: в 3-х т., т.3 / УкрГНЦ “Енергосталь”.* – Харьков: НТМТ, 2011. С.126-136.
55. Внукова Н.В. Види впливу та методи оцінки комплексу “автомобіль – дорога – середовище” на довкілля. *IV всеукраїнський з’їзд екологів з міжнародною участю “Екологія – 2013”:* зб. наук. статей. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 328-329.
56. Внукова Н.В. Желновач Г.М. Додаткові фактори збільшення негативного впливу автодоріг на навколишнє середовище. *Materials V Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji “Europejska nauka XXI powieka – 2009”/ Medycyna Nauk i Chemiczne Technologie Ekologia Geografie Rolnictwo Weterynarie. Przemysl,* 2009. – Vol. 13. – P. 69-70.

57. Вознюк С.В. Обґрунтування параметрів конструкції лабіринту лакунарних порожнин в структурі газо-пилізахисних лісосмуг автомобільних доріг: дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. – Кам'янець-Подільський, 2017. – 180 с.
58. Вознюк С.В., Шелудченко Л.С. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на атмосферне повітря в Хмельницькій області. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ: ВЦ НУБіП України, 2015. – Вип. 214. – С.58-64.
59. Вознюк С.В. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на придорожній ландшафт. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції “Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання”*. Чернівці: “Місто”, 2015. – С. 44-46.
60. Вознюк С.В. Проблеми реалізації механізмів Кіотського протоколу і заходи щодо імплементації “гнучких механізмів”. *Збірник наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спец. вип. – ПДАТУ*. Кам'янець-Подільський, 2009. – С. 62-64.
61. Вознюк С.В. Аеродинамічні властивості лісових газо-пилізахисних смуг із штучно створеними лакунарними порожнинами. *Тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції “Екологічна безпека держави”*. Київ: НАУ, 2016. – С. 3-4.
62. Вознюк С.В., Кобринська Л.В. Особливості формування штучно створюваних фітоценотичних комірок у вертикальній структурі газо-пилізахисних лісосмуг автодорожньої мережі. *Тези доповідей XIV міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: Вид-во Щербатих, 2016. – С.109.
63. Войцицький А.П., Федішин Б.М., Борисюк Б.М. Методи та засоби вимірювання параметрів навколишнього середовища. Житомир: ДАУ, 2006. – 365 с.

64. Волова Т.Г. Экологическая биотехнология. Новосибирск: Прима-Пресс, 1998. – 152 с.
65. Волькенштейн М.В. Физика и биология. Москва: Наука, 1980. – 152 с.
66. Волошин І.М. Ландшафтно-екологічні основи моніторингу. Львів: «Ліга Прес», 1998. – 356 с.
67. Внукова Н.В. Вплив автотранспортних систем на біологічну складову придорожного простору. *Доп. І-ої Міжн. наук.-практ. Конф «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*. Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2012. – С. 26.
68. Гавриленко О.П. Геоекологічне обґрунтування проектів природокористування. Київ: Ніка-Центр, 2003. – 332 с.
69. Галузеві будівельні норми України ГБН В.2.3-218-007:2012. Споруди транспорту. Екологічні вимоги до проектування автомобільних доріг. Проектування. К.: Укравтодор. Видання офіційне.
70. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. Москва: Речной транспорт, 1999. – 150 с.
71. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Москва: Изд. лит. по строительству, 1971. – 368 с.
72. Грабар І. Г., Грабар О.І. Моделювання динаміки нелінійних систем та міри хаосу дивних атракторів. *Зб. наук. праць ПДАТУ: Спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. – С. 55 – 59.
73. Гриценко А.В., Соловей В.В., Внукова Н.В. Ризики техногенно-екологічного характеру при експлуатації об'єктів автотранспортної інфраструктур. *Екологія та промисловість*. – 2011. – № 3(28). – С. 73-80.
74. Гриценко А.В., Внукова Н.В. Математичні методи конструювання комплексної оцінки рівня розвитку об'єкта в еколого-географічних

- дослідженнях. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2011. – № 6/4. – С. 4-8.
75. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. Москва: Прогресс-Традиция, 2000. – 418 с.
76. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» документ 2059-VII від 17.07.2020 із змінами і доповненнями.
77. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. ДБН В.2.3 – 4 – 2000. Видання офіційне.
78. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). № 201; прийнятий: 09-07-1997.
79. Державний стандарт України ДСТУ 7173:2010 Захист довкілля. Лісові ділянки вздовж залізничних і автомобільних доріг та у смугах їх відведення захисні. Норми виділення.
80. Державний стандарт України ДСТУ Б.В.2.7-34-2001. Щебень для строительных работ из скальных горных пород и отходов сухого магнитного обогащения железистых кварцитов горно-обогатительных комбинатов и шахт Украины. Технические условия.
81. Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцюк Р.А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища. Львів: Афіша, 2004. – 272 с.
82. Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р., Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. Пер. с англ. Москва: Мир, 1999. – 306 с.
83. Дзенис П.Я., Рейнфельд В.Р. Пространственное проектирование автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1968. – 112 с.
84. Дорогунцов С. І., Коценко К. Ф., Хвесик М.А. Екологія. Київ: «Книжкова друкарня наукової книги», 1995. – 372 с.
85. Дорогунцов С.І., Ральчук О.М. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення. Київ: Наукова думка, 2001. – 172 с.

86. Дубровский И.М., Егоров Б.В., Рябошапка К.П. Справочник по физике. Київ: Наукова думка, 1986. – 560 с.
87. Дичко А.О., Єремєєв І.С. Організація моніторингу довкілля з використанням методів теорії фракталів. Управління розвитком складних систем. Київ: КПІ, 2014. №19. С. 150-156.
88. Евграфов А.Н., Высоцкий М.С. Аэродинамика колесного транспорта. Минск: Белавтотракторостроение, 2001. – 368 с.
89. Экологическая энциклопедия: в 6 т. Редкол.: В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев и др. Т. 1. Москва: ООО «Издательство «Энциклопедия», 2008. – 416 с.
90. Экологическая энциклопедия: в 6 т. Редкол.: В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев и др. – М.: ООО «Издательство «Энциклопедия», 2010.
91. Евгеньев И.Е. Автомобильные дороги в окружающей среде / И.Е. Евгеньев, Б.Б. Каримов. Москва: Прима-Пресс, 2000. – 277 с.
92. Желновач Г.М. Заходи з забезпечення екологічної безпеки атмосферного повітря при експлуатації автомобільних доріг загального користування. *Доп. І-ої Міжн. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*. Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2012. – С. 41.
93. Забродський П.М. Обґрунтування процесу роботи і параметрів дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь: *дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01*. Житомир, 1997. – 210 с.
94. Закон України «Про автомобільні дороги» від 20 грудня 2005 р. № 3235-ІУ із змінами і доповненнями.
95. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року № 1264-ХІІ із змінами і доповненнями.
96. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707 із змінами і доповненнями.
97. Закон України «Про зону надзвичайної екологічної ситуації» від 13.07.2000 № 1908 із змінами і доповненнями.

98. Закон України «Про охорону земель» від 19.06.2003 № 0962 із змінами і доповненнями.
99. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 13.06.2001 № 3492 –IV із змінами і доповненнями.
100. Закон України «Про автомобільні дороги» від 20.12.2005 № 3235 –IV із змінами і доповненнями.
101. Залеская Л.С. Курс ландшафтной архитектуры. Москва: Стройиздат, 1964. – 184 с.
102. Запольський А.К., Войцицький А.П., Пількевич І.А. Моніторинг довкілля. Т.1. Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006». – 408 с.
103. Запольський А.К., Войцицький А.П., Пількевич І.А. Моніторинг довкілля. Т.2. Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006». – 360 с.
104. Золотарьов В.О., Братчун В.І., Космін О.В. Випробування дорожньо-будівельних матеріалів: Лабораторний практикум. за ред. В.О. Золотарьова. Харків: Видавництво ХНАДУ, 2006. – 352 с.
105. Іванюк Д.П., Шульга І.А. Управління природоохоронною діяльністю Київ: Алерта, 2007. – 368 с.
106. Ігошин М.І. Математичні методи і моделювання у фізичній географії. За ред. Є.Д. Гопченка, О.Г. Топчієва. Одеса: Астропринт, 2005. – 464 с.
107. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 534 с.
108. Израэль Ю.А. Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 398 с.
109. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: «Наука», 1991. – 149 с.
110. Инженерная экология: Учебник. Под ред. В.Т. Медведева. Москва: Гардарики, 2012. – 687 с.
111. Инженерная защита окружающей среды. Под общ. ред. Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. Москва: изд-во АСВ, 2002. – 296 с.

112. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С. Прикладная механика. Москва: «Машиностроение», 1985. – 576 с.
113. Кавтарадзе Д.Н., Николаева Л.Ф., Поршнева Е.Б. Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия). Москва: Че-Ро, 1999. – 240 с.
114. Казанцев Э.Ф. Технологии исследования биосистем. Москва: Машиностроение, 1999. – 177 с.
115. Кейсмер Г., Чен Ч. Теория моделей. Москва: Мир, 1977. – 614 с.
116. Канило П.М., Костенко К.В., Внукова Н.В. Канцерогенность отработавших газов автомобилей. *«Автомобильный транспорт: сб. научн. трудов. 2011. – Вып. 29. – С. 160-167.*
117. Кеплер И. Новогодний подарок, или о шестиугольных снежинках. Москва: Издательство «Наука», 1983. – 32 с.
118. Климчик О.М. Оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів на меліорованих територіях: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.02. Житомир, 2003. – 195 с.
119. Кожушко Л.Ф., Скрипчук П.М. Екологічний менеджмент. Київ: ВЦ «Академія», 2007. – 432 с.
120. Кондратюк Е.Н., Тарабрин В.П., Бакланов В.И и др. Промышленная ботаника. Киев: Наук. думка, 1980. – 260 с.
121. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. Москва: Постмаркет, 2000. – 352 с.
122. Куклев Ю.И. Физическая экология. Москва: Высшая школа, 2003. – 357 с.
123. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений. Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
124. Кучерявий В.П. Урбоекологія. Львів: Світ, 1999. – 360с.

125. Литвинова Л.И., Левон Ф.М. Зеленые насаждения и охрана окружающей среды. Київ: Здоров'я, 1986. – 64 с.
126. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. Под ред. В.Н. Луканина. Москва: Высш. шк., 2001. – 273 с.
127. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
128. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. Москва: Физматлит, 2006. – 328 с.
129. Меннинг У. Дж., Федер У.А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Под ред. Л.М. Филиповой. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 356 с.
130. Міщенко Л.В., Грицюк М.Г. Екологічний аудит територій. Івано-Франківськ: ІМЕ “Галицька академія”, 2008. – 272 с.
131. Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика. Москва: Мол. гвардия, 1988. – 254 с.
132. Мельник А.В., Міллер Г.П. Ландшафтний моніторинг. Київ, 1993. – 148 с.
133. Міллер Г.П., Петлін В.М., Мельник А.В. Ландшафтознавство: теорія і практика. Львів: нац. ун-т ім. І.Франка, 2002. – 172 с.
134. Метеорологія і кліматологія / [під ред. С.М. Степаненка]. – Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008. – 534 с.
135. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів / Затверджено: Наказ Держкомстату України. – 13.11.2008 №452. – <http://ukrstat.org/>.
136. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог: ОДМ 218.011-98 / РосдорНИИ, Свердлов. Центр РосдорНИИ, Росгипролес, НПФ «Российские семена». – Москва, 1998. – 52 с.

137. Некос В.Ю., Некос А.Н., Сафранов Т.А. Загальна екологія та неоекологія. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2011. – 596 с.
138. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. Москва: Машиностроение, 1980. – 136 с.
139. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек. Москва, 1998. – 242 с.
140. Одум Ю. Основы экологии. Москва: Мир, 1975. – 740 с.
141. Озарків І.М., Сорока Л.Я., Грицюк Ю.І. Основи аеродинаміки і тепломасообміну. Київ : ІЗМН, 1997. – 280 с.
142. Орнатский Н.П. Проектирование благоустройства автомобильных дорог. Москва: Высшая школа, 1974. – 136 с.
143. Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. Москва: Мир, 1993. – 176 с.
144. Паламарчук В.О., Коренюк П.І. Економіка природокористування. Запоріжжя: Дике Поле, 2003. – 408 с.
145. Поліщук В.П., Кунда Н.Т. Інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху: навчальний посібник. -Київ:ІЗМН, 1998. -132 с.
146. Патент України №56323, МПК E01F15/00 Лісова газо-пилізахисна смуга автомобільної дороги. Україна. – u201007589; заявлено 10.06.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1.
147. Патент України №72240, МПК E01C1/00 Модель автодорожньої мережі. Україна. – u201201400; заявлено 10.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15.
148. Патент України №99998, МПК E01F8/00, A01C14/00 Лісова газо-пилізахисна смуга автомобільної дороги. Україна. – u201501052; заявлено 10.02.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. №12.

