

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ**

ШЕЛУДЧЕНКО ЛЕСЯ СЕРГІЇВНА

УДК 504.06 : 625.72 :629.3

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

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2020

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису
Робота виконана на кафедрі транспортних технологій та засобів АПК
Подільського державного аграрно-технічного університету Міністерства освіти
і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
Шмандій Володимир Михайлович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського Міністерства
освіти і науки України, завідувач кафедри
екологічної безпеки та організації
природокористування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Внукова Наталія Володимирівна,
завідувач кафедри екології Харківського
національного автомобільно-дорожнього
університету

доктор технічних наук, професор
Архіпова Людмила Миколаївна,
завідувач кафедри туризму Івано-Франківського
національного технічного університету нафти і
газу

доктор геологічних наук, доцент
Улицький Олег Андрійович,
директор навчально-наукового інституту
екологічної безпеки та управління Державної
екологічної академії післядипломної освіти та
управління

Захист дисертації відбудеться «23» грудня 2020 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, Київ, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корпус 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, Київ, вул. Митрополита Василя Липківського 35, корпус 2 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 за електронною адресою: www.dea.ua

Автореферат розісланий «21» листопада 2020 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01



Іващенко Т.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 напрямам 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-пилізахисних 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. Розроблення теоретичних основ та практичних рішень щодо підвищення рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожньої мережі та інтенсивними автотранспортними потоками, шляхом запобігання міграції газо-пилових аерозолів, які здійснюються викидами автотранспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано такі основні задачі досліджень:

- 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 розвиненої мережі автомобільних доріг під впливом автотранспортних потоків, процесів емісії, міграції та депонування газо-пилових викидів.

Предмет досліджень – показники інтенсивності та щільності автотранспортних потоків, обсяги, структура та склад газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними засобами, експлуатаційні показники автомобільної дороги, 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 імовірнісно-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 імовірнісно-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 проекрованої 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 лакуарних порожнин);
- *удосконалено процедуру* та алгоритм управління проектами природно-техногенних геоєкосистем 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 що до виникнення і поширення екологічної небезпеки під впливом дії автодорожньої мережі відповідні проектні установи та організації, що дозволяє на стадії проектування будівництва (реконструкції) автомобільних доріг забезпечити диверсифікацію наявних природних ресурсів та забезпечити оптимізацію проектних параметрів автодорожньої інфраструктури за показниками екологічної безпеки територій. Результати досліджень можуть бути використані органами державних структур для обґрунтування управлінських екологічно ефективних рішень, а також при розробленні нормативної, регламентної, методичної та іншої 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.

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

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

- Житомирській філії “Житомиркомундорпроект” “НДІпроектреконструкція” (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 17.06.2014 р.);
- Міжрайонному відділі погоджувальної діяльності Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Хмельницькій області (лист від 12.12.2014 р.);
- Відділі містобудування, архітектури та ЖКХ Кам’янець-Подільської районної Державної адміністрації Хмельницької області (лист від 17.03.2015 р.);

- Хмельницькій філії “НДІпроектреконструкція” (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 11.06.2015 р.);
- Головному управлінню статистики у Житомирській області (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 18.05.2017 р.);
- КП “Комбінат Добробут” в Хмельницькій області (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 15.06.2017 р.);
- ДП «Хмельницький облавтодор» Хмельницька ДЕД (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 03.04.2018 р.);
- Житомирський завод металоконструкцій ВАТ «Укрстальконструкція» (акт про передачу завершених науково-дослідних робіт від 18.04.2018 р.);
- Подільському державному аграрно-технічному університеті (акт про впровадження результатів науково-дослідних робіт в навчальний процес від 05.09.2018 р.).

(Відповідні акти впровадження є у додатках до дисертаційної роботи).

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.

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.).

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 патенти України на корисну модель, 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, 15 додатків на 51 сторінці. Повний обсяг роботи становить 388 сторінок друкованого тексту, з них основна частина – 283 сторінки. Робота містить 131 рисунок та 27 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, її зв'язок з науковими програмами та планами науково-дослідних робіт, визначено мету та завдання досліджень, об'єкт, предмет та методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, відомості щодо їх апробації та практичної реалізації, особистого внеску здобувача, а також дані про опублікування основних результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі *“Аналіз сучасного стану проблем екологічної безпеки автодорожніх мереж. Завдання досліджень”* проведено аналіз сучасних тенденцій та перспектив розвитку автотранспортного комплексу в Україні і світі. Визначено характерні особливості динаміки та структури множини автотранспортних засобів в складі автотранспортних потоків (*В.М. Луканін, Ю.В. Трофименко та ін.*). На підставі робіт *О.А. Улицького, В.К. Батуріна, Г.О. Білявського, Н.В. Внукової, С.І. Дорогунцова, І.Є. Євгенєва, В.П. Кучерявого, В.Ф. Рапута, D.Thom, К. Tsunokava та ін.* встановлено основні чинники впливу мережі автомобільних доріг на екологічну рівновагу природно-техногенних геоекосистем (ПТГЕС), які полягають у відчуженні значних територій, розчленуванні ландшафтів, дестабілізації природно-територіальних комплексів (ПТК) та призводять до їх незворотної трансформації.

Встановлено, що значним чинником впливу автотранспортного комплексу на ПТГЕС з щільними автодорожніми мережами є емісія забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками, основними з яких є Карбон(II)оксид, Нітроген оксиди, вуглеводні, альдегіди, сажа (технічний вуглець), мінеральний пил, важкі метали тощо. З урахуванням досліджень *В.М. Шмандія, Я.О. Адаменка, Л.М. Архипової, Н.Ф. Реймерса, Г.І. Рудька, П.Г. Шищенка та ін.* проаналізовано принципи транспорно-екологічної раціоналізації конструювання ПТГЕС з розвиненою автомобільно-комунікаційною інфраструктурою. Встановлено, що динаміка неконтрольованих міграцій (*М.Є. Берлянд, В.Ю. Некос, А.І. Перельман, Т.А. Сафранов та ін.*) газоподібних та мінеральних забруднювачів продукованих автотранспортними потоками за межі смуги відведення автомобільної дороги визначається аеродинамічними чинниками приземних шарів атмосфери (*О.Б. Поповічева, С.М. Степаненко та ін.*), які зумовлено характерними властивостями об'єктів ландшафту та рельєфу ПТГЕС, в тому числі і штучно споруджених (*В.Н. Глазунов, A.Stodola та ін.*).

Аналіз принципів управління екологічною безпекою ПТГЕС з розвиненими автодорожніми мережами передбачає необхідність застосування системного підходу та принципів нелінійності (*П. Гленсдорф, І. Пригожин, М. Фейгенбаум, Г. Хакен та ін.*), фізико-імітаційного моделювання методами віртуальної симуляції процесів (*І.П. Базаров, А.Ф. Вадюніна, М.Н. Гольдштейн, З.А. Корчагіна, К.А. Путілов, G. Keisner, M. Zeiler та ін.*) та дослідження процесів екогеодинаміки іррегулярних фрагментарних об'єктів ПТГЕС, які є інваріантними і описуються за допомогою основних принципів фрактальної

геометрії (Й. Кеплер, Р.М. Кроновер, Б. Мандельброт, Х.О. Пайтген та ін.). При цьому, розроблення та дослідження імітаційних моделей максимально сумісних і адекватних за своїми властивостями реальним ПТГЕС дозволяє визначити екологічно оптимальні параметри штучно створюваних (конструйованих) об'єктів (споруд) природно-техногенних ландшафтів, які розчленовано мережею автомобільних доріг (В.Ф. Бабков, В.К. Батурін, А.В. Гриценко, Д.Н. Кавторадзе та ін.).

На підставі результатів проведеного аналізу сучасного стану екологічної безпеки ПТГЕС з щільною мережею автомобільних доріг встановлено комплексність проблеми, для розв'язання якої необхідний пошук нових ефективних методів конструювання всіх без винятку об'єктів автотранспортної інфраструктури та сформульовано основні завдання досліджень.

У другому розділі “Структура, склад та обсяги викидів, продукованих автотранспортними потоками” на підставі розв'язку контактної задачі (рис.1) встановлено, що максимальні напруження, які виникають в зоні контакту “рушій автотранспортного засобу – автодорога” виникають в конструкції автодорожнього полотна на глибині 0,8 ширини контактної площини і дорівнюють:

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

де q – інтенсивність розподіленого навантаження під рушієм автотранспортного засобу; E_1, E_2 – модулі пружності рушія та поверхневого шару автомобільної дороги, відповідно; R – радіус рушія.

