

ДИНАМІКА ЕМІСІЇ ПИЛОВИХ АЕРОЗОЛІВ ВНАСЛІДОК ТРИБОЛОГІЧНОГО ЗНОШУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ РУШІЄМ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Л. С. Шелудченко

Подільський державний аграрно-технічний університет

вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна, 32300.

E-mail: seludcenkolesa@gmail.com

Емісія пилових аерозолів, продукованих автотранспортними потоками, є небезпечним чинником впливу на природно-техногенні геоекосистеми з розвинутою автотранспортною мережею. Зменшення обсягів міграції пилових аерозолів за межі резервно-технологічних смуг автомобільних доріг зумовлює кращу експлуатаційну надійність автотранспортної мережі та збільшує рівень її екологічної безпеки. В роботі наведено результати дослідження процесів деформування та руйнування моделей структури окремих шарів конструкції автомобільних доріг в результаті дії зовнішніх факторів (впливів). Для практичної реалізації механічних випробувань вивчення зміни динаміки морфологічних ознак гетерогенної структури щелевено-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги виконано на основі двомірних моделей-аналогів – з “гексагональною” упаковкою кругів на площині. Відповідно встановлено програму випробувань для розроблених моделей: для дослідження процесу утворення каверн – послідовне дослідження на розтягування моделі-аналога (імітація крихкого руйнування конструкції автодороги); для трибологічного зношування – послідовне випробування на зсув моделей (імітація фретінг-втоми та пітінгового пошкодження). За результатами експериментального визначення обсягів руйнування мінеральних матеріалів конструкції автомобільної дороги та диспергованої частки конструкційних матеріалів внаслідок утворення каверн, встановлено повні екстремальні обсяги утворення мінерального пилу в залежності від категорії автомобільної дороги та інтенсивності автотранспортних потоків. Також визначено співвідношення загальної роботи зовнішніх сил, які розділяються на утворення мінеральних викидів при утворенні каверн та в результаті трибологічного зношування покриття автодороги. Результати, які отримано, дозволяють оптимізувати ряд заходів захисту придорожніх ландшафтів на територіях з розвинутою автотранспортною інфраструктурою.

Ключові слова: автодорога, обсяги пилових викидів, композиція структури, деформування структури, руйнування структури.

ДИНАМИКА ЭМИССИИ ПЫЛЕВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ВСЛЕДСТВИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ИЗНОСА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДВИЖИТЕЛЯМИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Л. С. Шелудченко

Подольский государственный аграрно-технический университет

ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300.

E-mail: seludcenkolesa@gmail.com

Эмиссия пылевых аэрозолей, которые образуются при движении автотранспортных потоков, является одним из наиболее опасных видов воздействия на природно-техногенные геоекосистемы с развитыми автотранспортными сетями. Уменьшение объемов миграции этих пылевых аэрозолей за пределы резервно-технологических полос автомобильных дорог обуславливает не только лучшую эксплуатационную надежность автотранспортной сети, но и уровень ее экологической безопасности. В работе приведены результаты исследования процессов деформирования и разрушения моделей структуры отдельных слоев конструкции автомобильных дорог в результате действия внешних факторов (воздействий). Для практической реализации механических испытаний для изучения изменения динамики морфологических признаков гетерогенной структуры щебеночно-гравийных слоев конструкции автомобильной дороги выполнено на основе двухмерных моделей-аналогов – с “гексагональной” упаковкой кругов на плоскости. Согласно установленной программе испытаний для разработанных моделей: для исследования процесса образования каверн – последовательное исследование на растяжение модели-аналога (имитация хрупкого разрушения конструкции автодороги) для трибологического износа – последовательное испытание на сдвиг моделей (имитация фретингового износа и питингового повреждения). По результатам экспериментального определения объемов разрушения минеральных материалов конструкции автомобильной дороги и диспергированной доли конструкционных материалов вследствие образования каверн, установлено полные экстремальные объемы образования минеральной пыли в зависимости от категории автомобильной дороги и интенсивности автотранспортных потоков. Также определено соотношение общей работы внешних сил, которые разделяются на образование минеральных выбросов при образовании каверн и в результате трибологического износа покрытия автодороги. Результаты позволяют оптимизировать ряд защитных мер для придорожных ландшафтов на территориях с развитой автотранспортной инфраструктурой.