149. Патент України №109012, МПК А01G23/00, Е01С1/00 Газо-пилозахисна лісосмуга автомобільної дороги. Україна. – u201601003; заявлено 08.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.
150. Петренко Н.О., Кустрич Л.О., Гоменюк М.О. Управління проектами. Київ: «Центр учбової літератури», 2015. – 244 с.
151. Писаренко Г.С., Агарев В.А, Квитка А.Л, Попков В.Г., Уманский Э.С. Сопротивление материалов. Киев: Вища школа, 1986. – 775 с.
152. Поповичева О.Б., Персианцева Н.М., Зубарева Н.А., Шония Н.К и др. Сажевые аэрозоли в верхней тропосфере: Свойства и последствия эмиссии. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова / Препринт НИИЯФ МГУ – 2005 – 17/783. – 83 с.
153. Примак А.В., Щербань А.Н. Методы и средства контроля загрязнения атмосферы. Київ: Наукова думка, 1980. – 296 с.
154. Присяжнюк С.О., Шелудченко Ю.А., Васик Л.С. Еколандшафтні особливості лісової рекультивації земель. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2008. – 19 с.
155. Пряхин В.Д. Декоративное озеленение автомобильных дорог. Москва: Автотрансиздат, 1958. – 57 с.
156. Путилов К.А. Термодинамика. Москва: Наука, 1971. – 376 с.
157. Радкевич В.А. Экология. Москва: Высш. шк., 1998. – 94 с.
158. Рапута В.Ф., Коковин В.В., Шуваева О.В. Математические модели длительного загрязнения окрестностей автотрасс. *Труды Международной конференции RДАММ. – 2001. – Т. 6. – Ч. 2. Спец. выпуск.* – С. 348–350.
159. Ратобылский В.С., Лярский П.А. Общее землеведение и краеведение Минск: «Высшая школа». – 416 с.
160. Регламент створення та експлуатації автоматизованих систем екологічного контролю і моніторингу об'єктів підвищеної екологічної

- безпеки. Є.М. Варламов, А.В. Чорна, О.О. Калініченко та ін. Київ: Мінприроди, 2009. – 46 с.
161. Реймерс М.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). Москва: Россия молодая, 1994. – 366 с.
162. Рекомендації по застосуванню ґраток композитних при влаштуванні асфальтобетонних шарів дорожніх одягів Р В.2.7 - 31911658 - 823: 2013.
163. Рідей Н.М., Горбатенко А.А., Строкаль В.П., Грінь Д.С. та ін. Геоінформаційний моніторинг екологічного стану локальних агроecosystem. Херсон, 2013. – 236 с.
164. Рідей Н.М., Строкаль В.П., Рибалко Ю.В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Олдіплюс, 2011. – 568 с.
165. Радовенчик В.М., Радовенчик Я.В., Качула І.Г. Доступ до екологічної інформації в Україні. Вісник НТУ «КПІ». *Серія: Хімічна інженерія, екологія та збалансоване природокористування*. Київ: НТУ «КПІ». 2016. Вип. 1. С.75-80.
166. Рудько Г.І., Конструктивна геоecologia: наукові основи та практичне втілення. [за ред. Г.І. Рудька]. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. – 320 с.
167. Рудько Г.І., Адаменко О.М. Землелогія. Еколого-ресурсна безпека Землі. [за ред. Г.І. Рудька]. Київ: Академпрес, 2009. – 512 с.
168. Рудько Г.І., Гошовський В.С. Екологічна безпека техноприродних геосистем адміністративних областей (на прикладі Львівської області). Київ: “Академпрес”, 2009. – 192 с.
169. Сахаєв В.Г., Шевчук В.Я. Економіка і організація охорони навколишнього середовища. Київ: Вища школа, 1995. – 272 с.
170. Сычева А.В. Охрана природы и архитектура. Минск: Высшая школа, 1976. – 207 с.

171. Сиденко В.М., Технология строительства автомобильных дорог. Ч. 1. Технология строительства земляного полотна Київ: «Вища школа», 1970. – 236 с.
172. Сиденко В.М. Батраков О.Т., Леушин А.И. Технология строительства автомобильных дорог. Ч. 2. Технология строительства дорожных одежд. Київ: «Вища школа», 1970. – 328 с.
173. Сидоренко В.Ф., Балакин В.В., Фельдман Ю.Г. и др. Выбор для автомагистралей конструкций полос зеленых насаждений по их газозащитным свойствам. *Гигиена и санитария*. – № 4, 1978. С. 8–12.
174. Симонин С.И., Котов Ю.В., Срулевич А.А. Наглядные изображения при проектировании автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1975. – 128 с.
175. Сльоз А.М., Шелудченко Л.С. Аналіз рівнів екологічної небезпеки автодорожньої мережі. *Зб. наук. праць ПДАТУ: Спец. вип. до VIII наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2013. – С. 215–217.
176. Смалько Я.А. Ветрозащитные особенности лесных полос разных конструкций. Киев: Гос. издат. сельхозлитерат, 1963. – 193 с.
177. Степура В.С., Белятинський А.О., Кужель Н.В. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів. Київ: НАУ, 2013. – 204 с.
178. Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарчук М.М. Промислова екологія. Львів: Українська академія друкарства, 2005. – 547 с.
179. Сухарев С.М., Чундак С.Ю., Сухарева О.Ю. Техноекологія та охорона навколишнього середовища. Львів: «Новий світ – 2000», 2004. – 256 с.
180. Титаренко М.В. Електротехніка. Житомир: ЖІТІ, 1999. – 224 с.

181. Трескинский С.А., Кудрявцев Г.П. Эстетика автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1978. – 200 с.
182. Троянський О.І., Дашковський О.А. Моніторинг якості повітря. Житомир: «Рута», 2006. – 108 с.
183. Федер Е. Фракталы. Москва: Мир, 1991. – 262 с.
184. Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем. Успехи физических наук. – 1983, октябрь. www.doskanis.ru.
185. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Москва: Мир, 1997. – 232 с.
186. Физический энциклопедический словарь / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 193 с.
187. Фракталы в физике / Под. ред. Л. Пьетронеро, Э. Тозатти. Москва: Мир, 1988. – 670 с.
188. Хакен Г. Синергетика. Москва: Издательство «Мир», 1980. – 404 с.
189. Екологічна безпека та економіка : монографія / М.І. Сокур, В.М. Шмандій, Є.К. Бабець, В.С. Білецький, І.Є. Мельнікова, О.В. Харламова, Л.С. Шелудченко. – Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2020. – 240 с.
190. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація. Київ: Знання, 2005. – 242 с.
191. Чернобаев И.П. Химия окружающей среды. Киев: Вища школа, 1990. – 191 с.
192. Шабетник В.Д. Фрактальная физика. Наука о мироздании. Москва: Тибр, 2000. – 416 с.
193. Шевчук В.Я., Саталкін Ю.М. Екологічне управління. Київ: Либідь, 2004. – 432 с.
194. Шелудченко Б.А., Бахмат М.І., Войцицький А.П. та ін. Інженерна екологія. Ч. 6. Нормування якості навколишнього середовища. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2007. – 172 с.

195. Шелудченко Б.А. Методологія досліджень екосистем. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2008. – 110 с.
196. Шелудченко Б.А., Трач С.В., Шелудченко І.А. та ін. Надзвичайні ситуації природного і антропогенного характеру. За ред. Б.А. Шелудченко. Кам'янець-Подільський: ТОВ «Каліграф», 2012. – 150 с.
197. Шелудченко Б.А., Малиновський А.С., Зосимович М.В. та ін. Інженерна екологія. Ч. 1. Основи техноекології. За ред. Б.А. Шелудченко. Житомир: «Волинь», 1999. – 216 с.
198. Шелудченко Б.А., Шелудченко І.А., Павлів О.В. та ін. Загальне землезнавство. За ред. Б.А. Шелудченко. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011 – 164 с.
199. Шелудченко Б.А. Інженерна екологія. Ч. 5. Фізика геосфер. Житомир: «Волинь», 2004. – 136 с.
200. Шелудченко Б.А., , Основні фактори техногенної трансформації та забруднення літосфери. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2006. – 39 с.
201. Шелудченко Б.А., Васик Л.С., Шелудченко І.А. Екологічне обґрунтування раціональної структури автотранспортних комплексів. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2008. – 40 с.
202. Шелудченко Б.А. Перспективи використання фізичної симуляції процесів для дослідження динаміки фрактальних структур. *Зб. наук. праць ПДАТУ: Спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. С. 151–155.
203. Шелудченко Б.А. Вступ до конструювання природно-техногенних геоекосистем (ландшафтно-територіальний аспект). Кам'янець-Подільський: Вид-во ПДАТУ, 2014. – 170 с.
204. Шелудченко Б.А., Шелудченко І.А., Шелудченко Л.С., Хабовський А.Е. Інженерна екологія Ч.Х: Параметри якості довкілля: метрологія,

- багатопараметричність, біоіндикація, моніторинг. Кам'янець-Подільський: Вид-во ПДАТУ, 2015. – 150 с.
205. Шелудченко Б.А., Васик Л.С. Обґрунтування параметрів конструкцій лісозахисних смуг автошляхової мережі. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсозбереження: наук.-техн. журнал*. Івано-Франківськ, 2010. – № 2. С.35-41.
206. Шелудченко Б.А., Васик Л.С. Фрактально-інваріантне обґрунтування моделювання лісозахисних смуг автотранспортної мережі. *Зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету “Сучасні проблеми збалансованого природокористування – вип. V”*. Кам'янець-Подільський, 2010. – С. 135-137.
207. Шелудченко Б.А., Зеленський В.А., Васик Л.С. Конструктивна екологія – засади та принципи конструювання ПТГЕС. *Доповіді I-ї Міжн. наук.-практ. конф. “Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування – 2012”*. Івано-Франківськ, 2012. С.159-160.
208. Шелудченко Б.А., Васик Л.С. Аналітичне обґрунтування аналітичної моделі-симулятора автотранспортної ємності території. *Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. “Сучасні проблеми збалансованого природокористування”*. Кам'янець-Подільський, 2008. – С. 94-101.
209. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М. До питання забезпечення екологічної безпеки територій з розвиненою інфраструктурою автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць VII-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*. – Вінниця: ВНТУ, 2019.- С.26.
210. Шелудченко Б.А., Шелудченко Л.С. Механіка контактного руйнування автомобільних доріг. Кам'янець-Подільський: ТОВ “Каліграф”, 2016. – 66 с.
211. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. Житомир: Полісся, 1992. – 249 с.

212. Шелудченко І.А., Васик Л.С. Модель ділянки автодорожньої мережі, як статично невизначена рамна система. *Зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету “Сучасні проблеми збалансованого природокористування – вип. VII”*. Кам’янець-Подільський, 2012. С.159-161.
213. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Аналітичне обґрунтування параметрів лакуарності лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг. *Наук.-техн. журнал “Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування” Спец. вип. – ІФНТУНГ*, Івано-Франківськ, 2014. С.56 - 60.
214. Шелудченко Л.С. Конструкційна реалізація модельного проекту лісової газо-пилізахисної смуги автошляхової мережі. *Зб. наук. праць ПДАТУ: Спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. Кам’янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. С. 179 – 182.
215. Шелудченко Л.С. Обґрунтування еколого-ландшафтних параметрів та розроблення конструкцій газо-пилізахисних смуг автодорожньої мережі: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Кам’янець-Подільський, 2013. – 181с.
216. Шелудченко Л.С. Розроблення конструкцій газо-пилізахисних лісосмуг автодорожньої мережі. Кам’янець-Подільський: Каліграф, 2015. – 134 с.
217. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Антропогенна трансформація ландшафтів. Межі ергодичності процесів трансформації та усереднення за часом. *Матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування”*. Київ: ДКЗ, 2015. С. 315-316.
218. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Екологічна ефективність газо-пилізахисних лісосмуг в інфраструктурі автомобільних доріг. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-*

- практичної конференції “Екологічний стан і здоров’я жителів міських екосистем. Горбуновські читання”. Чернівці: “Місто”, 2016. С. 197-198.
219. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В. Оцінка впливу дорожньо-транспортного комплексу на якість атмосферного повітря м. Кам’янець-Подільський. *Міжгалузевий науково-практичний журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 9-10(177-178)/2015, 2015. С.81-87.
220. Шелудченко Л.С. Физическая симуляция внешних воздействий на опорный каркас территории. Сб. научн. раб. *Ставропольского государственного аграрного университета “Применение современных ресурсосберегающих технологий в АПК”*. Ставрополь: 2013. С. 279-282.
221. Шелудченко Л.С. Автоматизоване проектування деревно-чагарникової газо-пилізахисної смуги автодорожньої мережі. *Зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спец. вип. – ПДАТУ*. Кам’янець-Подільський, 2014. С.152-154.
222. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Носко В.Л. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття. *Науковий журнал “Екологічна безпека”*. Кременчук: КрНУ, 2017 № 1/2017 (23). С. 58-62.
223. Шелудченко Л.С. Використання лісових газо-пилізахисних смуг автомобільних доріг, як штучних геохімічних бар’єрів. *Тези доповідей Всеукраїнської наук.-практ. конф. “Екологічний стан і здоров’я жителів міських екосистем. Горбуновські читання”*. Чернівці: “Місто”, 2015. С. 178-179.
224. Шелудченко Л.С. Експлуатаційна надійність автомобільних доріг, як чинник екологічної безпеки. *Тези доповідей X Всеукраїнської наук.-практ. конф. “Екологічна безпека держави”*. Київ: НАУ, 2016. С. 11-12.