Окрім контактних напружень, які виникають під дією рушіїв автотранспортних засобів, поверхневі шари дорожнього одягу зазнають деформації згину (рис.2), які за всією розглядуваною площиною опираються на нижні шари ярусів автодорожньої конструкції, описуються таким диференціальним трансцендентним рівнянням:

$$\frac{d^4 w(x)}{dx^4} = \frac{1}{EJ} \cdot [q(x) - \alpha \cdot w(x)] \quad (2)$$

де q – інтенсивність розподіленого навантаження; w – величина прогину поверхневих шарів дорожнього одягу; E – модуль пружності конструкційного матеріалу автодорожнього покриття; J – момент інерції розглядуваного перерізу зігнутих шарів автодороги.

За результатами комплексного аналізу (1) і (2) факторів деформування (руйнування) мінеральних шарів конструкції автомобільної дороги, таких як багатоциклове розтягування–стискання окремих конструкцій покриття автомобільної дороги в результаті знакозмінюваного згину та складного напружено-деформованого стану в зоні контакту рушія автотранспортного

засобу з полотном автомобільної дороги, встановлено характерні особливості дезінтегрування мінеральних матеріалів конструкції автодороги (рис.3, рис.4).

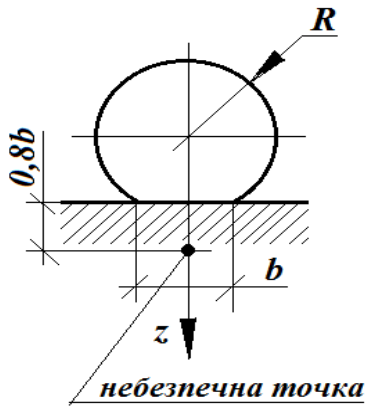


Рис.1.Схема контакту “рушій – автодорога”

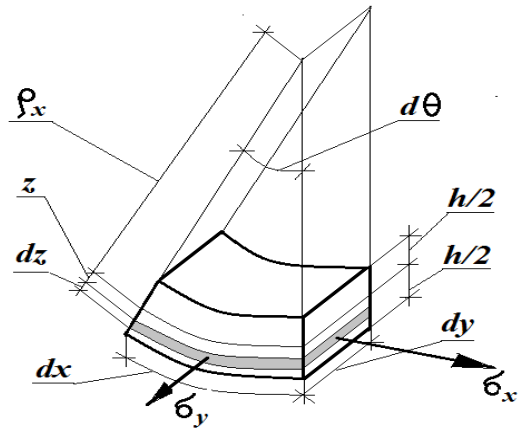


Рис.2.Елемент циліндричної деформації шару автодороги

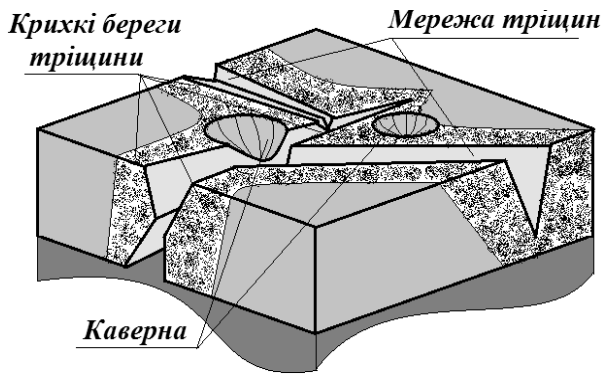


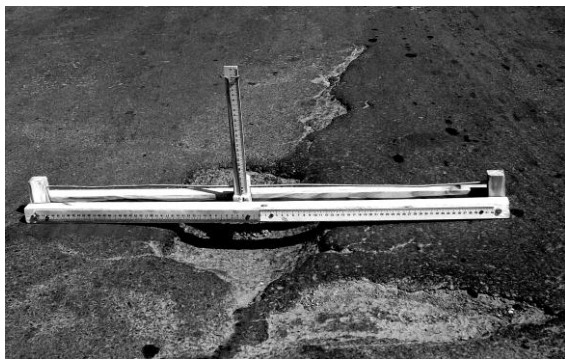
Рис.3. Комплексний характер дезінтегрування (руйнування) автодорожнього покриття



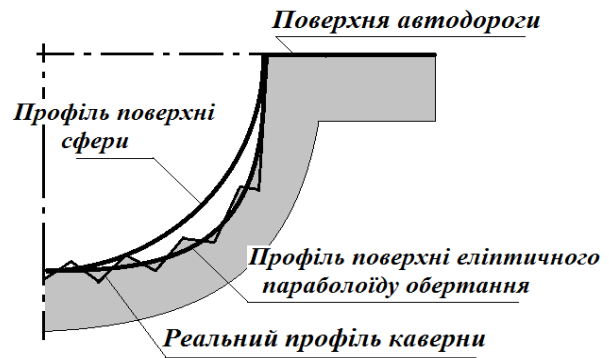
Рис.4. Утворення мережі тріщин та каверн на поверхні дорожнього одягу автомобільної дороги

За результатами експериментального профілювання (рис.5-а) встановлено, що профіль поверхонь реальних каверн на поверхнях автомобільних доріг, які утворено в результаті контакту “рушій автотранспортного засобу – поверхня автодороги” з достатньою точністю описується поверхнею другого порядку (рис.5-б, рис.5-в) у вигляді еліптичного параболоїда обертання, з об’ємом (рис.5-г):

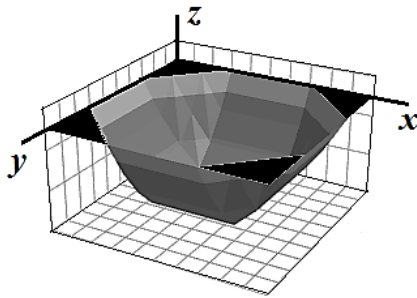
$$\begin{aligned}
 v &= \int_0^{\pi/2} d\varphi \int_0^a \rho \frac{\rho^2 \cdot \cos^2 \varphi + \rho^2 \cdot \sin^2 \varphi}{2d} \cdot d\rho = \\
 &= \int_0^{\pi/2} d\varphi \int_0^a \rho \frac{\rho^2}{2d} \cdot d\rho = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{d^{(4-1)}}{2} = \frac{\pi}{32}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



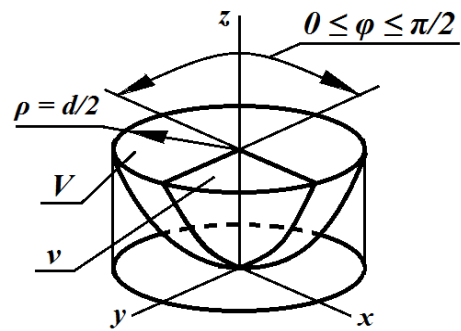
а



б



в



г

Рис.5. Моделювання профілю каверни на поверхні автостороги:
 а – профілювання поверхні реальної каверни; б – графічна модель контуру поверхні каверни; в – просторова модель каверни; г – графічна модель каверни в циліндричних координатах

На підставі розв’язку (3) отримуємо обсяги дезінтегрованих мінеральних матеріалів конструкції автомобільної дороги (обсяги утворення мінерального пилу різних фракцій) в залежності від площі пошкодження автосторожного покриття, які оцінюються усередненим діаметром d цих пошкоджень:

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

Із урахуванням частки зруйнованого автосторожного покриття (k) обсяги дезінтегрованих мінеральних речовин (обсяги утворення мінерального пилу) $V_{дз}$ становитимуть:

$$V_{дз} = \frac{10^4 (a \cdot k)^{3/2}}{\sqrt{0,1\pi}} = 1,76 \times 10^4 (a \cdot k)^{3/2}, \quad (5)$$

а маса $M_{дис}$ диспергованого в атмосферному повітрі мінерального пилу:

$$M_{дис} = e^{r=1,85} \cdot M_{дз} \approx 0,089 \cdot M_{дз} \quad (6)$$

де $M_{дз}$ – маса дезінтегрованого матеріалу поверхневих шарів конструкції автостороги, яка відповідає об’єму $V_{дз}$.