Ключевые слова: автодорога, объемы пылевых выбросов, композиция структуры, деформирование структуры, разрушение структуры.

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одним з найнебезпечніших чинників впливу автотранспортного комплексу на довкілля поряд із шкідливими речовинами, які викидаються з двигуна внутрішнього згорання [1, 2], шумового забруднення [3] є викиди пилових аерозолів продукуюваних автотранспортними засобами які відрізняються, як за своїм походженням, складом і структурою, так і за обсягами. Інтенсивні процеси утворення мінерального пилу спостерігаються в зоні контакту “дорога – рушій автотранспортного засобу” і зумовлені дезінтеграцією мінеральних матеріалів конструкції автодороги в результаті їх руйнування [4]. Саме тому, дослідження процесів руйнування анізотропних структурних композицій мінеральних матеріалів дорожніх покриттів автодоріг та їх моделей-аналогів набуває першочергового значення при визначенні складу, структури та обсягів забруднюючих речовин, які продукуються автотранспортними потоками.

Метою роботи є визначення співвідношення роботи, яка витрачається на утворення каверн дорожніх покриттів і їх трибологічне зношування при руйнуванні матеріалів конструкції автомобільних доріг.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розроблення моделей-аналогів мінеральної структури дорожніх конструкцій та їх випробування. Для розроблення фрактально-інваріантної моделі регулярної композиційної будови гетерогенної структури шарів конструкції автомобільної дороги (гравійно-щебенева максимально ущільнена структура) обрано, так звану, “гіпотеза Кеплера” про максимально щільну “гексагональну” упаковку куль у просторі [5]. Щільність ρ заповнення простору для “гексагональної” упаковки куль у просторі становить [3]:

$$\rho = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{2}} \approx 0,7402 \quad (1)$$

і, відповідно, об’єм e дванадцяти тетраедричних порожнин (пористість) визначиться як:

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

Аналогом “гексагональної” упаковки куль у просторі в двомірному евклідовому просторі є розташування центрів кругів у вершинах правильної шестикутної ґратки, в якому кожний круг оточено шістьма іншими. Щільність такої упаковки (рис.1):

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

Для практичної реалізації механічних випробувань динаміки морфологічних ознак формозміни гетерогенної структури щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги розроблено дві їх двомірні моделі-аналога – з “гексаго-

нальною” упаковкою кругів на площині (рис.2-а) з щільністю упаковки відповідною до (3) $\rho \approx 0,9069$ та попередньо “структуровану” модель (рис.2-б), яка складена з окремих “гексагональних агрегатів після відповідної формозміни вихідної моделі. Щільність такої упаковки кругів на площині становитиме $\rho \approx 0,6049$ [3].



Рисунок 1 – Двомірний аналог (а) “гексагональної” упаковки куль у просторі та геометрична модель її структури (б)

Пропоновані моделі матеріалізовано за допомогою набору структурних елементів (рис.2-в), які зібрано у відповідні структури за допомогою каліброваних метизів.