225. Шелудченко Л.С. Склад і структура пилових викидів автотранспортних потоків. *Тези доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: КрНУ, 2016. С. 121.
226. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А. Експериментальна індикація динаміки ламінарно-турбулентних повітряних аерозольних викидів автотранспортних потоків. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Екогеофорум – 2017. Актуальні проблеми та інновації”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 158-159.
227. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В., Кобринська Л.В. Оцінка екологічних ризиків проектів лісових газо-пилозахисних смуг. *Зб. наук. праць міжнар. наук.-практ. конф. “Аграрна наука та освіта Поділля. Ч. I”*. Кам’янець-Подільський: Крок, ПДАТУ, 2017. С. 53-55.
228. Шелудченко Л.С. Автомобільні дороги: експлуатаційна надійність та екологічна безпека. Кам’янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2017. – 62 с.
229. Шелудченко Л.С. Еколого-економічна ефективність газо-пилозахисних смуг автодорожньої мережі. *Міжгалузевий наук.-практ. журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 4-5(172-173)/2015, 2015. С. 72-74.
230. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Бахмат О.М. Моделювання і прогнозування динаміки природно-техногенних геоекосистем та ін. За ред. Б.А. Шелудченка. Кам’янець-Подільський: ТОВ “Каліграф”, 2017. – 216 с.
231. Шелудченко Л.С. Дослідження матеріального балансу “пальне – викиди”. Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *Наук.-техн. журнал “Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування”* Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ. Івано-Франківськ, 2017. С.133-140.

232. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М., Ригас Т.Є. Екологічна небезпека експлуатаційного руйнування автомобільних доріг: монографія. LAP LAMBERT AcademicPublishing, 2017. – 93 с.
233. Шелудченко Л.С. Аналітичне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі автотранспортними потоками. *Наук.-практ. журнал “Екологічні науки” Вип. №3-4 2017 (18-19)*. Київ, 2017. С. 24-27.
234. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автотранспортними мережами. *Науковий журнал “Екологічна безпека”*. КрНУ, 2017 № 2/2017 (24). Кременчук: С. 9-13.
235. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як термодинамічної системи. *Тези доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – С. 75.
236. Шелудченко Л.С., Кобринська Л.В., Вознюк С.В. Дослідження матеріального балансу системи “паливо – викиди автотранспортних засобів”. *Збірник наукових праць міжнародної наукової конференції до 117 річниці від дня народження академіка П.М. Василенка*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2017. С. 228-230.
237. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автодорожньою мережею. *Матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти”*. Полтава: ПДАА, 2017. С. 169-171.
238. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Овчарук О.В., Носко В.Л. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. *Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних*

- територій: колективна монографія За ред. П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ТОВ НВП Укрпромторгсервіс, 2018. С. 300-310.
239. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Кобринська Л.М. Синхронізація колективного руху потоків автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі. *The international research and practical conference: "The development of technical sciences: problems and solutions"*. Brno: Baltija Publishing, 2018. P. 176-180.
240. Шелудченко Л.С. Динаміка емісії пилових аерозолів внаслідок трибологічного зношування дорожнього покриття автомобільної дороги рушієм автотранспортних засобів. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2018 № 1/2018 (25). С. 69-75.
241. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як відкритої термодинамічної системи. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування"*. Вип. №1 (17) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2018. С.86 - 91.
242. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Поліщук Д.В. Функціональні ознаки автотранспортного потоку та шляхи забезпечення екологічної безпеки природних територій. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №4 2018*. Частина 2, Київ, 2018. С. 163 – 167.
243. Шелудченко Л.С. Динамика миграции газопылевых аэрозолей, произведенных автотранспортными потоками. *Ежеквартальный научно-технический журнал «Гидрометеорология и экология» № 2 (89)*, Министерство энергетики Республики Казахстан, Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Алматы, 2018. С. 52-63.
244. 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.
245. Шмандій В.М., Шелудченко Л.С. Екологічна оцінка та прогнозування динаміки трансформації ландшафту під впливом дії автотранспортної мережі». *Науковий журнал “Екологічна безпека”*: Кременчук: КрНУ, 2018 № 2/2018 (26). С. 70-75.
246. Шелудченко Л.С. Экологическая характеристика конструкций газопылезащитных лесополос автомобильных дорог» // О.В. Овчарук, Л.С. Шелудченко, Т.Д. Гуцол // *European Journal of Intelligent Transportation Systems* 1(1), November 2018/ P. 7-14.
247. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В., Комарніцький С.П., Носко В.Л., Кобринська Л.В. Забезпечення експлуатаційної надійності конструкції автомобільних доріг шляхом дослідження її реологічних властивостей. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №6 2018. Частина 2.* Київ, 2018. С. 163 – 167.
248. Шелудченко Б.А., Кухарець С.М., Шелудченко Л.С., Ярош Я.Д., Білецький В.Р. Аеродинаміка газо-пилових повітряних аерозолів. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 95 с.
249. Шелудченко Л.С. Сучасні тенденції екологічної безпеки будівництва автомобільних доріг в транспортно-комунікаційних системах. *Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції”*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2018. –С. 40-42.
250. Шелудченко Л.С. Інформаційна модель міграції газо-пилових викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг. *Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура»*. Київ: НУБіП, 2018. С. 132-135.

251. Шелудченко Л.С. Динаміка міграційних процесів та депонування викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *Матеріали наукових праць II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Хімія, екологія та освіта»*. Полтава: ПДАА, 2018. С. 57-60.
252. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Плахтій Д.П. Оцінка пилового забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій в результаті руйнування дорожнього покриття автомобільних доріг. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і здобувачів вищої освіти «Актуальні проблеми соціально-гуманітарних і природничих наук в контексті сучасних глобальних викликів»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2018. С. 394-397.
253. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Поліщук Д.В. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека, як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи»*. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С. 195.
254. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Замойський С.М. Теренов Т.Б. Екологічне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі потоками автотранспортних засобів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 25*. Київ, 2019. С.
255. Шевченко И.В. Проблемы мониторинга сложных технологических процессов и систем. *Актуальні питання та організаційно правові основи міжнародного співробітництва у сфері високих технологій: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ, 2014. С.81-84.
256. [Шищенко П.Г.](#) Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании. Киев. 1999. – 284 с.
257. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики: ГОСТ 20444-85. [действующий от 1986-01-01].

- Москва: Государственный комитет по правам строительства, 1986, 14 с.
258. Шмандій В.М., Солошич І.О. Управління природоохоронною діяльністю. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 296 с.
259. Ямборак Р.С., Шелудченко Б.А., Шелудченко І.А. Інженерна екологія. Ч. 9. Хімічна екологія. За ред. Б.А. Шелудченко. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О. В., 2011. – 164 с.
260. Ямборак Р.С. Автоматизоване оцінювання та прогнозування гідрохімічного стану водних ресурсів Подільського Придністер'я: дис. на ... канд. географ. наук: спец. 11.00.11. Кам'янець-Подільський, 2007. – 209 с.
261. Grytsenko A., Vnukova N., Barun M. Scientific Bases of Environmental Security Complex “Automobile – Road – Environment”. *Sustainable Development*, 2014. – Vol. 17. P. 10-14.
262. Tsunokava K., Christopher H. Roads and the Environment. 1997. - 217 p.
263. Naumov V., Vnukova N., Zhelnovach G. Mozliwosci zastosowania sieci neuronowych do oceny bezpieczenstwa ekologicznego drog na Ukraine. *Budownictwo i Architektura: Collection of Scientific Works*, 2014. – Vol. 13(1). P. 339-347.
264. Mann R. F. Global environmental Monitoring System (GEMS). Action Plan for Phase 1. SCORE. Rep. 3 / R. F. Mann. Toronto, 1973. – 130 p.
265. Zeiler M. Modeling our World. ESRI: Redlands, USA, 1999. – 202 p.
266. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Company, 1983. – 468 p.
267. Bakker H., Springer J., Hingst S. Aesthetic Consideration in the Design of Highway Approaches to Main River Crossings. Haag: Staatsnitgeverig, 1971. – 98 p.

268. Hyde N. Some Guidelines on Road Fences in the Landscape. Dublin: Foras Forbartha, 1973. – 32 p.
269. Lorenz H. Trassierung und Gestaltung von Strassen und Autobahnen. Wiesbaden: Bauverlag, 1971. – 98 p.
270. Bondarenko Yu., Vnukova N., Fedorchenko G., Zhelnovach O. Possibilities of ecological estimation of roadside soils contaminated at highway repair works. *Innovative Technologies and Perspectives of Transport, Automobile and Road-Building Industries: Collection of Scientific Works (in foreign languages) of Kharkiv National Automobile and Highway University*. Kharkiv, 2012. P. 75-77.
271. Vnukova N.V., Voronova Ye., Bondarenko J. Estimation of soils contamination of motorways roadside area. *Integration Processes and Innovative Technologies: Achievements and Processes of Engineering Sciences: Collection of scientific works (in foreign languages) of Kharkiv National Automobile and Highway University*. Kharkiv, 2013. P. 166-170.
272. Vnukova N.V., Gelnovatch A.N., Parkhin N.V. La route d'automobile en tant qu'un moyen la fragmentation des ecosystems. *Materialy V Mezinarodni vedecko-prakticka conference "Zprave vedecke ideje – 2009"*. Lekarstvi Biologicke vedy Ekologie Ztmtpis a Geologie Zemedelstvi. Praha, 2009. Dil. 11. P. 76-77.
273. Thom D. Roads in the Landscape. *New Zealand Engineering* № 9, 1970. P. 232–240.
274. Sheludchenko L., Voznyuk S. The aerodynamics of polluting aerosols in the maze of lacunar cavities gas – dust proofing strip of roads. *Buletin Stintific al Centrului Universitar Nord din Baia Mare, Seria D.* – publishing house of the technical university of clujnapoca – utpess, 2014.P. 63-70.
275. Sheludchenko L., Voznyuk S., Nosko V. The theoretical basis of the process of transport of contaminants in the prideaux-roznych landscapes in the

- presence of the dust belts. *Scientific journal "Ecological safety"*. Kremenchuk: KrNU, 2015. – Number 1/2015 (19). P. 22-25.
276. Sheludchenko L., Voznyuk S. The results of analytical investigation of aerodynamic properties forest gas-dustproofing strips with artificially created lacunar cavities. *Scientific journal "Ecological safety"*: Kremenchuk: KrNU, 2016. – Number 1/2015 (21). P. 81-84.
277. Sheludchenko L. Dynamics modeling of traffic-related exhaust aerosol. *Scientific journal "Environmental problems" Vol. 2, №4*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2017. P. 191-194.
278. Sheludchenko L. Optimization of structural parameters of the cross-sectional profile of reserve and technological lanes of highways. *Intellectual Archive Bulletin (ID 1911), March 2018*. – 6 с.: The Library and Archives Canada: collectionscanada.gc.ca/oururl/res.php?url_ver=Z39.88.
279. Ivanyshyn V., Sheludchenko L., Hutsol T., Rud A., Skorobogatov D. Mass transfer management and deposition of contaminants within car road zones. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference / Volume 1. Rezekne Academy of Technologies*, (2019). P. 70-74.
280. Justus G.G. The spectrum and scales of upper atmospheric turbulence. *J. Geophys. Rec.* 1967. Vol. 72, № 7. P. 1933-1940.
281. A working definition of a-government, The future of A-government. New York, center for Technology in Government. 2003. [Електронний ресурс]. https://www.ctg.albany.edu/publications/reports/future_of_egov?chapter=2
282. A citizens` guide to EPAS` environmental appeals board, U.S. Environmental Protection Agency`s, 2013. [Електронний ресурс]. URL: <https://yosemite.epa.gov>.
283. Війна автострад і світ вибоїн: як будуються дороги в різних країнах. [Електронний ресурс]. – *Режим доступу: http://ladk.lviv.ua/vijna-avtostrad-i-svit-vybojin-yak-buduyutsya-dorohy-v-riznyh-krajinah*.