Визначення обсягів диспергування мінеральних речовин в результаті абразійного зношування матеріалів дорожнього одягу було реалізовано на підставі результатів модельного імітаційного експерименту по визначенню

співвідношення кількості загальної роботи $\Omega_{\Sigma} = 1$ руйнування, яка витрачається на утворення каверн і тріщин – Ω_1 та трибологічного зношування поверхні автодороги – Ω_2 (рис.6) тобто:

$$\Omega_{\Sigma} = 1 = \Omega_1 + \Omega_2 \quad (7)$$

При цьому робота Ω сил P за умови їх “миттєвого” прикладення до поверхні автомобільної дороги у відповідності до “одиничної” функції Хевісайда $H(t)$ визначається як:

$$\Omega_i = \int_{\Omega_i} PH(t) \cdot dl_i \quad (8)$$

де l_i – величина деформації поверхневих шарів конструкції автодороги за відповідного характеру їх руйнування (утворення каверн та тріщин або трибологічне зношування).

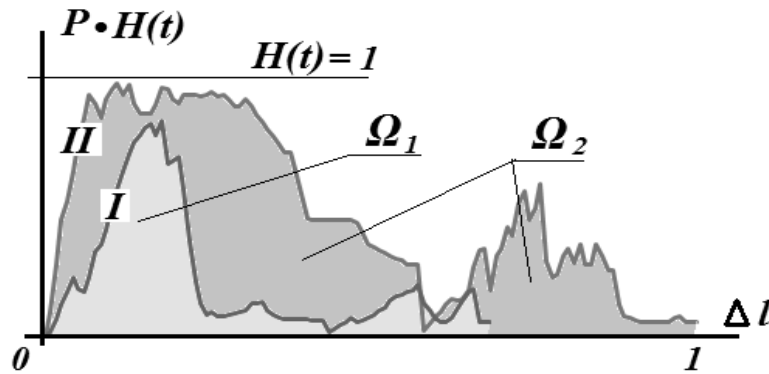


Рис.6. Діаграми механічних випробувань моделей щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільних доріг:
 I – імітація процесу утворення каверн на поверхні автомобільної дороги,
 II – імітація процесу трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги

Числове інтегрування (8) діаграм наведених на рис.6 з урахуванням виразу (7) дозволяє встановити співвідношення k відповідних робіт Ω_1 та Ω_2 , а отже і співвідношення мас дезінтегрованих мінеральних матеріалів, які утворюються в результаті утворення каверн та тріщин m_1 і в результаті трибологічного зношування m_2 поверхні автомобільної дороги:

$$k = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{0,778}{0,222} = 3,505 \quad (9)$$

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.

Перетворення хімічної енергії органічного пального у двигунах автотранспортних засобів у роботу вантажо- та пасажиропотоків призводить до утворення шкідливих викидів, які є токсичними газами та продуктами неповного окислення компонентів пального (рис.7).

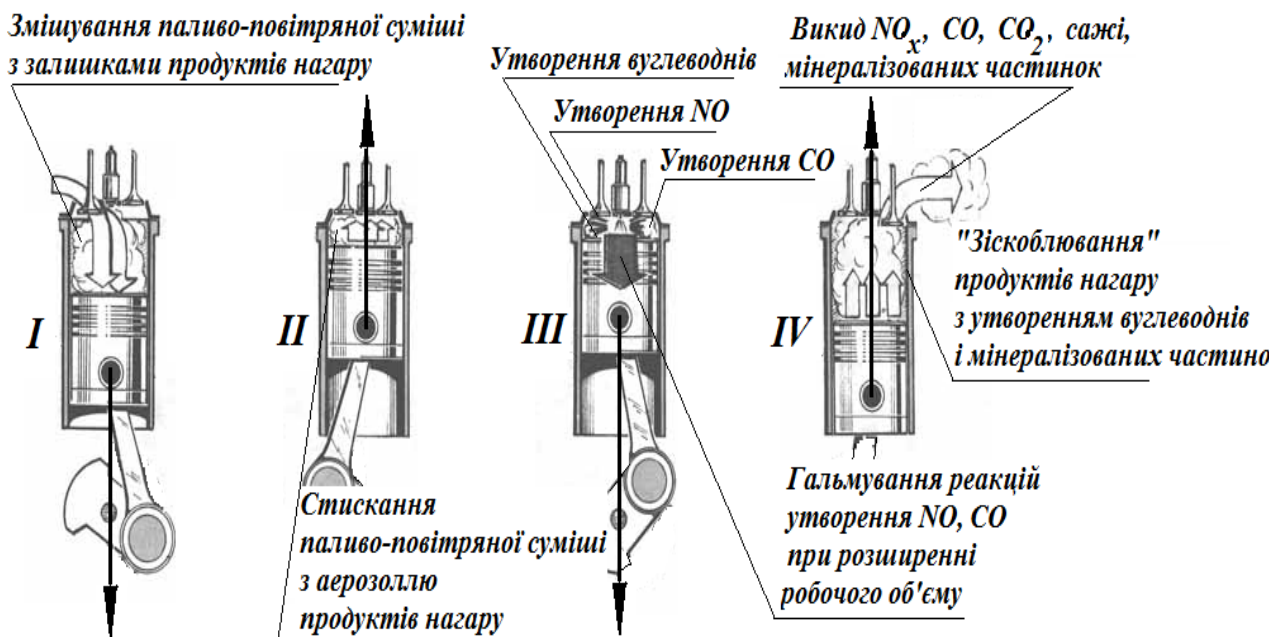


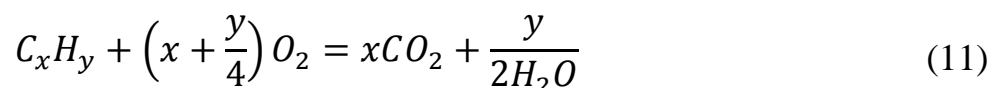
Рис.7. Принципова схема утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згорання: I, II, III, IV – порядок робочих тактів двигуна

Робочий матеріальний баланс пального сформовано масовим вмістом його окремих елементів: C, H, O, N, S :

$$w_C + w_H + w_O + w_N + w_S = 1 \quad (10)$$

де w – масові частки окремих елементів в 1 кг пального

Знехтувавши вмістом w_N, w_S повне згорання молекули пального C_xH_y до кінцевих продуктів (діоксид вуглецю CO_2 та водяна пара H_2O) визначиться рівнянням (кмоль):



Відповідно: 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 , $N_{H_2O} = y/2$.

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:

$$C_xH_y + \left[\frac{w}{2}x + (1-w)x + y \frac{(1-w_1)}{4} \right] O_2 =$$

$$= wxCO + (1-w)xCO_2 + \frac{y}{2}w_1H_2 + \frac{y}{2}(1-w_1)H_2O \quad (12)$$

де w – масова частка вуглецю, окисленого до CO ; w_1 – масова частка водню, який не згорів; x – маса вуглецю в молекулі пального; y – маса водню в молекулі пального.

При зменшенні вмісту кисню (12) в паливо-повітряній суміші, що особливо помітно для дизельного пального, $C/O > 1$ в продуктах згорання з'являється вуглець (сажа), що не згорів, кількість якого визначається характером руху та складом автотранспортних потоків.

За результатами визначення структури, складу та обсягів викидів, які продукуються автотранспортними потоками, за показниками CO , N_xO_y , кількості ароматичних і поліциклічних вуглеводнів ($C_{20}H_{12}$) та мінерального пилу встановлено граничні річні маси викидів на 1 км автомобільних доріг відповідних категорій (таблиця 1 і таблиця 2).

Таблиця 1 - Гранична розрахункова річна маса викидів, які продукуються автотранспортними потоками, т/рік×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Маса річного викиду i -тої речовини, [т/рік×км];					
		CO	N_xO_y	Ароматичні та поліциклічні вуглеводні ($C_{20}H_{12}$)	Сажа	Мінеральний пил	Аерозолі
I-а, I-б	> 10000	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

За результатами оцінювання структури, складу та обсягів викидів, які здійснюються автотранспортними потоками різної інтенсивності, встановлено, що більш 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 > 10³) мають бути віднесені до 3-ої категорії небезпечності об'єктів господарської діяльності з розміром санітарно-захисної зони не менше за 300 м.

Таблиця 2 - Граничні обсяги викидів діоксиду вуглецю, продукованого автотранспортним потоком, 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

Для забезпечення надійного захисту придорожніх ландшафтів від пилових та аерозольних забруднень має бути забезпечене максимально можливе депонування мінеральних викидів, які викидаються потоками автотранспортних засобів, в наступних межах: для автотранспортних потоків з інтенсивністю > 10000 авт./добу: пилових викидів – 213,3 т/рік×км; мінерального аерозолу – 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 аерозолу – 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 аерозолу – 11,4 т/рік×км; сажі (аморфного вуглецю) – 3,3 т/рік×км.