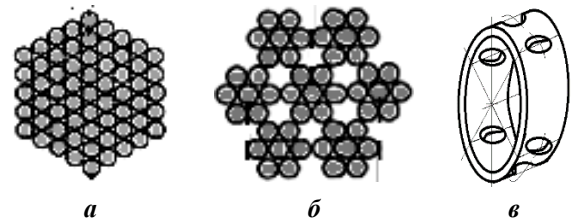


Рисунок 2 – Варіанти моделей аналогів гетерогенної структури щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги (а, б) і структурний елемент для їх виготовлення (в)

Відповідно до деформаційних особливостей та структурної міцності щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги [6] визначено таку програму механічних випробувань розроблених моделей. Для процесу утворення каверн – послідовне випробування на розтягування моделі (а) та моделі (б), наведених на рис.2, що імітує крихке руйнування поверхні автодороги в результаті дії контактних напружень в зоні контакту “дорога – рушій автотранспортного засобу” (рис.3). Для процесу дезінтеграції мінеральних матеріалів конструкції автодороги в результаті їх трибологічного зношування – послідовне випробування на зсув моделей (а) та (б) – рис.2, що імітує абразивне зношування поверхні автодороги в результаті фретінг-втоми та пітінгового пошкодження (рис.4).

Результати експерименту та їх аналіз. За результатами механічних випробувань моделей-аналогів щебенево-гравійних шарів конструкції автомобільних доріг отримано відповідні діаграми (рис.5) в координатах:

$$P \cdot H(t) \sim \Delta l \quad (4)$$

де P – миттєве значення прикладеної сили;
 $H(t)$ – хевісайд (функція Хевісайда);

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

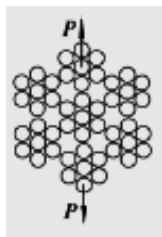
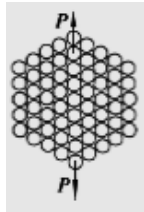
Δl – деформація моделі, $\Delta l=1$ – повне руйнування структури.

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

$$\Omega_{\Sigma} = 1 = \Omega_1 + \Omega_2 \quad (5)$$

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

$$\Omega_1 = \int_{A_1} PH(t) \cdot dl_1 \quad (6)$$



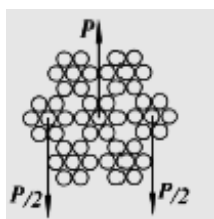
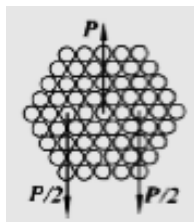
a



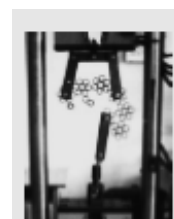
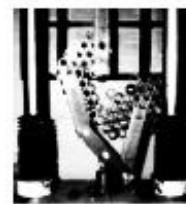
б



Рисунок 3 – Послідовність механічних випробувань моделі щелевево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги при імітації утворенні каверн на її поверхні: *a* – схема навантаження моделі, *б* – практична реалізація експерименту



a



б



Рисунок 4 – Послідовність механічних випробувань моделі щелевево-гравійних шарів конструкції автомобільної дороги при імітації трибологічного зношування її поверхні: *a* – схема навантаження моделі, *б* –

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

$$\Omega_2 = \int_{A_2} PH(t) \cdot dl_2 \quad (7)$$

Числове інтегрування діаграм, наведених на рис.5, з урахуванням виразу (5) дозволяє встановити:

$$\Omega_{\Sigma} = 1,0 \left\{ \begin{matrix} \Omega_1 = 0,222 \\ \Omega_2 = 0,778 \end{matrix} \right\} = 0,222 + 0,778 \quad (8)$$

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля
практична реалізація експерименту

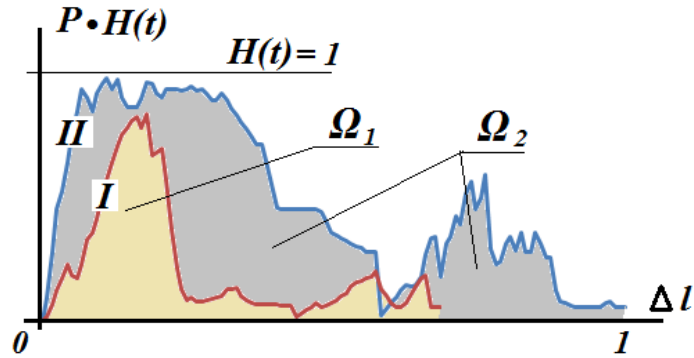


Рисунок 5 – Діаграми механічних випробувань моделей
щелевено-гравійних шарів конструкції автомобільних доріг:
I – імітація процесу утворення каверн на поверхні автомобільної дороги,
II – імітація процесу трибологічного зношування поверхні автомобільної дороги