284. Динаміка фітоценозів. [Електронний ресурс]. – *Режим доступу:* Studopedia.com.ua/1_42299_dinamika-fitotsenoziv.html.
285. Директива 2008/50/ЄС європейського парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. [Електронний ресурс]. URL: http://zakon5/rada.gov.ua/laws/show/994_950
286. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. [Чинний від 1996-06-19]. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>
287. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Електронний ресурс]. URL: http://ecotechservice.com.ua/docs/dbn/dstu_n_b_v%201-1-33-2013.pdf/
288. Как в США строят дороги, которые стоят 30 лет без ремонта и ям. [Електронний ресурс]. – *Режим доступу:* <https://censor.net.ua/r257965>.
289. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013–2018 роки : розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2012 р. № 719-р [Електронний ресурс]. – *Режим доступу:* <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/719-2012-p/paran9#n9#n9>.
290. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська конвенція). Конвенцію ратифіковано Законом № 832-XIV від 06.07.99. [Електронний ресурс]. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_015
291. Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища в Україні: Мінприроди в Україні. [Електронний ресурс]. URL: <http://menr.gov.ua/press-center/news/123-news1/5358-kontseptsiya->

[reformuvannia-systemy-derzhavnoho-nahliadu-kontrolio-u-sferi-okhorony-navkolyshnoho-seredovyscha-v-ukraini](#)

292. Лесной фитоценоз. [Електронний ресурс]. – *Режим доступу: Ru-ecologu.info>term/5581/*.
293. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. [Електронний ресурс]. URL: <http://menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/NacDopovid2014.pdf>
294. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2826/
295. Основи геоботаніки (рослина і середовище). – опубліковано 2007-10-30. [Електронний ресурс]. – *Режим доступу: – UA. TextReferat.com*.
296. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів Затверджено Наказом Держкомстату 13.11.2008 №452 [Електронний ресурс]. – *Режим доступу: <http://ukrstat.org/>*.
297. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування півнів забруднення повітря в містах України: КД 52.9.4.01-09. Київ: Держгідромет, 2010.77с.
298. Методичні рекомендації з питань створення систем моніторингу довкілля регіонального рівня: Інформаційно-аналітичний ресурс Мінприроди України. [Електронний ресурс]. URL: <https://iac-menr.rqdata.com.ua/ShowPage.aspx?PageID=318>
299. Перелік найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню: постанова Каб. Міністрів України від 29 листопада 2001 р. № 1598. Дата оновлення: 29.11.2001 р. [Електронний ресурс].URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1598-2001%D0%BF/>

300. РД 52.04.186-89.Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
[Электронный ресурс]. URL:
https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/44/44486/

ДОДАТКИ





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109012** (13) **U**

(51) МПК (2016.01)

A01G 23/00**E01C 1/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ(21) Номер заявки: **u 2016 01003**(22) Дата подання заявки: **08.02.2016**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2016**(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.08.2016, Бюл.№ 15**

(72) Винахідник(и):

**Шелудченко Леся Сергіївна (UA),
Вознюк Світлана Володимирівна (UA),
Шелудченко Богдан Анатолійович (UA),
Гаврилюк Валерій Борисович (UA)**

(73) Власник(и):

**Шелудченко Леся Сергіївна,
вул. Шевченка, 12-а, м. Кам'янець-
Подільський, Хмельницька обл., 32300 (UA),
Вознюк Світлана Володимирівна,
просп. Грушевського, 34, кв. 60, м.
Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл.,
32300 (UA),
Шелудченко Богдан Анатолійович,
вул. Шевченка, 12-а, м. Кам'янець-
Подільський, Хмельницька обл., 32300 (UA),
Гаврилюк Валерій Борисович,
пров. Ківліші, 8, кв. 5, м. Кам'янець-
Подільський, Хмельницька обл., 32300 (UA)**

(54) ГАЗО-ПИЛОЗАХИСНА ЛІСОСМУГА АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

(57) Реферат:

Газо-пилрозахисна лісосмуга автомобільної дороги містить рядну посадку деревних рослин головної породи, супутньої породи та чагарнику з кількістю рядів >5 так, що в рядах посадки лісосмуги виконано пропуски посадки окремих рослин. Пропуски у посадці дерев і чагарників топологічно утворюють в плані дискретне об'єднання порожніх множин у вигляді порожнин періодично розташованих трикутників розміщення біноміальних коефіцієнтів.

UA 109012 U





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99998** (13) **U**
 (51) МПК (2015.01)
 E01F 8/00
 A01C 14/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

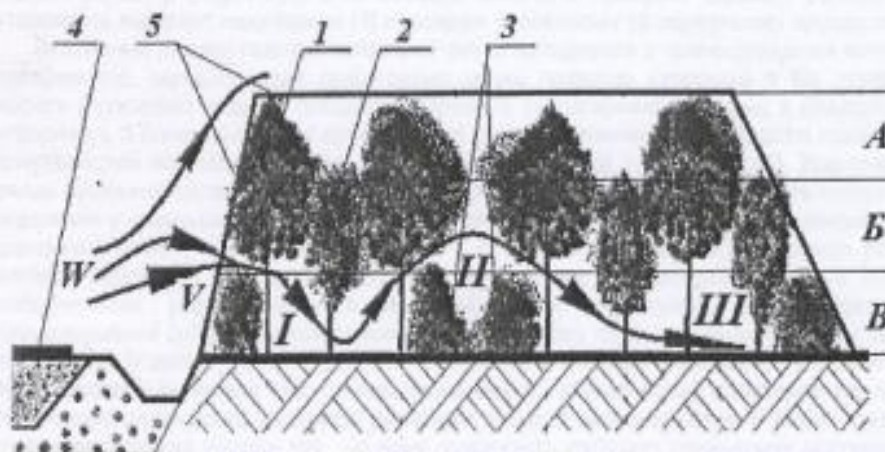
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	и 2015 01052	(72) Винахідник(и):	Шелудченко Леся Сергіївна (UA), Шелудченко Богдан Анатолійович (UA), Вознюк Світлана Володимирівна (UA), Шелудченко Ігор Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	10.02.2015	(73) Власник(и):	ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО- ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець- Подільський, Хмельницька обл., 32300 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.06.2015		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.06.2015, Бюл.№ 12		

(54) ЛІСОВА ГАЗО-ПИЛОЗАХИСНА СМУГА АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

(57) Реферат:

Лісова газо-пилрозахисна смуга автодороги з профілем поперечного перерізу, окресленого трапецеївидним контуром, містить рядну суцільну посадку деревних та чагарникових порід рослин головної породи, супутньої породи та чагарнику з кількістю рядів > 5 так, що вони утворюють 3 гілчато-листяні вертикальні яруси лісової смуги. В рядах суцільної посадки виконано пропуски окремих рослин так, що вони утворюють лабіринт лакунарних порожнин у нижньому та середньому ярусах лісової смуги.



UA 99998 U

ДОДАТОК В

Державне підприємство
"Державний науково-дослідний
та проєктно-випробувальний інститут
"НДІпроектреконструкція"
ФІЛІАЛ
«ЖИТОМИРКОМУНДОРПРОЕКТ»
Ідентифікаційний код: 34729/05
№ 17 06 2014 року
№ 163
1620 м. Житомир, вул. Заступів, 12 Б, +380 232 14-10



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор філіалу
«Житомиркомундорпроект»
«НДІПРОЕКТРЕКОНСТРУКЦІЯ»
В.М. Бушма

про передачу завершених науково-дослідних робіт

Назва НДР	Розробка методу автоматизованого проєктування газопилозахисних лісових смуг автотранспортної мережі та відповідного програмного забезпечення
Розробник	Подільський державний аграрно-технічний університет, кафедра моніторингу навколишнього середовища та збалансованого природокористування, лабораторія екосистемних досліджень (Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 13)
Автори завершеної розробки	Інженер-еколог Л.С. Васик, доцент О.М. Бахмат.
Мета передачі	Використання пропонованого методу та розробленої методики фрактально-інваріантного моделювання і відповідного програмного забезпечення для проєктування газопилозахисних смуг при виконанні проєктних робіт з будівництва та реконструкції автотранспортної мережі, яка складається з автомобільних доріг I-IV категорій.

Від проєктної установи

Головний інженер проєктів,
начальник дорожнього
відділу філіалу
«Житомиркомундорпроект»

І.М. Кравець

Інженер-еколог
філіалу «Житомиркомундорпроект»

Д.В. Червінський

Від розробника

Проректор з наукової роботи

В.І. Овчарук

Зав. кафедри моніторингу навко-
лишнього середовища та збалансо-
ваного природокористування
ПДАТУ

Б.А. Шелудченко

ДОДАТОК Г

**ДЕРЖАВНЕ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО
ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В ХМЕЛЬНИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ****МІЖРАЙОННИЙ ВІДДІЛ ПОГОДЖУВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

**Ректору Подільського державного
аграрно-технічного університету
проф. М. І. Бахмату**

Апробована в Міжрайонному відділі погоджувальної діяльності Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Хмельницькій області «Методика проектування лісових газопилозахисних смуг автотранспортної мережі», розроблена за участю співробітниці Подільського державного аграрно-технічного університету Л. С. Шелудченко, дозволяє обґрунтувати склад, структуру та ландшафтнопросторові параметри газопилозахисних лісосмуг в умовах значного розчленування природних ландшафтів мережею автомобільних шляхів в залежності від їх категорій. За вищезазначеною методикою розроблено ряд рекомендацій щодо оптимізації, ремонту та облаштування пришляхових газопилозахисних лісосмуг для умов природних ландшафтів Подільського Придністер'я.

Заступник начальника
Міжрайонного відділу
погоджувальної діяльності



А. Є. Чистяков



УКРАЇНА

КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКА РАЙОННА ДЕРЖАВНА
АДМІНІСТРАЦІЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ
ВІДДІЛ МІСТОБУДУВАННЯ, АРХІТЕКТУРИ ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

32301 Хмельницька область, м. Кам'янець - Подільський, площа Вірменський ринок, 6 тел. 9-12-41

Вих. № 93/01-15 від 17.03.2015р.

Ректору Подільського державного
аграрно-технічного університету
проф. В. В. Іванишину

Апробована «Методика проектування газо-пилрозахисних ліосмуг автодорожньої мережі» у відділі містобудування, архітектури та житлово-комунального господарства Кам'янець-Подільської райдержадміністрації в Хмельницькій області, розроблена за участю здобувача наукового ступеня Подільського державного аграрно-технічного університету С. В. Вознюк під керівництвом к.т.н., доцента кафедри екології та збалансованого природокористування Л. С. Шелудченко, яка дозволяє обґрунтувати структуру, ландшафтно-просторові параметри та склад фітоценозу газо-пилрозахисних ліосмуг в умовах значного розчленування природних ландшафтів мережею автомобільних доріг. Відповідно до зазначеної методики розроблено ряд рекомендацій щодо облаштування газо-пилрозахисних ліосмуг для умов Подільського Придністер'я.

Начальник відділу містобудування,
архітектури та ЖКГ



Б. Бенц

ДОДАТОК Е



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор філіалу
«Житомиркомундорпроект»
ІНДІАД
В.М. Бушма

про передачу завершених науково-дослідних робіт

Назва НДР	Розробка методу автоматизованого проектування газопилозахисних лісових смуг автотранспортної мережі та відповідного програмного забезпечення
Розробник	Подільський державний аграрно-технічний університет, кафедра моніторингу навколишнього середовища та збалансованого природокористування, лабораторія екосистемних досліджень (Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 13)
Автори завершеної розробки	Інженер-еколог Л.С. Васик, доцент О.М. Бахмат.
Мета передачі	Використання пропонованого методу та розробленої методики фрактально-інваріантного моделювання і відповідного програмного забезпечення для проектування газопилозахисних смуг при виконанні проектних робіт з будівництва та реконструкції автотранспортної мережі, яка складається з автомобільних доріг I-IV категорій.