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.

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.

У третьому розділі “Динаміка процесів масопереносу і депонування мінеральних забруднювачів в межах смуги відведення автодороги” доведено, що 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 аерозолю. Мірою дифузії газо-пилового аерозолю в атмосферне повітря (в напрямку координатних осей x, y, z) є маса диспергованих у хмарі викиду мінеральних і газоподібних речовин, яка зазнає дифузійного розсіювання за одиницю часу через одиницю площі хмари. При цьому, потік частинок аерозолю є пропорційним до градієнту його концентрації q та коефіцієнту пропорційності D , а отже рівняння дифузії газо-пилової хмари викидів матиме такий вигляд у феноменологічній формі:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \Delta q \quad (13)$$

де $\Delta = \text{div } \nabla$ – оператор Лапласа, а коефіцієнт пропорційності D становить:

$$D = \frac{1}{6 \cdot t} \cdot \{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2\} \quad (14)$$

Дивергентний характер дифузійного потоку векторного поля F диспергової фази аерозолю визначає умови формування каскаду роторів турбулентності газо-пилової хмари викидів, які викидаються автотранспортними потоками, в тривимірному просторі (x, y, z) :

$$\begin{cases} (\text{rot } F)_x = \partial_y F_z - \partial_z F_y \equiv \frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \\ (\text{rot } F)_y = \partial_z F_x - \partial_x F_z \equiv \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x} \\ (\text{rot } F)_z = \partial_x F_y - \partial_y F_x \equiv \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \end{cases} \quad (15)$$

При цьому, ротори турбулентності аерозолю формуються як на “зрізах” швидкостей і напрямків зустрічних автотранспортних потоків так і на поверхнях рельєфу окремих об’єктів ландшафту резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

Встановлено, що дані ротори турбулентності аерозолів газо-пилових хмар викидів, 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 ПТГЕС або з інверсійним шаром атмосфери.

В свою чергу обертовий рух ротору аерозолю зумовлює інтенсифікацію процесу інерційної сепарації мінеральної складової газо-пилової хмари викиду. Динаміка механічних режимів роторів турбулентності газо-пилових повітряних аерозолів визначається фрактальними та геометричними параметрами і взаємним розташуванням поверхонь окремих об’єктів ландшафту резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

Внаслідок трансформації ландшафту та термодинамічних умов атмосфери, які зумовлені штучною деформацією рельєфу автодорожньою мережею і транспортно-технологічними особливостями функціонування автотранспортних потоків, порушується загальна фонова, а в тому числі і температурна, стратифікація атмосфери, що в свою чергу призводить до переорієнтації природних ламінарно-турбулентних напрямків повітряних потоків. При цьому, виникають додаткові “долинні” вітрові потоки, зони інтенсифікації турбулентності, спостерігається утворення нехарактерних інверсійних шарів атмосфери тощо.

Процеси адгезії та депонування мінеральної складової аерозолі газопилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, визначається шорсткістю поверхонь не лише природних ландшафтних об’єктів, але і поверхонь штучно створених об’єктів конструкції поперечного профілю резервно-технологічної смуги автодороги, топологічна структура яких має бути фрактально узгодженою.

Типовий профіль конструкції смуги відведення автомобільної дороги 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.8-а) та на насипі (рис.8-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 однібічного) “екранування” смуги автомобільної дороги такими елементами як кавальєри, газо-пилізахисні лісосмуги (рис.8-б), резерви тощо.



Рис.8. Варіанти поперечного профілю розташування земляного полотна автомобільної дороги: а – у виїмці; б – з облаштованою двобічною газо-пилізахисною лісосмугою; в – на насипу

Внаслідок специфічних ландшафтно-геометричних параметрів конструкції смуги відведення за варіантами а та б, які наведено на рис.8, фонові повітряні потоки, напрямок 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 аверсними сторонами газо-пилізахисних лісосмуг та виникає, так званий, “долинний” вітер. 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. Температура T_{i0} аерозолі 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 автодороги є додатною, а отже стратифікація шару атмосферного повітря, який є прилеглим до поверхні проїжджої частини автомобільної дороги, буде класифікуватись як нестійка.

Таким чином, вертикальне прискорення $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} > 0$ аерозолі газо-пилової хмари викиду, в зоні прилеглий до полотна проїжджої частини автомобільної дороги завжди є додатним. Ротори аерозольного викиду рухаючись у повітряних потоках вздовж смуги відведення автодороги одночасно переміщуються вертикально доверху, а їх бічне переміщення обмежене аверсними сторонами бічних газо-пилозахисних лісосмуг або бічними стінками виїмки. Вище верхнього зрізу профілю смуги відведення автодороги, 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 газо-пилової хмари викиду, тобто прискорення $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$. 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 газо-пилової хмари викидів, відбувається сепарація мінеральної складової аерозолів з наступним її депонуванням в масиві газо-пилозахисних лісосмуг або на бічних сторонах смуги відведення автомобільної дороги. Газо-повітряна складова хмари викиду мігрує до меж інверсійної границі, де і відбувається незворотній процес об’єднання компонентів двох потоків газових сумішей із наступним вирівнювання їх температури (рис.9).

На відміну від розглянутих вище варіантів, варіант при якому проїжджа частина автомобільної дороги розташована на насипі (рис.8-б) відрізняється тим, що стратифікація атмосфери в смузі відведення такої автомобільної дороги відноситься до категорії байдужої, тобто в будь-якій точці вертикальне

прискорення $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} = 0$ її елементарного об'єму дорівнює нулю. Ротори аерозольної газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортним потоком, залучаються до фонового 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. В таких випадках спостерігаються, так звані, "крайові ефекти". При цьому, в додаткових зонах турбулентності стратифікація атмосфери характеризується як нестійка, тобто в цьому випадку $\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\Delta h} > 0$.

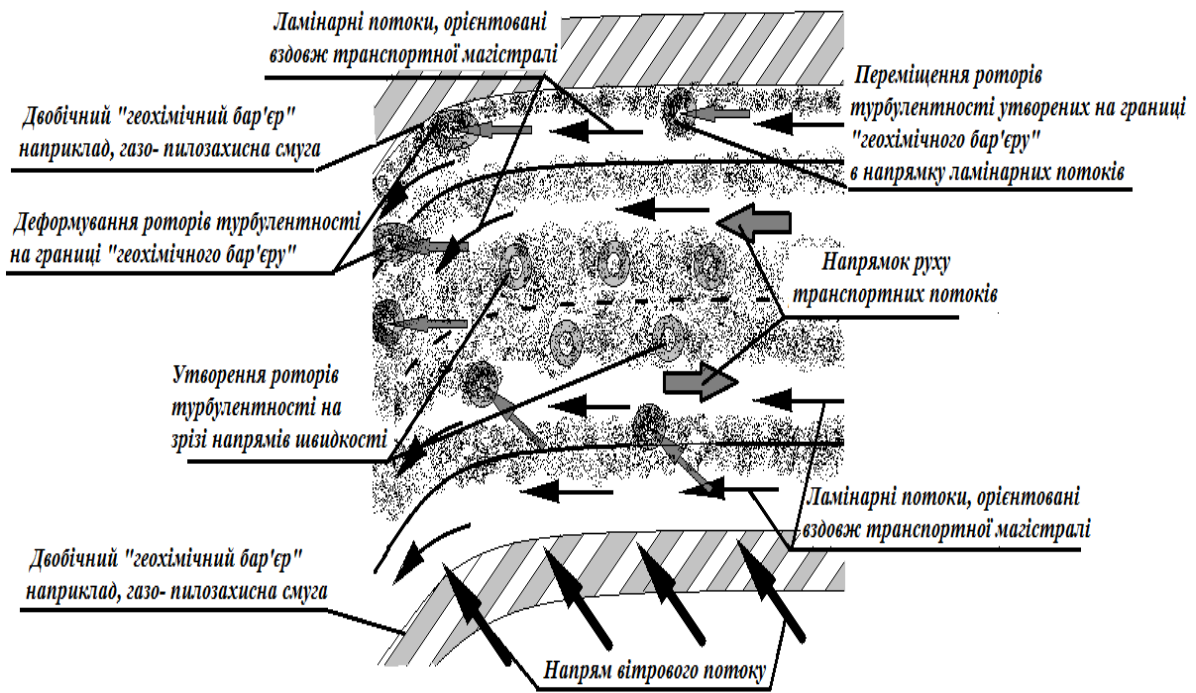
Отже, для забезпечення надійного депонування транспортних викидів (особливо викидів мінерального пилу та технічного вуглецю у вигляді сажі) в поперечному профілі автомобільної дороги конструкційно має бути реалізовано принцип стратифікаційного поділу прилеглих до полотна проїжджої частини автодороги 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 (газо-пилозахисних лісосмуг) у вигляді двобічних "геохімічних" бар'єрів.