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

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

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

$$k = \frac{m_2}{m_1} = 3,505 \quad (10)$$

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

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

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

За результатами експериментального визначення обсягів руйнування мінеральних матеріалів конструкції автомобільної дороги та їх (матеріалів) диспергованої частки внаслідок утворення каверн [8, 9, 10], встановлено повні екстремальні обсяги утворення мінерального пилу в залежності від категорії автомобільної дороги та інтенсивності автотранспортних потоків (таблиця 1).

Таблиця 1 – Маса пилових викидів та їх диспергована частка, які продукуються автотранспортними потоками, кг/год.·км

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

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

ВИСНОВКИ. Визначені обсяги викидів мінерального пилу та їх частка, яка диспергована в атмосферному повітрі у вигляді аерозолу, дозволяє оптимізувати заходи захисту придорожніх ландшафтів в умовах розвиненої автотранспортної мережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шило В. В. Автомобиль глазами эколога. – Х.: Торнадо, 2002. – 159 с.
2. Дідковський В. С., Шило В.В., Акименко В.Я., Запорожець О.І., Савін В.Г., Токарев В.І. Основи акустичної екології // Кіровоград: Поліграфовиддавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2001. – 520 с.
3. Харламова О.В., Шмандій В.М., Поліщук Д.В., Котенко О.Л., Гученко М.І. Моніторинг станів екологічної небезпеки при сумісній дії стаціонарних та пересувних джерел. Науковий журнал “Екологічна безпека”: Кременчук: КрНУ, 2017 № 2/2017 (23). – С. 27-31.
4. Шелудченко Б.А., Л.С. Шелудченко Механіка контактного руйнування автомобільних доріг // Кам'янець-Подільський: В-во ТОВ Каліграф, 2016. – 66 с.

5. ДСТУ Б.В.2.7-34-2001. Щебень для строительных работ из скальных горных пород и отходов сухого магнитного обогащения железистых кварцитов горно-обогатительных комбинатов и шахт Украины. Технические условия.

6. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения // М.: Физматлит, 2006. – 328 с.

7. Шелудченко Б.А. Агротехніка ґрунтів // Житомир: Полісся, 1992. – 249 с.

8. Шелудченко Л.С. Аналітичне моделювання обсягів диспергування мінеральних речовин автотранспортним потоком при руйнуванні автодорожнього покриття / Л.С. Шелудченко, В.Л. Носко, О.В. Овчарук // Науковий журнал “Екологічна безпека”: Кременчук: КрНУ, 2017 № 1/2017 (23). – С. 58-62.

9. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature // W.H. Freeman and Company, 1983. – 468 p.

10. Шелудченко Л.С. Екологічна безпека автодорожньої мережі, як термодинамічної системи // тези XV міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми екологічної безпеки”. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – С. 75.

DYNAMICS OF EMISSION OF DUST AEROSOLS OWING TO THE TRIBOLOGICAL CONNECTION OF ROAD COVERING OF AUTOMOBILE DRIVERS BY ROAD VEHICLES

L. Sheludchenko

State Agrarian and Engineering University in Podilya

vul. Shevchenko, 13, Kamyanets-Podilskyi, Khmelnytsky region, Ukraine, 32300.