Від проектної установи

Головний інженер проектів,
начальник дорожнього
відділу філіалу
«Житомиркомундорпроект»

І.М. Кравець

Інженер-еколог
філіалу «Житомиркомундорпроект»

Д.В. Червінський

Від розробника

Директор з наукової роботи

В.І. Овчарук

Зав. кафедри моніторингу навко-
лишнього середовища та збалансо-
ваного природокористування
ПДАТУ

Б.А. Шелудченко

ДОДАТОК Ж

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Перший заступник начальника Головного
 управління статистики у Житомирській області


 Т.М. Бульчак
 18 05 2017р.



АКТ

про передачу завершених науково-дослідних робіт

Назва НДР	Узагальнення багатопараметричної інформації для аналізу даних, які наведено у формі №1-Дор “Про наявність автомобільних доріг загального користування та їх благоустрій” за 2016 р.
Розробник	Кафедра екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету (Хмельницька обл., м. Кам’янець-Подільський, вул. Шевченка, 13)
Автор розробки	Л.С. Шелудченко
Мета передачі	Можливість використання для аналізу інформації, яку наведено у формі №1-Дор “Про наявність автомобільних доріг загального користування та їх благоустрій” за 2016 р.

Від Головного управління статистики
у Житомирській області

Від розробника

начальник управління
інформаційних технологій
Головного управління статистики у
Житомирській області

Доцент кафедри екології
та збалансованого
природокористування



О.Л. Валуєва




Л.С. Шелудченко

ДОДАТОК К

ЗАТВЕРДЖУЮ”
 директор КП “Комбінат Добробут”
 Р.Г. Пристач
 06 2017р.

АКТ

про впровадження завершених науково-дослідних робіт

Назва НДР	Модель динаміки диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття
Розробник	Кафедра екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету (Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 13)
Автори розробки	Л.С. Шелудченко, О.С. Чинчик
Мета передачі	Можливість використання при виконанні ремонтних робіт автомобільних доріг категорій 3, 4 та 5
Очікуваний результат	Підвищення технологічно-транспортного ресурсу дорожніх покриттів після проведення поточних ремонтів автомобільних доріг категорій 3, 4 та 5 на 15...25 %

Від розробника

кандидат технічних наук, доцент

 Л.С. Шелудченко

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

 О.С. Чинчик

ДОДАТОК Л

ДП "Хмельницький облавтодор"
Хмельницька ДЕД

АКТ

про впровадження завершених науково-дослідних робіт

Назва НДР	Розроблення технічних та експлуатаційних заходів забезпечення екологічно безпечної експлуатації автомобільної дороги Н03 в межах Хмельницької області	
Виконавець	Кафедра екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету (Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 13)	
Відповідальні виконавці НДР	к.т.н., доцент Л.С. Шелудченко	д.с.-г.н., доцент О.С. Чинчик
Мета передачі	Використання результатів НДР у філії Хмельницької ДЕД ДП "Хмельницький облавтодор"	
Очікуваний результат	Підвищення транспортного-технологічного ресурсу та рівня екологічної безпеки автомобільної дороги Н03	

Начальник філії
Хмельницька ДЕД

к.т.н., доцент
Л.С. Шелудченко

О.П. Панасюк

д.с.-г.н., доцент
О.С. Чинчик



" 3 " січня 2018 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 головний конструктор
 В.Л. Волокита
 “ 18 ” листопада 2018р



АКТ
про передачу завершених науково-дослідних
та дослідно-конструкторських робіт

Назва НДР	Обґрунтування конструкційних параметрів об'єктів транспортної інфраструктури автомобільних доріг
Замовник	Житомирський завод металоконструкцій ВАТ “Укрстальконструкція” (м. Житомир, вул. Сергія Параджанова, 87).
Розробник	Подільський державний аграрно-технічний університет, кафедра екології та збалансованого природокористування (Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 13).
Автор розробки	Л.С. Шелудченко
Мета передачі	Використання при проектуванні об'єктів транспортної інфраструктури автомобільних доріг (транспортні, пішохідні галереї, пішохідні мостові переходи, огорожувальні, екрануючі та інші металеві конструкції).
Очікуваний результат	Узгодження конструкційних параметрів об'єктів транспортної інфраструктури автомобільних доріг з характеристиками та режимами автотранспортних потоків забезпечить їх синхронізацію, що зумовлює підвищення рівнів безпеки руху та забезпечує фіксований рівень екологічної безпеки регіонів з щільною автодорожньою мережею.

Від Житомирського ЗМК
 ВАТ “Укрстальконструкція”

Заступник головного конструктора
 для
 ДОКУМЕНТІВ
 М.І. Береженська




Від розробника

Докент кафедри екології
 та збалансованого природокористування
 Л.С. Шелудченко




“ПОГОДЖЕНО”

Проректор з навчальної роботи
Подільського державного
аграрно-технічного університету
І.А. Ясінецька
“05” березня 2018р.



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Реktor Подільського державного
аграрно-технічного університету
проф. В.В. Іванишин
березня 2018р.

АКТ

про впровадження у навчальний процес
результатів дисертаційних досліджень
**«Теоретичні основи та методи реалізації екологічної безпеки
автотранспортних мереж»**
Шелудченко Лесі Сергіївни

Комісія у складі:

Голови: Бахмат О.М., д. с.-г. н., професора, завідувача кафедри екології, карантину і захисту рослин;

Членів:

Комарніцького С.П., к.т.н., доцента, завідувача кафедри транспортних технологій та засобів АПК;

Замойського С.М., к.т.н., доцента кафедри транспортних технологій та засобів АПК

На основі детального аналізу встановила, що результати наукових досліджень виконаних кандидатом технічних наук, доцентом кафедри транспортних технологій та засобів АПК Шелудченко Лесі Сергіївни є такими, що вперше використовуються в навчальному процесі підготовки здобувачів освітнього ступеня «бакалавр», «магістр» спеціальностей 101 – «Екологія» та 275 – «Транспортні технології (автомобільний транспорт)» упродовж 2017-2018 рр. при вивченні таких дисциплін як «Оцінка впливу на навколишнє середовище», «Інженерна екологія», «Спеціальні методи організації дорожнього руху», «Дорожні умови і безпека руху», «Екологічні характеристики схем ОДР», що дозволило підвищити рівень підготовки фахівців, а саме: прагнення до збереження навколишнього середовища, здатність аналізувати та прогнозувати параметри і показники функціонування транспортних систем та технологій з урахуванням впливу зовнішнього середовища, здатність оцінювати та забезпечувати екологічну безпеку транспортної діяльності відповідно до освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 275 «Транспортні технології (автомобільний транспорт)», 101 «Екологія».

Голова комісії:

О.М. Бахмат

Члени комісії:

С.П. Комарніцький

С.М.Замойський

Список публікацій здобувача***Монографії***

1. Розроблення конструкцій газо-пилрозахисних лісосмуг автодорожньої мережі : монографія / Л.С. Шелудченко. - Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2015. – 134 с.
2. Механіка контактного руйнування автомобільних доріг : монографія / Б.А. Шелудченко, Л.С. Шелудченко. - Кам'янець-Подільський: ТОВ “Каліграф”, 2016. – 66 с. *ISBN: 978-966-1686-07-5*.
3. Екологічна небезпека експлуатаційного руйнування автомобільних доріг : монографія / Шелудченко Л.С., Шмандій В.М., Ригас Т.Є. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 93 с. *ISBN: 978-620-2-07234-2*.
4. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Овчарук О.В., Носко В.Л. (Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія / за ред. П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб). – Полтава: ТОВ НВП Укрпромторгсервіс, 2018. С. 300-310. *ISBN: 978-617-7464-15-9*.
5. Аеродинаміка газо-пилових повітряних аерозолів : монографія / Шелудченко Б.А., Кухарець С.М., Шелудченко Л.С., Ярош Я.Д., Білецький В.Р.– LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 95 с. *ISBN: 978-3-659-93838-2*.
6. Екологічна безпека та економіка : монографія / М.І. Сокур, В.М. Шмандій, Є.К. Бабець, В.С. Білецький, І.Є. Мельнікова, О.В. Харламова, Л.С. Шелудченко. – Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2020. – 240 с.
7. Providing environmental safety in the conditions of the dense road network: Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity :

Collective monograf. Riga : Izdevnieciba "Bultija Publishing", 2020. P. 498-516..

***Статті, які входять до наукометричних баз даних та фахових видань
України***

8. Шелудченко Л.С., Сльоз А.М. Аналіз рівнів екологічної безпеки автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. Спец. вип. – ПДАТУ. Кам'янець-Подільський, 2013. С.215-217.
9. Sheludchenko L., Voznyuk S. The aerodynamics of polluting aerosol sinthemaze of lacunar cavities gas – dustpro of ingstrips of roads. *Buletin Ştiinţific Al Centrului Universitar Norddin Baia Mare, Seria D.* – publishing house of the technical university of clujnapoca - utpress, 2014. P. 63-70.
10. Шелудченко Л.С. Автоматизоване проектування деревно-чагарникової газо-пилотзахисної смуги автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. Спец. вип. – ПДАТУ, Кам'янець-Подільський, 2014. С.152-154.
11. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Аналітичне обґрунтування параметрів лакуарності лісових газо-пилотзахисних смуг автомобільних доріг. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування"*. Спец. вип. – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2014. С.56-60.
12. Sheludchenko L., Voznyuk S., Nosko V. The theoretical basis of the process of transport of contaminants in the prideaux-roznych landscapes in the presence of the dust belts. *Scientific journal "Ecological safety"*: Kremenchuk: KrNU, 2015. – Number 1/2015 (19). P. 22-25.
13. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на атмосферне повітря в Хмельницькій області. *Науковий*

- вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.* – К.: ВЦ НУБіП України, 2015. – Вип. 214. С. 58-64.
14. Sheludchenko L., Voznyuk S. The results of analytical investigation of aerodynamic properties forest gas-dustproofings trips with artificially created lacunar cavities. *Scientific journal "Ecological safety"*. Kremenchuk: KrNU, 2016. – Number 1/2016 (21). P. 81-84.
15. Шелудченко Л.С., Носко В.Л., Овчарук О.В. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2017 № 1/2017 (23). С. 58-62.
16. Шелудченко Л.С. Дослідження матеріального балансу "пальне – викиди". Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування"*. Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2017. С.133-140.
17. Шелудченко Л.С. Аналітичне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі автотранспортними потоками. *Наук.-практ. журнал "Екологічні науки"*. Вип. №3-4 2017 (18-19) – Держ. екол. академія післядипломної освіти і управління, Київ, 2017. С. 24-27.
18. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автотранспортними мережами. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2017 № 2/2017 (24). С. 9-13.
19. Sheludchenko L. Dynamics modeling of traffic-related exhaust aerosol. *Scientific journal "Environmental problems"* Vol. 2, №4. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2017. P. 191-194.
20. Sheludchenko L. Optimization of structural parameters of the cross-sectional profile of reserve and technological lanes of highways. *Intellectual Archive Bulletin* (ID 1911), March 2018. – 6 с.: The Library and Archives Canada: collectionscanada.gc.ca/ourl/res.php?url_ver=Z39.88.

21. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Кобринська Л.М. Синхронізація колективного руху потоків автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі. *The international research and practical conference: "The development of technical sciences: problems and solutions"*. – Brno: Baltija Publishing, 2018. P. 176-180.
22. Шелудченко Л.С. Динаміка емісії пилових аерозолів внаслідок трибологічного зношування дорожнього покриття автомобільної дороги рушієм автотранспортних засобів. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2018 № 1/2018 (25). С. 69-75.
23. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як відкритої термодинамічної системи. *Наук.-техн. журнал "Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування"*. Вип. №1 (17) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2018. С.86 - 91.
24. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Поліщук Д.В. Функціональні ознаки автотранспортного потоку та шляхи забезпечення екологічної безпеки природних територій. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №4 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163 – 167.*
25. Шелудченко Л.С. Динаміка міграції газопылевых аерозолей, произведенных автотранспортными потоками. *Ежеквартальный научно-технический журнал «Гидрометеорология и экология» № 2 (89), Министерство энергетики Республики Казахстан, Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Алматы, 2018. С. 52-63.*
26. 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.*
27. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М. Екологічна оцінка та прогнозування динаміки трансформації ландшафту під впливом дії автотранспортної

- мережі. *Науковий журнал "Екологічна безпека"*. Кременчук: КрНУ, 2018 № 2/2018 (26). С. 70-75.
28. Шелудченко Л.С., Овчарук О.В., Гуцол Т.Д. Экологическая характеристика конструкций газо-пылезащитных лесополос автомобильных дорог». *European Journal of Intelligent Transportation Systems* 1(1), November 2018. P. 7-14.
29. Шелудченко Л.С. Поліщук Д.В., Комарніцький С.П., Носко В.Л., Кобринська Л.В. Забезпечення експлуатаційної надійності конструкції автомобільних доріг шляхом дослідження її реологічних властивостей. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки Том 29 (68) №6 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163 – 167.
30. Шелудченко Л.С. Функціональні ознаки автотранспортного комплексу. *«Автомобіль і електроніка сучасні технології» Електронне наукове фахове видання*, 13/2018, ХНАДУ, Харків, 2018. С.75-80.
31. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Замойський С.М., Теренов Д.Б. Екологічне оцінювання обсягів викидів диспергованої сажі потоками автотранспортних засобів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 25*. Київ: Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2019.
32. Sheludchenko L., Ivanyshyn V., Hutsol T., Rud A., Skorobogatov D. Mass transfer management and deposition of contaminants within car road zones. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference / Volume 1*. Rezekne Academy of Technologies, (2019). P. 70-74.
33. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Поліщук Д.В., Замойський С.М. Семенишена Р.В. Організація резервно-технологічної смуги автомобільної дороги для підвищення рівня екологічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал № 28*. Київ: Державна

екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2020. С. 216-221.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

34. Шелудченко Л.С. Використання лісових газо-пилозахисних смуг автомобільних доріг, як штучних геохімічних бар'єрів. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції "Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання"*. Чернівці: "Місто", 2015. С.178-179.
35. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Антропогенна трансформація ландшафтів. Межі ергодичності процесів трансформації та усереднення за часом. *Матеріали II-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"*. Київ: ДКЗ, 2015. С.315-316.
36. Шелудченко Л.С. Експлуатаційна надійність автомобільних доріг, як чинник екологічної безпеки. *Тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції "Екологічна безпека держави"*. Київ: НАУ, 2016. С.11-12.
37. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Вознюк С.В. Екологічна ефективність газо-пилозахисних лісосмуг в інфраструктурі автомобільних доріг. *Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції "Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання"*. Чернівці: "Місто", 2016. С.197-198.
38. Шелудченко Л.С. Склад і структура пилових викидів автотранспортних потоків. *Тези доповідей XIV міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми екологічної безпеки"*. Кременчук: КрНУ, 2016. С.121.
39. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А. Експериментальна індикація динаміки ламінарно-турбулентних повітряних аерозольних викидів автотранспортних потоків. *Матеріали міжнародної науково-*

- практичної конференції “Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С.158-159.
- 40.Шелудченко Л.С., Вознюк С.В., Кобринська Л.В. Оцінка екологічних ризиків проектів лісових газо-пилрозахисних смуг. *Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта Поділля. Ч. I”*. Кам’янець-Подільський: Крок, ПДАТУ, 2017. С.53-55.
- 41.Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як термодинамічної системи. *Тези доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми екологічної безпеки”*. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. С. 75.
- 42.Шелудченко Л.С., Кобринська Л.В., Вознюк С.В. Дослідження матеріального балансу системи “паливо – викиди автотранспортних засобів”. *Збірник наукових праць міжнародної наукової конференції до 117 річниці від дня народження академіка П.М. Василенка*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2017. С. 228-230.
- 43.Шелудченко Л.С. Екологічна безпека ландшафтів природно-територіальних комплексів, які трансформовано автодорожньою мережею. *Матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції “Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти”*. Полтава: ПДАА, 2017. С. 169-171.
- 44.Шелудченко Л.С. Сучасні тенденції екологічної безпеки будівництва автомобільних доріг в транспортно-комунікаційних системах. *Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції “Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції”*. Кам’янець-Подільський, Тернопіль: Крок, 2018. С. 40-42.
- 45.Шелудченко Л.С. Інформаційна модель міграції газо-пилових викидів в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг. *Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції*

- «Автомобільний транспорт та інфраструктура». Київ, НУБіП, 2018. С. 132-135.
46. Шелудченко Л.С. Динаміка міграційних процесів та депонування викидів, які продукуються автотранспортними потоками. *II Міжнародна науково-практична інтернет конференція «Хімія, екологія та освіта» (15-16 травня 2018 року)*. Полтава: ПДАА, 2018. С. 57-60.
47. Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Плахтій Д.П. Оцінка пилового забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій в результаті руйнування дорожнього покриття автомобільних доріг. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і здобувачів вищої освіти «Актуальні проблеми соціально-гуманітарних і природничих наук в контексті сучасних глобальних викликів»*. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2018. С. 394-397.
48. Шелудченко Л.С., Комарніцький С.П., Поліщук Д.В. Еколого-технологічна оптимізація опорного каркасу автодорожньої мережі. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека, як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи»*. Львів: ЛДУБЖД, 2018. С. 195.
49. Шелудченко Л.С., Шмандій В.М. До питання забезпечення екологічної безпеки територій з розвинутою інфраструктурою автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць VII-й Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю*. Вінниця: ВНТУ, 2019. С.26.
50. Шелудченко Л.С., Замойський С.М. Управління екологічною безпекою в умовах функціонування автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*. Кременчук: КрНУ, 2019. С. 92-96.
51. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В. Застосування програмного комплексу SoundPLAN для моделювання акустичної обстановки і поширення шкідливих речовин, спричинених діяльністю автомобільних засобів. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної*

конференції «Проблеми екологічної безпеки». Кременчук: КрНУ, 2019. С. 80-84.

52. Sheludchenko L.S., Semenyshena R.V. The highway – an important element of the road economy which has negative impact on the environment. Метериали XVI міжнародна научна практична конференція «Новината за напреднали наука – 2020». Софія «Бел. Град – БГ». С. 6-9.

Патенти України на корисну модель

53. Патент України №99998 Лісова газо-пилрозахисна смуга автомобільної дороги. Л.С. Шелудченко, Б.А. Шелудченко, С.В. Вознюк, І.А. Шелудченко (Україна). – u201501052; заявлено 10.02.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. №12.
54. Патент України №109012 Газо-пилрозахисна лісосмуга автомобільної дороги. Л.С. Шелудченко, С.В. Вознюк, Б.А. Шелудченко, В.Б. Гаврилюк (Україна). – u201601003; заявлено 08.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.

Праці, які додатково відображають результати роботи

55. Шелудченко Л.С. Автомобільні дороги: експлуатаційна надійність та екологічна безпека. Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2017. – 62 с.
56. Шелудченко Л.С. Еколого-економічна ефективність газо-пилрозахисних смуг автодорожньої мережі. *Міжгалузевий науково-практичний журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 4-5(172-173)/2015, 2015. С.72-74.
57. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В. Оцінка впливу дорожньо-транспортного комплексу на якість атмосферного повітря м. Кам'янець-Подільський. *Міжгалузевий науково-практичний журнал “Проблеми науки”*. Київ: ЦНТІ № 9-10(177-178)/2015, 2015. С.81-87.

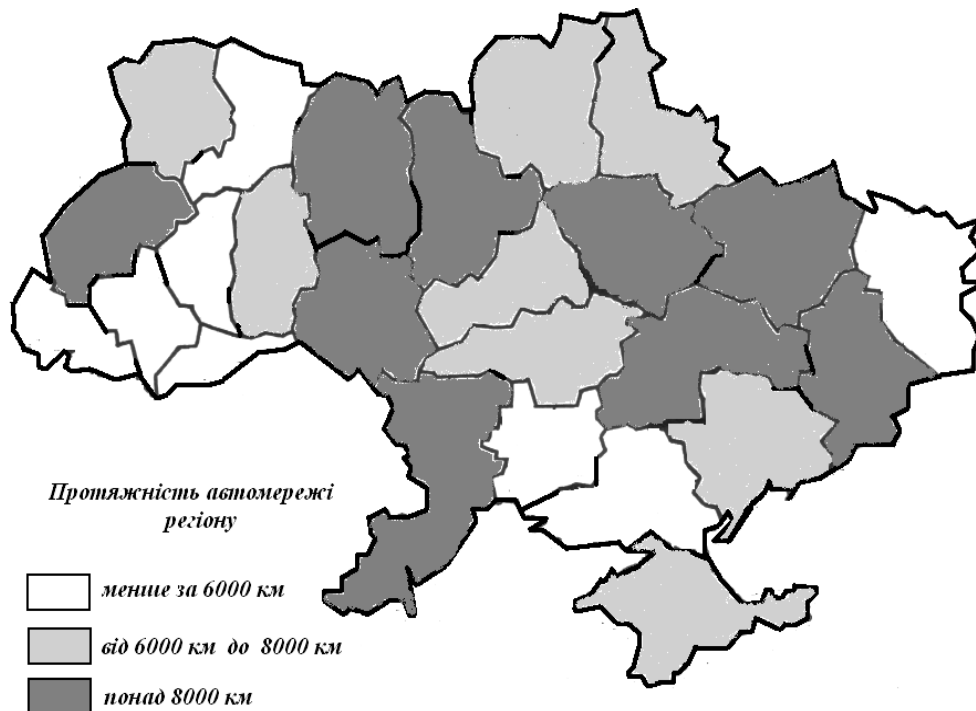
Індекси територіальних доріг місцевого значення та загальна довжина всіх
автошляхів по областях

Індекс	Регіон	Довжина шляхів, км
01	Автономна Республіка Крим	6605
02	Вінницька область	9519
03	Волинська область	6199
04	Дніпропетровська область	9182
05	Донецька область	8052
06	Житомирська область	8513
07	Закарпатська область	3330
08	Запорізька область	6974
09	Івано-Франківська область	4160
10	Київська область	8490
12	Кіровоградська область	6545
13	Луганська область	5810
14	Львівська область	8334
15	Миколаївська область	4831
16	Одеська область	8232
17	Полтавська область	8836
18	Рівненська область	5056
19	Сумська область	7281
20	Тернопільська область	5063
21	Харківська область	9551
22	Херсонська область	4950
23	Хмельницька область	7136
24	Черкаська область	6118
25	Чернігівська область	7680
26	Чернівецька область	2869

Транспортні автомагістралі України
міжнародного та національного значення



Рівень трансформації територій
автотранспортною мережею за регіонами України



Види автомобільних доріг за категоріями

(Витяг з **ДЕРЖАВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ УКРАЇНИ**. Споруди транспорту.
АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ. ДБН В.2.3 - 4 – 2000. Видання офіційне)

Категорія	1а	1б	2	3	4	5
Фактична інтенсивність руху, авт/добу	>7000	>7000	>3000-7000	>1000-3000	>200-1000	<200
Найбільша інтенсивність руху, од/добу	>14000	>14000	>6000-4000	>2000-6000	>400-2000	<400
Розрахункова швидкість руху, км/год	150	140	120	100	80	60
Кількість смуг, шт.	4-8	4-6	2	2	2	1
Ширина смуги, м	3,75	3,75	3,75	3,75	3,5	4,5
Ширина роздільної смуги, м	6	5	-	-	-	-
Ширина крайової укріплюючої смуги на роздільній смузі, м	1	1	-	-	-	-
Ширина крайової укріплюючої смуги на обочині, м	0,75	0,75	0,75	0,5	-	-
Ширина земляного полотна, м	28,5	27,5	15	12	10	6
Радіус кривої на повороті, м	1200	800	800	600	300	150
Максимальний подовжнього схилу, ‰	30	40	40	50	60	70

Результати механічних випробувань моделей щебенево-гравійних шарів
конструкцій автомобільних доріг