Встановлено, що 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 показників ажурності крон деревних і чагарникових насаджень та зміною шорсткості підстилаючої поверхні ландшафту внаслідок формування снігового покриву.

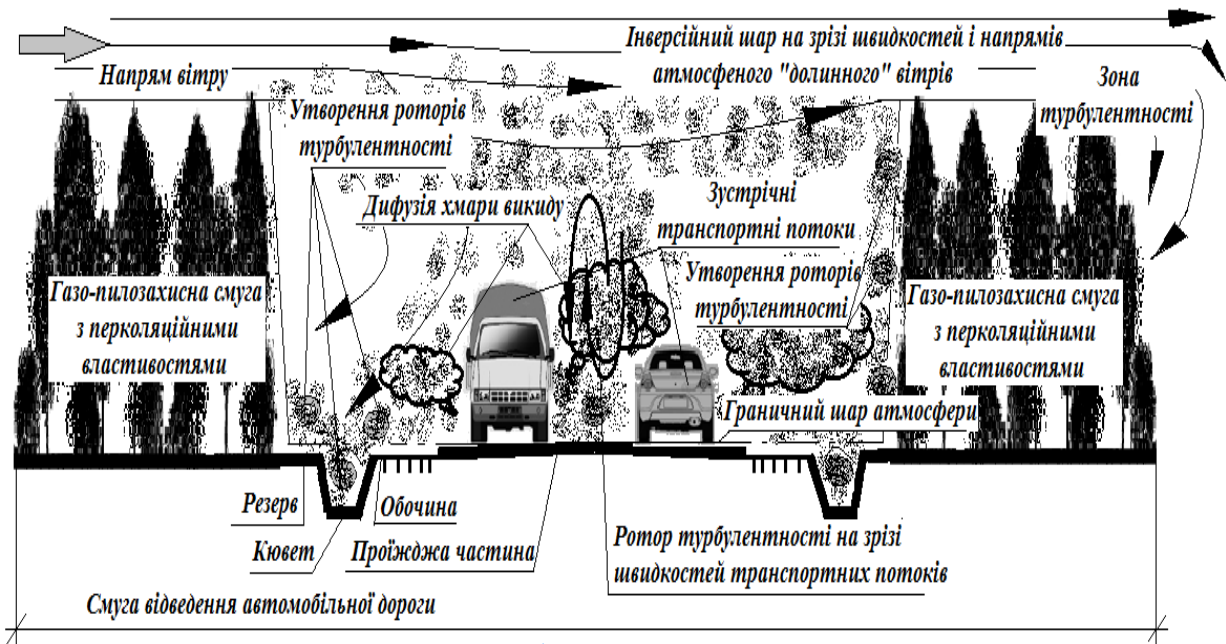
У четвертому розділі "Екологічна оптимізація об'єктів інфраструктури автотранспортних мереж" встановлено, що основними чинниками, які спричиняють вплив автотранспортних потоків на навколишнє середовище є: склад і структура автотранспортних засобів у потоці, їх швидкість, інтенсивність і щільність руху, технічний стан і експлуатаційні властивості окремих транспортних засобів, хімічний склад пального, що використовується тощо.

Таким чином необхідно розрізнити три основних режими руху автотранспортних засобів:

- вільний рух – характеризується малою інтенсивністю, відсутністю взаємних перешкод поміж окремими автотранспортними засобами і відповідною швидкістю V_c . Незначна щільність автотранспортних засобів зумовлює нещільну кореляцію поміж V_c та ρ ;



а



б

Рис.9. Характер ламінарно-турбулентної міграції та дифузії повітряного аерозоліу газо-пилової хмари викиду, яка продукується автотранспортними потоками: а – в плані проїжджої частини автодороги, б – в профілі поперечного перерізу автодороги

– колективний рух (колективний потік) – визначається зростанням щільності ρ автотранспортного потоку, колективна швидкість V_k якого 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.

На підставі аналізу критерію неперервності кусочно-лінійної функції режимів руху автотранспортних засобів встановлено мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких колективний рух фізичних одиниць автотранспорту набуває характерних ознак автотранспортного потоку (таблиця 3).

Таблиця 3 - Мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких автотранспортний потік набуває характерних ознак

Інтенсивність автотранспортного потоку	Щільність автотранспортного потоку	Швидкість автотранспортного потоку
0,035 с ⁻¹	0,0021 м ⁻¹	17,5 м/с
3024 авт/добу	2,1 авт/км	63,0 км/год.

Встановлено, що 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 та 3.

В свою чергу, основними чинниками, які визначають динаміку забруднення природно-техногенних геоекосистем внаслідок функціонування автотранспортного комплексу, є показник автотранспортної ємності території, ландшафтні особливості трасування і конструкційні параметри автодорожньої мережі, її технічний стан та експлуатаційні показники, наявність газо-пилозахисної інфраструктури в межах резервно-технологічних смуг автомобільних доріг та синхронність (когерентність) колективного руху автотранспортних потоків на всіх без винятку ділянках автодорожньої мережі.

З точки зору системного аналізу автотранспортної ємності територіальної комунікаційної структури, однією з головних ознак цієї структури є автодорожня мережа. Вона є складовою транспортно-комунікаційних транзитних “коридорів” обміну речовини і енергії в системі, яка визначає деяку природно-техногенну геоекосистему як єдине геодинамічне ціле. Таким чином формується демографо-економічний каркас, функціонування якого призводить до негативної трансформації природного каркасу, в результаті чого порушується екологічний баланс всього природно-територіального комплексу. Головним завданням

еколого-технологічної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі природно-техногенної геоекосистеми є забезпечення екологічної безпеки усього природно-територіального комплексу.

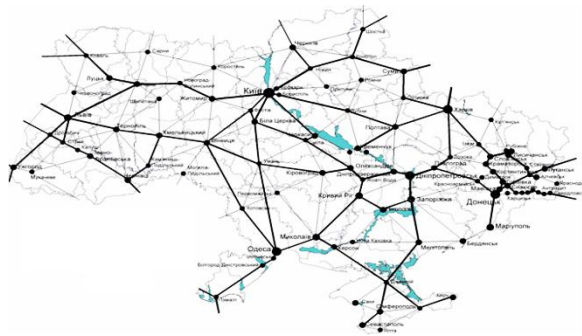
В структурі опорного каркасу мережі транспортно-комунікаційних зв'язків можна виділити деякий гіперграф $G := (V, E)$, для якого:

V – множина вершин або вузлів;

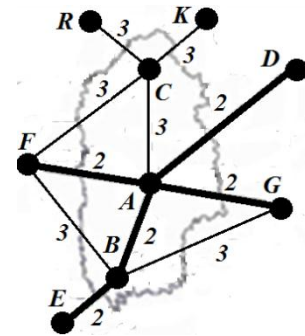
E – множина ребер.

Геометричною реалізацією такого графа є плоска фігура, що складається з непорожньої скінченої множини V точок (вершин) і певної скінченої множини E неорієнтованих (орієнтованих) відрізків ліній (ребер), які з'єднують деякі пари вершин V (рис. 10).

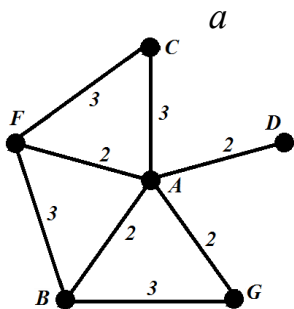
Як приклад еколого-технологічної оптимізації опорного каркасу автодорожньої мережі (рис. 10-а) наведено графо-аналітичну оптимізацію автотранспортної інфраструктури Подільського регіону в межах Хмельницької області (рис. 10-б). Виокремлений підграф (рис. 10-в) на підставі “правила доповнення графів” доповнюється ребром суміжного підграфу (рис. 10-г) і для отримання повного регулярного суграфу доповнюється ребром (в даному випадку, ребром CD). Отриманий суграф (рис. 10-д) визначається як повна регулярна 4-гратка (кубічний граф), який є графом мінімальної ваги за показником суми зваженостей ребер.