E-mail: seludcenkolesa@gmail.com

Purpose. Determination of the parity ratio of the amount of work spent on the formation of cavities of road coverings and their tribological wear on the destruction of materials for the construction of highways. **Methodology.** The paper presents the results of the study of the processes of deformation and destruction of patterns of structure of separate layers of the design of highways as a result of the influence of external factors (influences). For practical realization of mechanical tests, the study of changes in the dynamics of morphological features of the heterogeneous structure of gravel-gravel layers of the road design is made on the basis of two-dimensional models-analogs - with "hexagonal" packaging of circles on a plane. Accordingly, a test program for developed models has been established: for studying the process of creating caverns - a consistent study on the stretching of the model-analogue (simulating a fragile destruction of the construction of the highway); for tribological wear - consistent modeling test (imitation-fretting fatigue and pitting damage). According to the results of mechanical tests of model-lei-analogs of gravel-gravel layers of road construction, the corresponding diagrams. **Results.** According to the results of the experimental determination of the volume of destruction of mineral materials of the construction of the road and the dispersed fraction of structural materials due to the formation of cavities, the full extreme volumes of mineral dust formation, depending on the category of the car road and the intensity of the motor flows, were established. Also, the ratio of the total work of external forces, which is divided into the formation of mineral emissions during the formation of caverns and as a result of tribological wear of the road pavement, is also determined. It is determined that the amount of work of external forces, which is spent on the formation of a unit of mass of mineral emissions, is a constant value for a specific construction of a highway. The results, as they have been obtained, allow to optimiz a number of measures for the protection of roadside landscapes in territories with developed motor transport infrastructure. *References 10, tables 1, figures 5.*

Key words: highway, volumes of dust emissions, composition structure, deformation of structures, destruction of the structure.

REFERENCES

1. Shilo V.V. (2002), Avtomobil' glazami ekologa [The car with the eyes of an ecologist], Tornado, Khar'kov, Ukraine.
2. Didkovskiy V. S., Akymenko V. Ya., Zapo-rozhets O. I., Savin V. H., Tokarev V. I. (2001), Osnovy aku-

stychnoi ekolohii [The basis of acoustic ecology], Poly-graphic sighting center of LTD "Imex LTD", Kirovo-grad, Ukraine.

3. Kharlamova O.V., Shmandii V.M., Polishchuk D.V., Kotenko O.L., Huchenko M.I. (2017), [Monitoring of ecological danger conditions in conformity with

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

stationary and Transfer sources] *Naukovyy zhurnal «Ekolohichna bezpeka»*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 2/2017 (24), pp. 7-11.

4. Sheludchenko B.A., Sheludchenko L.S. (2016), The contact mechanics destruction of highways, Kaminets-Podilskyi: publishing house Kalihraf, 66p.

5. DSTU B.V.2.7-34-2001. Rubble for construction work from rocky rocks and wastes of dry magnetic enrichment of ferro-quartzites of mining and processing complexes and mines of Ukraine. Technical specifications.

6. Matvyenko YU.H. (2006), *Modeli ta kryteriyi mekhaniky ruynuvannya* [Models and criteria for destructive mechanics], Moscow.: Fyz-matlyt, 328p.

7. Sheludchenko B.A. (1992), *Ahromekhanika gruntiv* [The aeromechanics of the soils], Zhytomyr, Polissya, Ukraine, 249 p.

8. Sheludchenko L.S., V.L. Nosko, O.V. Ovcharuk (2017), The analytical modeling volume dispersing of mineral substances by transport flow while destruction of the road surfacematerials, *Naukovyy zhurnal «Ekolohichna bezpeka»*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 1/2017 (23), pp. 58-62.

9. Mandelbrot, B.B. (1983) *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman and Company, USA, 468 p.

10. Sheludchenko, L.S. (2017) *Ekologichna bezpeka avtodorognoy meregy, yak termodynamichnoy systemy* [Ecological safety of the automotive network as a thermodynamic system], Abstracts of the XV International Scientific and Practical Conference "Problems of Environmental Safety", PP Shcherbatih O.V., Kremenchuk – Ukraine, pp. 75.