№ п/п	Прикладне зусилля, Н	Деформація, $\times 10^{-1}$ м	Кількість в'язей моделі	Час деформування, с
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
Моделювання процесу утворення каверн на поверхні автомобільної дороги				
1	0,0	2,0	7	6,0
2	10,0	4,0	7	12,0
3	47,5	6,0	7	18,0
4	85,0	8,0	7	24,0
5	122,5	10,0	7	30,0
6	160,0	12,0	7	36,0
7	130,0	14,0	6	42,0
8	120,0	16,0	6	48,0
9	160,0	18,0	6	54,0
10	230,0	20,0	6	60,0
	0,0	22,0	6	66,0
12	290,0	24,0	5	72,0
13	360,0	26,0	5	78,0
14	400,0	28,0	5	84,0
15	450,0	30,0	5	90,0
16	500,0	32,0	5	96,0
17	530,0	34,0	5	102,0
18	550,0	36,0	5	108,0
19	570,0	38,0	5	114,0
20	580,0	40,0	5	120,0
21	550,0	42,0	4	126,0
22	590,0	44,0	4	132,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
23	470,0	46,0	4	138,0
24	480,0	48,0	3	144,0
25	490,0	50,0	3	150,0
26	400,0	52,0	2	156,0
27	260,0	54,0	2	162,0
28	150,0	56,0	2	168,0
29	90,0	58,0	2	174,0
30	60,0	60,0	2	180,0
31	65,0	62,0	2	186,0
32	55,0	64,0	2	192,0
33	55,0	66,0	2	198,0
34	60,0	68,0	2	204,0
35	62,0	70,0	2	210,0
36	65,0	72,0	2	216,0
37	70,0	74,0	2	222,0
38	90,0	76,0	2	228,0
39	91,0	78,0	2	234,0
40	95,0	80,0	2	240,0
41	72,0	82,0	1	246,0
42	60,0	84,0	1	252,0
43	50,0	86,0	1	258,0
44	47,5	88,0	1	264,0
45	47,2	90,0	1	270,0
46	47,0	92,0	1	276,0
47	46,6	94,0	1	282,0
48	46,3	96,0	1	288,0
49	45,0	98,0	1	294,0
50	45,0	100,0	1	300,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
51	317,3	102,0	1	306,0
...
124	45,0	244,0	1	744,0
125	45,0	250,0	1	750,0
126	45,0	252,0	1	756,0
127	0,0	254,0	0	762,0
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
128	10,0	256,0	3	768,0
129	20,0	258,0	3	774,0
130	30,0	260,0	3	780,0
131	40,0	262,0	3	786,0
132	45,0	264,0	3	792,0
133	50,0	266,0	3	798,0
134	60,0	268,0	3	804,0
135	50,0	270,0	3	810,0
136	60,0	272,0	3	816,0
137	70,0	274,0	3	822,0
138	80,0	276,0	3	828,0
139	100,0	278,0	3	834,0
140	110,0	280,0	3	840,0
141	115,0	282,0	3	846,0
142	120,0	284,0	3	852,0
143	125,0	286,0	3	858,0
144	140,0	288,0	3	864,0
145	90,0	290,0	2	870,0
146	70,0	292,0	2	876,0
147	50,0	294,0	2	882,0
148	40,0	296,0	2	888,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
149	40,0	298,0	2	894,0
150	50,0	300,0	2	900,0
151	80,0	302,0	2	906,0
152	97,0	304,0	2	912,0
153	120,	306,0	2	918,0
154	130,0	308,0	2	924,0
155	40,0	310,0	1	930,0
156	40,0	312,0	1	936,0
157	40,0	314,0	1	942,0
...
225	40,0	450,0	1	1350,0
226	40,0	452,0	1	1356,0
227	40,0	454,0	1	1362,0
228	0,0	456,0	0	1368,0
Моделювання процесу трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги				
1	0,0	2,0	9	6,0
2	66,1	4,0	9	12,0
3	198,3	6,0	9	18,0
4	320,0	8,0	9	24,0
5	370,2	10,0	9	30,0
6	449,5	12,0	9	36,0
7	528,9	14,0	9	42,0
8	595,0	16,0	9	48,0
9	661,0	18,0	9	54,0
10	634,0	20,0	8	60,0
11	595,0	22,0	8	66,0
12	647,9	24,0	8	72,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
13	674,3	26,0	8	78,0
14	692,0	28,0	8	84,0
15	661,0	30,0	7	90,0
16	687,5	32,0	7	96,0
17	634,6	34,0	6	102,0
18	608,2	36,0	6	108,0
19	608,2	38,0	6	114,0
20	608,2	40,0	6	120,0
21	634,6	42,0	6	126,0
22	681,0	44,0	6	132,0
23	674,3	46,0	6	138,0
24	647,9	48,0	5	144,0
25	634,6	50,0	5	150,0
26	658,7	52,0	5	156,0
27	660,0	54,0	5	162,0
28	661,0	56,0	5	168,0
29	655,8	58,0	4	174,0
30	661,0	60,0	4	180,0
31	666,4	62,0	4	186,0
32	655,8	64,0	3	192,0
33	661,0	66,0	3	198,0
34	647,9	68,0	3	204,0
35	630,0	70,0	3	210,0
36	630,0	72,0	3	216,0
37	647,9	74,0	3	222,0
38	627,1	76,0	3	228,0
39	606,3	78,0	3	234,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
40	585,5	80,0	3	240,0
41	564,7	82,0	3	246,0
42	543,9	84,0	3	252,0
43	523,1	86,0	3	258,0
44	502,4	88,0	3	264,0
45	502,4	90,0	2	270,0
46	456,1	92,0	2	276,0
47	389,9	94,0	2	282,0
48	321,5	96,0	2	288,0
49	317,3	98,0	2	294,0
50	317,3	100,0	2	300,0
51	317,3	102,0	2	306,0
52	317,3	104,0	2	312,0
53	317,3	106,0	2	318,0
54	317,3	108,0	2	324,0
55	317,3	110,0	2	330,0
56	317,3	112,0	2	336,0
57	310,0	114,0	2	348,0
58	285,0	116,0	2	348,0
59	251,2	118,0	2	354,0
60	243,6	120,0	2	360,0
61	236,0	122,0	2	366,0
62	228,4	124,0	2	372,0
63	220,8	126,0	2	378,0
64	213,2	128,0	2	384,0
65	206,6	130,0	2	390,0
66	198,3	132,0	1	396,0
67	198,3	134,0	1	402,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
68	198,3	136,0	1	408,0
...
208	198,3	416	1	1248,0
209	198,3	418	1	1254,0
210	198,3	420,0	1	1260,0
211	0,0	422,0	0	1266,0
212	13,0	424,0	9	1272,0
213	34,0	426,0	9	1278,0
214	51,0	428,0	9	1284,0
215	68,0	430,0	9	1290,0
216	85,0	432,0	9	1296,0
217	102,0	434,0	9	1302,0
218	100,0	436,0	9	1308,0
219	102,0	438,0	9	1314,0
220	125,0	440,0	9	1320,0
221	190,0	442,0	9	1326,0
222	235,0	444,0	9	1332,0
223	240,0	446,0	9	1338,0
224	125,0	448,0	8	1344,0
225	220,0	450,0	8	1350,0
226	240,0	452,0	8	1356,0
227	300,0	454,0	8	1362,0
228	275,0	456,0	7	1368,0
229	360,0	458,0	7	1374,0
230	395,0	460,0	7	1380,0
231	320,0	462,0	6	1386,0
232	350,0	464,0	6	1392,0
233	415,0	466,0	6	1398,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
234	205,0	468,0	5	1404,0
235	160,0	470,0	5	1410,0
236	170,0	472,0	5	1416,0
237	220,0	474,0	5	1422,0
238	240,0	476,0	5	1428,0
239	200,0	478,0	4	1434,0
240	250,0	480,0	3	1440,0
241	195,0	482,0	3	1446,0
242	195,0	484,0	3	1452,0
243	250,0	486,0	3	1458,0
244	220,0	488,0	2	1464,0
245	180,0	490,0	2	1470,0
246	180,0	492,0	2	1476,0
247	85,0	494,0	2	1482,0
248	55,0	496,0	2	1488,0
249	50,0	498,0	2	1494,0
250	45,0	500,0	2	1500,0
251	40,0	502,0	2	1506,0
252	40,0	504,0	2	1512,0
253	40,0	506,0	2	1518,0
254	40,0	508,0	2	1524,0
255	40,0	510,0	2	1530,0
256	40,0	512,0	2	1536,0
257	50,0	514,0	2	1542,0
258	55,0	516,0	2	1548,0
259	40,0	518,0	1	1554,0
260	40,0	520,0	1	1560,0
261	40,0	522,0	1	1566,0

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
...
465	40,0	930,0	1	2790,0
466	40,0	932,0	1	2796,0
467	40,0	934,0	1	2802,0
468	0,0	936,0	0	2808,0

Розроблення аналітичної моделі покрокового зменшення швидкості $\langle v \rangle$ повітряного аерозольного потоку в лакунарних порожнинах лісової газопилозахисної смуги деревно-чагарникового типу

З рівняння (2.40)

$$\langle [v_s(x) - v_s(x+r)]^2 \rangle = |r|^{2/3+B}$$

шляхом послідовних перетворень

$$\langle v_s(x-x+r)^2 \rangle = |r|^{2/3+B}$$

$$\langle v_s^2 \cdot r^2 \rangle = |r|^{2/3+B}$$

$$\langle v_s^2 \rangle = |r|^{2/3+B-2}$$

$$\langle v_s^2 \rangle = |r|^{B-4/3}$$

$$\langle v_s \rangle = \sqrt{|r|^{B-4/3}}$$

$$\langle v_s \rangle = |r|^{B/2-2/3}$$

враховуючи, що $D = 2$:

$$B = \frac{(3-D)}{3} = \frac{1}{3}$$

отримуємо:

$$\langle v \rangle = |r|^{-1/3}$$

Якщо перейти від інтегрування в (2.25) і (2.26) до сумування в покроковому зменшенні швидкості v_s і ввести позначення: k_i – кількість рядів посадки, n – кількість лакунарних порожнин лабіринту в лісовій газопилозахисній смузі автомобільної дороги відповідної категорії, то остаточно отримуємо:

$$\langle v \rangle = \sum_{i=1}^k \left(D \cdot |r|^{-1/3} \right)^n$$



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ІНСПЕКЦІЯ
(Держекоінспекція)

СВІДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ

№ 01/07Видане 12.11.2007 р.Чинне до 11.11.2012 р.

Це свідоцтво засвідчує, що відділ інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної інспекції в Хмельницькій області (29000, м. Хмельницький, вул. І. Франка, 2/2) атестований на підставі Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність", відповідає критеріям атестації вимірювальних лабораторій відповідно до Правил уповноваження та атестації у державній метрологічній системі.

Відділ інструментально-лабораторного контролю атестований на проведення вимірювань показників об'єктів, згідно із галуззю, що наведена в додатку до свідоцтва про атестацію і є певною його частиною.

Додаток: галузь атестації на 14 арк.

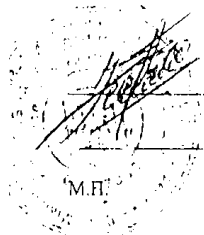
Керівник органу з атестації
вимірювальних лабораторій

Начальник Держекоінспекції, головний
метролог метрологічної служби
Мінприроди у сфері контролю стану
навколишнього природного середовища,
викидів, скидів та відходів

Г. Псарьов

2007 р.


29000, м. Хмельницький, вул. Соболевська, 7
Державне підприємство
"Хмельницький регіональний
центр стандартизації,
метрології та сертифікації"
Зареєстровано 06.11.2007 р.
в книзі обліку за № 349



**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО
СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ**

Державна екологічна інспекція в Хмельницькій області

„ЗАТВЕРДЖУЮ”
Начальник Державної екологічної
інспекції в Хмельницькій області



Степанович В.М.
2007 р.

ПАСПОРТ

відділу інструментально-лабораторного контролю

м. Хмельницький
2007 р.

Додаток Ц (закінчення)

Назва та позначення документів	Вид метрологічних робіт	Назва підрозділу
ДСТУ 2501-94 Аналізатори газів для контролю викидів транспортних засобів. Загальні технічні вимоги і методи випробування	Вимірювання показників у викидах від стаціонарних та пересувних джерел	Відділ інструментально-лабораторного контролю
ДСТУ4276:2004 Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині або газовому паливі		
ГОСТ 17.2.1.02-76 Охрана природы. Атмосфера. Выбросы двигателей автомобилей, тракторов, самоходных сельскохозяйственных и строительно-дорожных машин. Термины и определения		
ГОСТ 17.2.2.05-97 Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин		
КНД 211.2.4.062-97 Внутрішній і зовнішній контроль якості вимірювань складу і властивостей проб викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря		
Збірник нормативно-правових актів в галузі охорони атмосферного повітря, Мінприроди України, Державний екологічний інститут, Центр екологічного аудиту і сертифікації, Київ, 2006		



Державна інспекція сільського господарства України

Український державний центр стандартизації та сертифікації
"УКРАГРОСТАНДАРТСЕРТИФІКАЦІЯ"

СВІДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ

№ A13-398

Видане « 02 » грудня 2013 р.

Чинне до « 23 » жовтня 2016 р.

Це свідоцтво засвідчує, що випробувальна лабораторія

Хмельницької філії Державної установи

«Інститут охорони ґрунтів України»
м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області

відповідає критеріям атестації і атестована на проведення вимірювань показників об'єктів згідно з галуззю атестації у сфері поширення державного метрологічного нагляду.

Галузь атестації наведена у додатку до цього свідоцтва і є його невід'ємною частиною.

Керівник органу з атестації
директор ДЦ „Укргростандартсертифікація“



С.В. Гаценко

Основні функціональні частини програмного забезпечення автоматизованого проектування лісових газо- пилозахисних смуг автодорожньої мережі

Програма містить такі основні функціональні частини: класи Road, RoadProvider, Tree, TreeProvider, файли RoadViever, TreeViever, Default.aspx та Roads.xml і Trees.xml, які можна побачити у Visual Studio після запуску проекту.