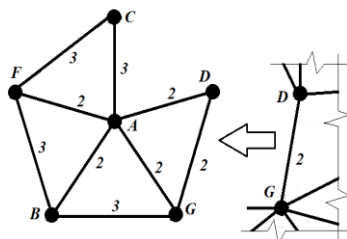
$$G := (V, E)$$



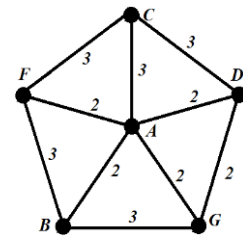
$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, E, F, G, K, R\} \\ E \ni \{AB, AF, AG, AD, AC, BE, CR, CK, CF, BF, BG\} \end{cases}$$



а



б



в

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, F, G\} \\ E \ni \{AB, AF, AC, AD, AG, CF, BF, BG, DG\} \end{cases}$$

в

$$\begin{cases} V \ni \{A, B, C, D, F, G\} \\ E \ni \{AB, AF, AC, AD, AG, CF, BF, BG, DG, CD\} \end{cases}$$

г

д

Рис.10. Процедура еколого-технологічної оптимізації графу опорного каркасу автодорожньої мережі та відповідний його аналітичний опис

Організація автодорожньої мережі відповідно до структури опорного каркасу, який наведено на рис. 10-д забезпечує мінімум енергетичних витрат автотранспортних потоків, які рухаються поміж множиною вершин V вздовж множини ребер E . Тим самим досягається мінімізація сумарних витрат пального (енергетична насиченість) автотранспортним комплексом і, як наслідок, зменшуються викиди шкідливих речовин в межах розглядуваної ПТГЕС.

Оптимізований повний регулярний суграф опорного каркасу автодорожньої мережі (рис. 10-д) може бути змодельовано реальною стержньювою структурою у вигляді двомірного фізичного каркасу (рис. 11).

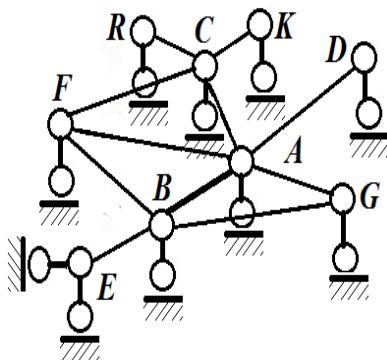


Рис.11. Модель фізичної реалізації суграфу автодорожньої мережі

Дослідження наведеної на рис.11 моделі-симулятора опорного каркасу автодорожньої мережі методом фізико-динамічних аналогій дозволяє оптимізувати “пропускну здатність” конкретної ділянки автомобільної дороги, забезпечити синхронізацію швидкості V колективного руху автотранспортних засобів та показників щільності q та інтенсивності ρ автотранспортних потоків, що зумовлює стабілізацію режимів роботи їх двигунів. Як наслідок, буде забезпечено зменшення обсягів газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, оптимізувавши конструкційні параметри резервно-технологічної смуги автомобільної дороги (таблиця 4).

Таблиця 4 - 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	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

Для зменшення ефекту “розсинхронізації” колективного руху автотранспортних засобів на ділянках з особливими умовами руху: у вузлах автодорожньої мережі та на ділянках з великою кривизною траси траєкторії руху має виконуватись умова:

$$V(t, x) = V_D \left[1 + \left(\frac{\sigma_D^2}{V_D} \right) \right] \quad (16)$$

де $V(t, x)$ – синхронізована просторова швидкість потоку, тобто усереднена швидкість автотранспортних засобів, які перебувають на заданій ділянці автомобільної дороги у визначений момент часу t ;

V_D – середня миттєва швидкість автотранспортного засобу, тобто усереднена швидкість n автотранспортних засобів, які переміщуються через визначений поперечний переріз автомобільної дороги (в даному випадку через точку перехрещення потоків) за визначений проміжок часу t ; σ_V^2 – значення дисперсії швидкості $V(t, x)$ потоку.

Умова (16) виконуватиметься у тому випадку, якщо траєкторія руху основних автотранспортних потоків, які перетинаються, буде окреслена в плані спряженими кривими другого порядку, спряженими гіперболами (рис. 12).

Приклад оптимізації організації автотранспортних потоків у вузлі перехрещення автомобільних доріг наведено на рис.13. На підставі умови (16) запропоновано варіанти синхронізації автотранспортних потоків у Т-подібних, Δ -подібних, Y-подібних тощо вузлах автотранспортної мережі, “шпильках” та ділянках серпантину автомобільних доріг.

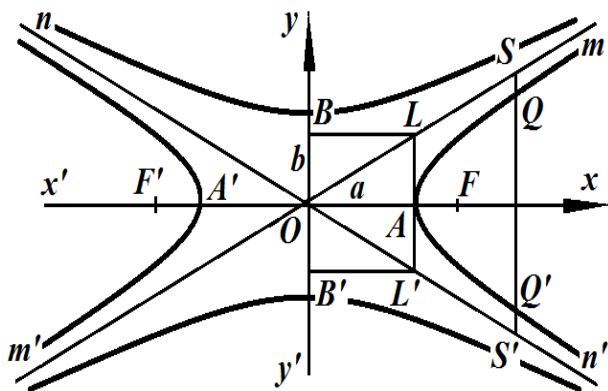


Рис.12. Геометричні ознаки спряжених гіпербол

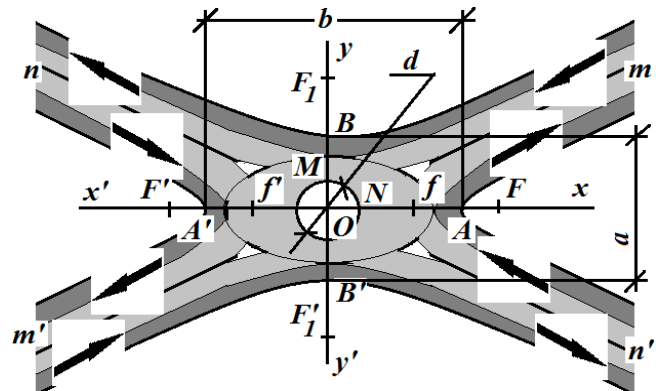


Рис.13. Приклад перехрещення автотранспортних потоків у вузлах автодорожньої мережі

З точки зору термодинамічного аналізу динаміки процесів енерго-масопереносу, система мережі автомобільних доріг є відкритою системою, для якої відбувається обмін енергією і речовиною з навколишнім середовищем, а отже закон неспадання 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 пального, яке використовується автотранспортних засобами, 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 виразом:

$$f(Z_1, Z_2, \dots, P_i, E_i, \dots, Z_n, Z_{n+1}) = 0 \quad (17)$$

де Z – узагальнені координати або потенціали термодинамічної системи;

P – потенціали системи, які є однозначними функціями координат E стану системи:

$$P_i = \varphi'(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (18)$$

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:

$$U = \varphi'''(E_1, E_2, \dots, E_n) \quad (19)$$

то значення U є по-суті внутрішньою енергією системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Отже, максимально можливий захист природно-техногенної системи від газо-пилових викидів, має передбачати наявність такої контрольної поверхні системи “автодорожня мережа–автотранспортний потік”, яка б задовольняла умови зменшення потоку dU_i за межі 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. Основним принципом 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.

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-пилозахисних 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 $\sim 30^\circ-50^\circ$ і висотою > 15 м.

Загалом, ландшафтна організація ПТГЕС з розвиненою автодорожньою мережею має розглядатись як деякий мозаїчний комплекс, який складений з окремих ландшафтно-архітектурних (ландшафтно-територіальних) басейнів та 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 ПТГЕС. Лінійний розмір L_6 ландшафтно-територіального басейну (вздовж траси автодороги) має визначатись характером візуального сприйняття єдності архітектурного сприйняття ділянки дороги і враховувати категорію автомобільних доріг (таблиця 5).

Таблиця 5 - 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

Отже, до основних принципів згідно яких здійснюється узгодження інфраструктури автомобільної дороги з природним ландшафтом слід віднести:

- 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.

У п'ятому розділі “Еколого-економічне оцінювання та управління проектами автотранспортних мереж. Результати експериментального впровадження досліджень” встановлено, що об'єктивність оцінки прогнозованого стану ПТГЕС з розвиненою автотранспортною мережею є визначальним чинником при виборі оптимального варіанту проекту на будівництво або реконструкцію мережі автомобільних доріг. Стан об'єктів проектованої системи, з огляду на різні рівні їх складності, визначається рядом параметрів і носить характер багатопараметричного. 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 обсягом відповідних параметрів (ознак) та їх нормованих показників.

Для числового узагальнення багатопараметричної інформації про проєктовану ПТГЕС всі розглядувані її ознаки мають бути представленими у деякій інтенсивній формі, яка передбачає відносність числового виразу оцінюваної ознаки у безрозмірній формі щодо деякої “норми” або обраного базового значення цієї ж ознаки. 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 мають бути визначеними межами 0...1. Таким чином, інтегральна властивість оцінюваного проєкту ПТГЕС за обраною групою окремих властивостей цієї системи (проєкту) може бути визначена як:

$$K = f \left(\begin{array}{l} X_1^+, \dots, X_a^+, X_{a+1}^-, \dots, X_b^-, Y_{b+1}^+, \dots, Y_c^+, Y_{c+1}^-, \dots, Y_d^-, \\ X_{d+1}^0, \dots, X_m^0, Y_{m+1}^0, \dots, Y_n^0, Z_{n+1}, \dots, Z_k \end{array} \right) \quad (18)$$

де $X_a^+, X_b^-, Y_c^+, Y_d^-, X_m^0, Y_n^0, Z_k$ – відповідні ознаки ПТГЕС з додатними, від’ємними властивостями та властивостями двобічного обмеження;

f – цільова функція узагальнення властивостей ПТГЕС, яка має задовольняти таким вимогам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{df}{dX_a^+} > 0; \quad (a = 1, \dots, a); \\ \frac{df}{dX_b^-} < 0; \quad (b = a + 1, \dots, b); \\ \frac{df}{dY_c^+} > 0; \quad (c = b + 1, \dots, c); \\ \frac{df}{dY_d^-} < 0; \quad (d = c + 1, \dots, d); \\ \frac{df}{dX_m^0} \rightarrow opt; \quad (m = d + 1, \dots, m) \\ \frac{df}{dY_n^0} \rightarrow opt; \quad (n = m + 1, \dots, n) \\ Z_k \ni \begin{cases} min \\ max \end{cases}; \quad (k = n + 1, \dots, k) \end{array} \right. \quad (19)$$

Для визначення числових оцінок d (в інтенсивній формі) окремих властивостей оцінюваного проєкту ПТГЕС застосовано експоненційну (для

оцінювання неперервних і дискретних додатних і від'ємних властивостей) та показникову (для оцінювання властивостей з двобічним обмеженням) функції:

$$d_i = e^{-e^{-R_i}} = \exp[-\exp(R_i)]; \quad (20)$$

$$d_i = e^{-(|R_i|)^n} = \exp[-(|R_i|)^n]; \quad (21)$$

де n – обраний (доданий) показник степені у функції (21).

Розроблений метод порівняльного оцінювання проектів будівництва (реконструкції) автомобільних доріг, який розроблено на підставі узагальнення багатопараметричної інформації властивостей окремих ознак ПТГЕС з розвинутою автотранспортною мережею, дозволяє уже на етапі проектування оптимізувати конструкційні параметри та обрати варіант проекту з максимально високим прогнозованим рівнем екологічної безпеки природно-територіального комплексу. Поетапний порядок проектування інженерної інфраструктури (рис.14) автотранспортної мережі ПТГЕС є підставою для розробки системи автоматизованого проектування (САП) 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.

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 (таблиця 6). При цьому, обсяги викидів M_i (кг/год×км) шкідливих речовин автотранспортним потоком можуть бути визначені (без урахування технічного стану автотранспортних засобів) як:

$$M_i = \sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^j \sum_{k=1}^k w_j \cdot P_{ki} \cdot q_a \quad (22)$$

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.

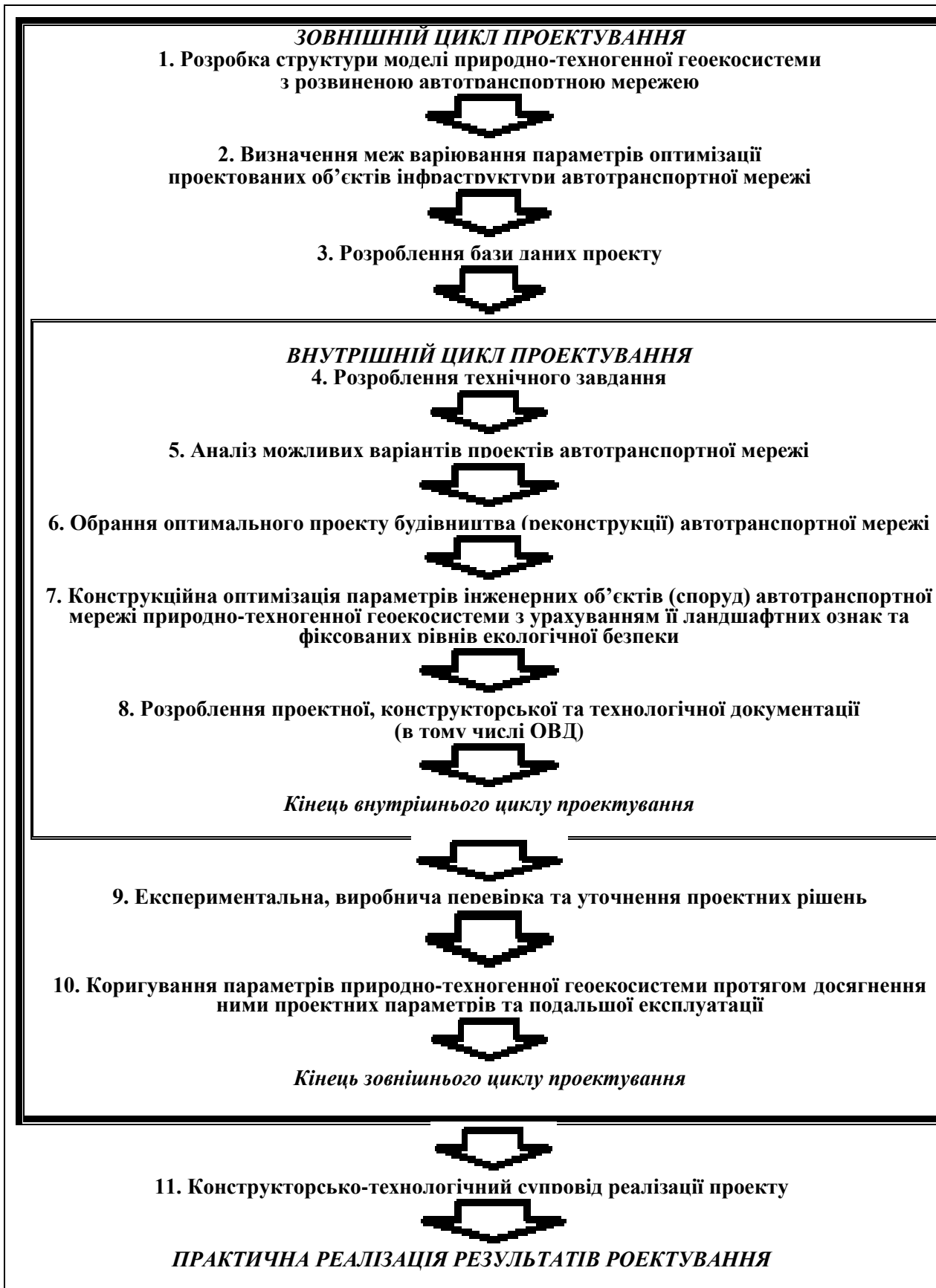


Рис.14. Алгоритм проєктування інженерної інфраструктури автотранспортної мережі природно-техногенної геоекосистеми

Таким чином, 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.