Класи **Road.cs** та **Tree.cs** містять наступні параметри, необхідні користувачу:

tree name - назва дерева;

croneForm – форма крони;

gasStability - ступінь газостійкості;

dustStability - пилостійкість;

Road category - категорія автодороги;

width – ширина лісосмуги;

height - висота лісосмуги (однакова для всіх категорій доріг);

ungle - кут нахилу лісосмуги до бічної сторони автодороги;

distance – відстань від проїжджої частини;

plantType – тип посадки дерев

public class **Road**

{

public string Category { get; set; }

public string Width { get; set; }

public string Height { get; set; }

public string Ungle { get; set; }

public string Distance{ get; set; }

public string PlantType{ get; set; }

public Road(XElement roadXml)

{

if (roadXml.Attribute((XName)"category") != null) Category = roadXml.Attribute((XName)"category").Value;

if (roadXml.Attribute((XName)"width") != null) Width = roadXml.Attribute((XName)"width").Value;

if (roadXml.Attribute((XName)"height") != null) Height = roadXml.Attribute((XName)"height").Value;

if (roadXml.Attribute((XName)"ungle") != null) Ungle = roadXml.Attribute((XName)"ungle").Value;

```

        if (roadXml.Attribute((XName)"distance") != null) Distance =
roadXml.Attribute((XName)"distance").Value;
        if (roadXml.Attribute((XName)"plantType") != null) PlantType =
roadXml.Attribute((XName)"plantType").Value;
    }
}
}
public class Tree
{
    public string Name { get; set; }
    public string CroneForm { get; set; }
    public string GasStability { get; set; }
    public string DustStability { get; set; }
    public string Sort { get; set; }
    public Tree(XElement treeXml)
    {
        if (treeXml.Attribute((XName)"name") != null) Name =
treeXml.Attribute((XName)"name").Value;
        if (treeXml.Attribute((XName)"croneForm") != null) CroneForm =
treeXml.Attribute((XName)"croneForm").Value;
        if (treeXml.Attribute((XName)"gasStability") != null) GasStability =
treeXml.Attribute((XName)"gasStability").Value;
        if (treeXml.Attribute((XName)"dustStability") != null) DustStability =
treeXml.Attribute((XName)"dustStability").Value;
        if (treeXml.Attribute((XName)"sort") != null) Sort =
treeXml.Attribute((XName)"sort").Value;
    }
}
}

```

В папці **“images”** збережені креслюнки різних категорій автодоріг, які з’являються перед користувачем за його вибором.

Класи **RoadsProvider** та **TreesProvider** відображають XML у вікні браузера, певним чином фільтруючи його відповідно до параметрів, обраних користувачем.

```
public static class RoadsProvider
```

```
{
    public static XDocument GetRoadsXml()
    {
        XDocument doc;
        try
        {
            doc = XDocument.Load(string.Format("{0}{1}",
HttpContext.Current.Request.PhysicalApplicationPath, "xmlData\\Roads.xml"));
        }
        catch
        {
            return null;
        }
        return doc;
    }
    public static List<Road> GetRoads()
    {
        List<Road> roads = new List<Road>();
        XDocument roadsXml = GetRoadsXml();
        foreach (var roadXml in roadsXml.Root.Elements())
        {
            roads.Add(new Road(roadXml));
        }
        return roads;
    }
}
}
public static class TreeProvider
{
    public static XDocument GetTreesXml()
    {
        XDocument doc;
        try
        {
            doc = XDocument.Load(string.Format("{0}{1}",
HttpContext.Current.Request.PhysicalApplicationPath, "xmlData\\Trees.xml"));
        }
    }
}
```

```

        catch
        {
            return null;
        }
        return doc;
    }
    public static List<Tree> GetTrees()
    {
        List<Tree> trees = new List<Tree>();
        XmlDocument treesXml = GetTreesXml();
        foreach (var treeXml in treesXml.Root.Elements())
        {
            trees.Add(new Tree(treeXml));
        }
        return trees;
    }
}

```

Ключове слово `namespace` (простір імен) використовується для оголошення області дії, яка дозволяє організувати код і забезпечує спосіб створення глобально унікальних типів.

```
namespace Lisozahust
```

```

{
    public partial class _Default : System.Web.UI.Page
    {
        protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            List<Road> roads = RoadsProvider.GetRoads();
            List<Tree> trees = TreeProvider.GetTrees();

            IEnumerable<string> croneForms = (from t in trees select t.CroneForm).Distinct();
            IEnumerable<string> dustStabilities = (from t in trees select t.DustStability).Distinct();
            IEnumerable<string> gasStabilities = (from t in trees select t.GasStability).Distinct();
            if (!IsPostBack)
            {
                DdlRoads.DataSource = roads;
                DdlRoads.DataTextField = "Category";
                DdlRoads.DataBind();
            }
        }
    }
}

```

Додаток III (продовження)

```

        DdlCroneForm.DataSource = croneForms;
        DdlDustStability.DataSource = dustStabilities;
        DdlGasStability.DataSource = gasStabilities;
        DdlCroneForm.DataBind();
        DdlDustStability.DataBind();
        DdlGasStability.DataBind();
    }
    RvRoad.RoadToDisplay = roads.ElementAt(DdlRoads.SelectedIndex);
    RptTrees.DataSource = trees.Where(t => t.CroneForm ==
DdlCroneForm.SelectedValue && t.DustStability == DdlDustStability.SelectedValue &&
t.GasStability == DdlGasStability.SelectedValue);
    RptTrees.DataBind();
}
protected void BtnCountAmountOfTrees_Click(object sender, EventArgs e)
{
    int amount;
    if (int.TryParse(TBWidth.Text, out amount))
        LblAmountOfTrees.Text = string.Format(" Рекомендоване число дерев для
посадки:{0}", amount * 1000 / 8);
    else
        LblAmountOfTrees.Text = "Вибачте, довжина дороги неправильна";
}
}
}
}

```

Файли **RoadViewer.ascx** та **TreeViewer.ascx** проекту відображають інтерфейс програми у вікні браузера.

Trees.xml та **Roads.xml** містять необхідні для користувача дані з лабораторії екосистемних досліджень, які можна легко доповнити новим матеріалом.

```

<Trees>
  <tree name="Дуб звичайний" croneForm="Позлога" gasStability="Стійка"
dustStability="30" sort="Головна"/>
  <tree name="Акація біла" croneForm="Позлога" gasStability="Порівняно стійка"
dustStability="10" sort="Супутня"/>
  <tree name="В'яз звичайний" croneForm="Куляста" gasStability="Слабо
стійка" dustStability="20" sort="Головна"/>
  <tree name="Верба плакуча" croneForm="Позлога" gasStability="Стійка"
dustStability="40" sort="Супутня"/>

```


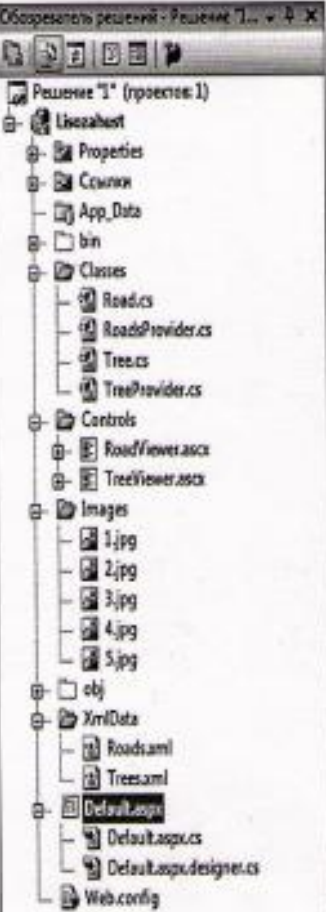
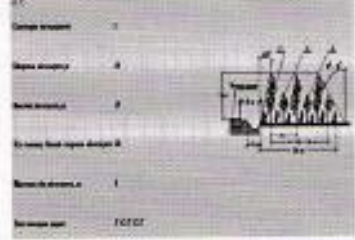
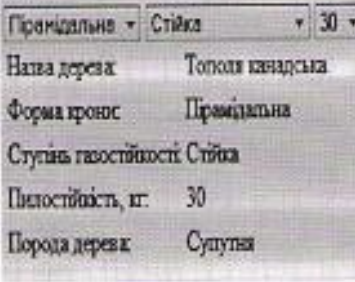


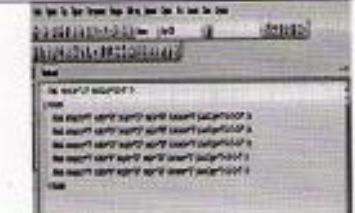
Додаток III (закінчення)

```

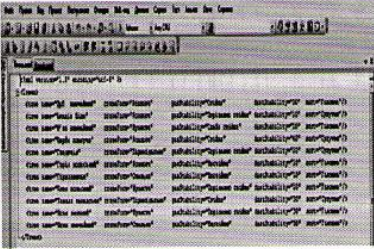
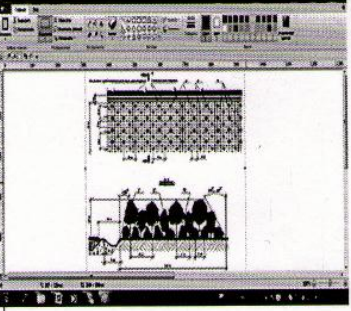

<tree name="Гледичія" croneForm="Пірамідальна" gasStability="Порівняно
стійка" dustStability="20" sort="Супутня"/>
<tree name="Горіх волоський" croneForm="Розлога" gasStability="Нестійка"
dustStability="10" sort="Головна"/>
<tree name="Гіркокаштан" croneForm="Овальна" gasStability="Нестійка"
dustStability="10" sort="Головна"/>
<tree name="Клен польовий" croneForm="Куляста" gasStability="Порівняно
стійка" dustStability="20" sort="Головна"/>
<tree name="Тополя канадська" croneForm="Пірамідальна" gasStability="Сійка"
dustStability="30" sort="Супутня"/>
<tree name="Ясен зелений" croneForm="Куляста" gasStability="Порівняно
стійка" dustStability="30" sort="Головна"/>
<tree name="Ясен звичайний" croneForm="Овальна" gasStability="Нестійка"
dustStability="30" sort="Головна"/>
</Trees>
<Roads>
<Road category="1" width="32" height="15" ungle="20" distance="6" plantType="Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-
Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі" />
Файли RoadLac.ascx та TreeLac.ascx проекту відображають інтерфейс програми вибору
лакунарних порожнин у вікні браузера.
<Road category="2" width="24" height="15" ungle="20" distance="3" plantType="Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-
Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі" />
Файли RoadLac.ascx та TreeLac.ascx проекту відображають інтерфейс програми вибору
лакунарних порожнин у вікні браузера.
<Road category="3" width="16" height="15" ungle="20" distance="3" plantType="Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-
Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-Гі-Чі-Сі" />
Файли RoadLac.ascx та TreeLac.ascx проекту відображають інтерфейс програми вибору
лакунарних порожнин у вікні браузера.
<Road category="4" width="8" height="15" ungle="20" distance="3" plantType="Чі-Гі-Чі-Сі-Чі-
Гі-Чі-Сі-Чі"/>
Файли RoadLac.ascx та TreeLac.ascx проекту відображають інтерфейс програми вибору
лакунарних порожнин у вікні браузера.
<Road category="5" width="4" height="15" ungle="20" distance="3" plantType=" Чі-Гі-Чі-Сі-Чі"
/>
Файли RoadLac.ascx та TreeLac.ascx проекту відображають інтерфейс програми вибору
лакунарних порожнин у вікні браузера.
</Roads>

```

Процедура автоматизованого проектування газо-пилрозахисної смуги
автомобільної дороги деревно-чагарникового типу

Запуск програми		Огляд отриманих проектних рішень	
Вибір конструкції лісової газо-пилрозахисної смуги			
Вибір видового складу деревних та чагарникових порід лісосмуги			
Визначення проектної довжини лісосмуги			
Визначення кількості саджанців деревних та чагарникових порід лісосмуги			
Формування та розширення баз даних, наприклад:			

Додаток Щ (продовження)

<pre><Road category="1" width="32" height="15" angle="20" distance="6" plantType="Г -C-Г-C-Г" /></pre>		<p>Візуалізація проектної документації</p>	
<p>Друк проектної документації на паперових носіях інформації</p>			

Фрагмент проектної документації на розроблення газо-пилозахисної смуги
дервно-чагарникового типу для автомобільних доріг категорії 1-а, 1-б