Таблиця 6 - Порядок оцінки прямих еколого-економічних збитків від забруднення атмосферного повітря автотранспортними потоками

Назва показника	Розрахункова формула	Використовувані параметри
1. Збитки від забруднення (грн.)	$Y_3^B = Y_{B.3}^B \cdot \sigma_{B.н.з}^B \cdot M_{пр}^B$	$Y_{B.3}^B$ (грн./ум. т) – відносні збитки від викиду однієї умовної тони забруднюючих речовин; $\sigma_{B.н.з}^B$ – відносна небезпека забруднення природно-техногенної геоекосистеми;
2. Приведена маса річних викидів забруднюючих речовин (т/рік)	$M_{пр}^B = \sum_{i=1}^l A_{jв}^B \cdot M_{jд}^B$	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)	$M_{jд}^B = I_j \cdot (1 - \delta_j)$	
4. Показник відносної агресивності j-тої речовини, що надходить до атмосферного повітря	$A_{jв}^B = \frac{1}{ГДК_{ш.р.j}^B}$	

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.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій подано теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми, що полягає у підвищенні рівнів екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожніх мереж та покращення стану ландшафтних компонентів навколишнього середовища в межах резервно-технологічних смуг (смуг впливу) автомобільних доріг. Вирішення цієї проблеми реалізоване шляхом комплексного діалектичного

аналізу системних протиріч функціонування природної і техногенної складових системи “автомобіль – довкілля”.

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 клімату 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 аерозолу. Дивергентний характер дифузії емісії газо-пилового аерозолу 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 проектів будівництва (реконструкції) мережі автомобільних доріг свідчить, що розроблені методи еколого-ландшафтної 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-пилрозахисних 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-пилрозахисної 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. Обґрунтовані структура поетапного порядку проектування конструкції та інженерної інфраструктури автотранспортної мережі, а також алгоритму виконання ОВД на стадії проектування 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.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі підготовки студентів спеціальності 101 «Екологія» та 275 «Транспортні технології» (на автомобільному транспорті) Подільського державного аграрно-технічного університету при викладанні таких дисциплін як: моделювання і прогнозування стану довкілля, промислово-транспортна екологія, екологічна безпека промислово-транспортних систем, аналіз та оцінка екологічних ризиків, безпека транспортних засобів, організація дорожнього руху. Результати досліджень використано при підготовці до видання навчального посібника «Моделювання і прогнозування динаміки природно-техногенних геоекосистем» (2017 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Розроблення конструкцій газо-пилозахисних 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. *Особистий внесок - розроблено розділ I, 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-пилізахисних 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 Științific 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-пилізахисних лісосмуг автодорожньої мережі.*
10. Шелудченко Л.С. Автоматизоване проектування деревно-чагарникової газо-пилізахисної 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-пилізахисних 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-пилізахисних 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”: Kremenchuk: 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"*. Kremenchuk: KrNU, 2016. – Number 1/2016 (21). P. 81-84. *Особистий внесок – виконано аналіз аеродинамічних характеристик потоків повітряного аерозолю.*
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. 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. *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 придорожнього 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. *Особистий внесок – розроблені конструкції газо-пилозахисних лісосмуг для автомобільних доріг різних категорій.*
 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-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. *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-пилізахисних 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 методику 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-пилізахисних 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-втоми, пітінгового пошкодження, утворення каверн і макро- і мезотріщин 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 розвинутою інфраструктурою автодорожньої мережі. *Збірник наукових праць VII-ї 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. Матеріали 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-пилезахисна 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-пилезахисна лісосмуга автомобільної дороги. Л.С.Шелудченко, С.В. Вознюк, Б.А.Шелудченко, В.Б. Гаврилук (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-пилезахисних смуг автодорожньої мережі. *Міжгалузовий 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. *Міжгалузовий 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.*

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 із спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ, 2020. Спеціалізована вчена рада Д 26.880.01.

У дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення та вирішення актуальної науково-практичної проблеми, яка полягає у підвищенні рівнів

екологічної безпеки природно-техногенних геоекосистем з високою щільністю автодорожніх мереж та покращення стану ландшафтних складових навколишнього середовища в межах резервно-технологічних смуг (смуг впливу) автомобільних доріг. Встановлено мінімальне значення щільності (інтенсивності руху) автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак їх колективного синхронізованого руху в складі автотранспортного потоку та функціональні залежності поміж обсягами пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками, і мірою дисперсії дезінтегрованих конструкційних матеріалів автодорожніх покриттів. 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 та досліджено процеси атмосферного масопереносу забруднювачів на територіях прилеглих до автомобільних доріг залежно від характеристик рельєфу ландшафту природно-техногенної геоекосистеми та конструкційних параметрів профілю автодороги. На підставі методів моделювання опорних каркасів автотранспортної мережі визначено оптимальні конструкційні параметри профілів поперечних перерізів резервно-технологічних смуг автомобільних доріг різних категорій та відповідних систем та об'єктів інженерного захисту придорожніх ландшафтів і запропоновано процедуру та алгоритм управління проектами природно-техногенних геоекосистем з розвиненими автотранспортними мережами.

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

АНОТАЦІЯ

Шелудченко Л.С. Теоретические основы и методы обеспечения экологической безопасности автотранспортных сетей. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 - экологическая безопасность, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, г. Киев, 2020. Специализированный ученый совет Д 26.880.01.

В диссертационной работе проведено теоретическое обобщение и решение актуальной научно-практической проблемы, которая заключается в повышении уровня экологической безопасности природно-техногенных геоекосистем с высокой плотностью автодорожных сетей и улучшения состояния ландшафтных элементов окружающей среды в пределах резервно-технологических полос (полос воздействия) автомобильных дорог. Установлено минимальное значение плотности (интенсивности движения) автотранспортных средств, при котором режим свободного движения совокупности физических автотранспортных единиц приобретает признаки их коллективного синхронизированного движения в составе автотранспортного потока и функциональные зависимости между

объемами пылевых выбросов, продуцируемых автотранспортными потоками, и степени дисперсии дезинтегрированных конструкционных материалов автодорожных покрытий. Разработаны типовые варианты графо-аналитических моделей стратификации приземных слоев атмосферы в пределах резервно-технологических полос автомобильных дорог для различных ландшафтных условий природно-техногенных геоекосистем и исследованы процессы атмосферного массопереноса загрязнителей на территориях, прилегающих к автомобильным дорогам в зависимости от характеристик рельефа ландшафта и конструкционных параметров профиля автодороги. На основании методов моделирования опорных каркасов автотранспортной сети определены оптимальные конструкционные параметры профилей поперечных сечений резервно-технологических полос автомобильных дорог для различных категорий и соответствующих систем, а также объектов инженерной защиты придорожных ландшафтов, предложена процедура и алгоритм управления проектами природно-техногенных геоекосистем с развитыми транспортными сетями.

Ключевые слова: экологическая безопасность, автодорожная сеть, автотранспортный поток, ландшафты, выбросы, загрязняющие вещества, миграционные процессы, процессы депонирования, моделирование, проекты.

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.

The dissertation is devoted to theoretical generalization and solution of the actual scientific and practical problem, which consists in increasing the levels of ecological safety of naturally-technogenic geo-ecosystems with high density of road networks and improvement of the state of the landscape components of the environment within the limits of the reserve technological lanes (lanes of influence) of highways. The minimum value of density (traffic intensity) of motor vehicles is established, in which the regime of free movement of the aggregate of physical motor vehicles acquires the signs of their collective synchronized movement in the composition of the motor transport flow and the functional dependence between the volumes of dust emissions produced by motor transport streams and the degree of dispersion of disintegrated structural materials of motor roads coverings. The typical variants of object-oriented graph-analytical models of stratification of surface atmospheric layers within the limits of reserve technological bands of highways for various landscape conditions of natural technogenic geoeosystems are developed and processes of atmospheric mass transfer of pollutants in the territories adjacent to highways are investigated, depending on the

characteristics of the landscape of the landscape naturally-technogenic geoecosystem and structural parameters of the road profile. Based on the modeling methods of the vehicle frame support frameworks, optimal constructional parameters of cross-sectional profiles of the reserve and technological lanes of motor roads of various categories and corresponding systems and objects of engineering protection of roadside landscapes were determined, and the procedure and algorithm of project management of natural-technological geoeosystems with developed motor transport networks was proposed.

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

ШЕЛУДЧЕНКО ЛЕСЯ СЕРГІЇВНА

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

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Підписано до друку 18.11.2020 р. Формат 60×90/16. Папір друкарський.
Гарнітура Times New Roman Суг. Друк ризограф.
Ум. др. арк. 1,9. Наклад 100 прим. Замовлення № 3-108

Друк ФОП Сисин Я.І. свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції від 18.07.2012 р.

Серія ДК №4368.

32300, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський, вул. Князів Коріатовичів, 9а;

Тел./факс: (03849) 2-73-84; моб. 0984253404, 0501931724, 0673808375;

e-mail: abetka2017@ukr.net, <http://www.abetka.in.ua>