

УДК 622.23:05459

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.103>

АБРАЗИВНО-ВТОМНИЙ ЗНОС ГУМОВОЇ ФУТЕРІВКИ В КОНТЕКСТІ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

¹Кобець А.С., ²Дирда В.І., ²Калганков Є.В., ²Цаніді І.М., ²Черній О.А.

¹Дніпровський аграрно-економічний університет, ²Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

АБРАЗИВНО-УСТАЛОСТНЫЙ ИЗНОС РЕЗИНОВОЙ ФУТЕРОВКИ В КОНТЕКСТЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

¹Кобец А.С., ²Дырда В.И., ²Калганков Е.В., ²Цаниди И.М., ²Черний А.А.

¹Днепровский аграрно-экономический университет, ²Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ABRASIVE FATIGUE WEAR RUBBER LINING IN THE CONTEXT OF FRACTAL ANALYSIS

¹Kobets A.S., ²Dyrda V.I., ²Kalhankov Ye.V., ²Tsanidi I.M., ²Chernii O.A.

¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine

Анотація. В статті наведено аналіз робіт по механіці руйнування матеріалів та можливі шляхи вирішення проблем прогнозування їх ресурсу. Одним із таких шляхів є метод фрактальної оцінки поверхонь руйнування але дуже мало робіт розглядають руйнування гумових деталей, а особливо гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу.

Досліджуючи поверхні футерівки, встановлено, що футерівка яка не була в експлуатації має тяжі, розірвані фрагменти гуми але не відірвані, тобто гума опирається роздиру, схожа ситуація і з гумою взятої з глибини 30 мм і більше. Гума отримана з глибини 5 та 15 мм має більш рівномірні бороздки, має мало тяжів і майже не має не відірваних фрагментів гуми тобто верхні шари футерівки спочатку старіють (від дії втомного зносу), а потім завантаженням стирається.

Саме метод фрактальної оцінки поверхні руйнування гумової футерівки дозволяє визначити макроструктурні характеристики гуми за значеннями мікроструктурних параметрів матеріалу без яких-небудь підгінних коефіцієнтів. Результати досліджень свідчать про те, що процес руйнування гуми є нелінійним; очевидно, у локальних зонах, тобто в зонах інтенсивного руйнування матеріалу нелінійність процесу буде більше, чим у середньому за зразком. Так в роботі досліджено зміну фізико-механічних властивостей гумової футерівки по її висоті і встановлено, що гумова футерівка змінює свої властивості поступово тобто старіє. Зістарений шар становить 10-15 мм про, що свідчить фрактальна розмірність яка зменшується до глибини 15 мм, а потім відновлюється до початкового значення на глибині 30 мм. Це свідчить про те, що в наслідок ударно-дряпаючої дії завантаження гума старіє і втрачає свої властивості це призводить до зниження здатності гуми опиратись зносу і вона стирається, в той же час нові шари поступово старішають і втрачають свої властивості. Таким чином фрактальна оцінка дає можливість прогнозувати стан гумової футерівки як на поверхні матеріалу так і в середині.

Наведено також результати досліджень динаміки зносу гумової футерівки та її зв'язок з фрактальною розмірністю, так фрактальна розмірність нової футерівки становить 2,8472, а після напрацювання 7560 годин 2,8204. Як показали дослідження зі зменшенням висоти футеровочної плити зменшується і фрактальна розмірність так для нової плити висотою 270 мм фрактальна розмірність становить 2,8472 і для плити зі зносом 43 мм 2,8204, що дає можливість прогнозувати довговічність (старіння) гумової футерівки за її фрактальною розмірністю.

Ключові слова: фрактал, фрактальна розмірність, знос, руйнування, гумова футерівка, кластер, поверхня руйнування, втомний знос, абразивний знос

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. В останні роки фрактальний аналіз став потужним і діючим інструментом для дослідження механіки твердого деформуємого тіла. Про це свідчать і публікації в періодичній пресі й той інтерес, який проявляє до цього питання інженерна практика [1, 2, 3].

Руйнування великого класу неоднорідних матеріалів: металів, гірських порід, бетонів, еластомірів, композитів і ін. – визначається стохастичним

розподілом дефектної структури за обсягом і слабкою можливістю релаксації локальних перенапруг. Таке руйнування супроводжується сильною фрагментацією матеріалу зразка й більшим розкидом меж напружень й довговічності, обумовлених багатомаштабним рівнем дефектності різних розмірів. Моделювання руйнування таких сильно неоднорідних матеріалів викликає необхідність використання відповідного математичного апарата – теорії фрактальних множин для аналізу особливостей еволюції руйнування в об'ємі матеріалу [4].

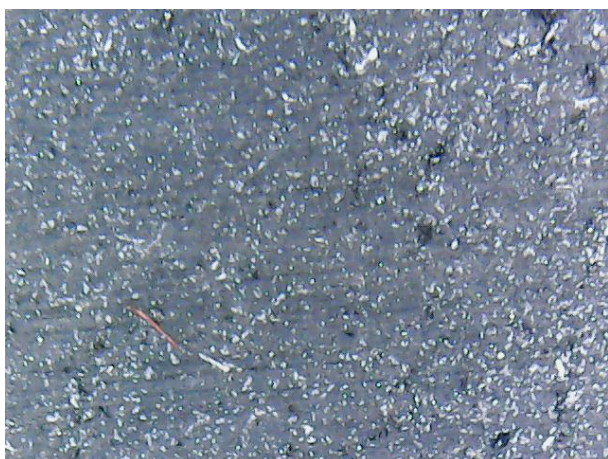
Використання статистичних методів для опису кумулятивного процесу ушкодження структурно-неоднорідних матеріалів припускає стохастичний характер розподілу дефектів за об'ємом, але конкретні імовірнісні реалізації процесу руйнування не досліджувалися. Для опису процесу руйнування будувалися схеми типу ланцюгів Маркова, що дозволяло визначати ймовірність руйнування матеріалу при різних навантаженнях. Такі побудови були засновані на припущеннях про незалежність елементарних актів руйнування без урахування особливостей геометричних параметрів матеріалу.

Тому використання теорії фрактальних розмірностей для опису процесу руйнування гумових футерівок є актуальним питанням і потребує подальшого дослідження.

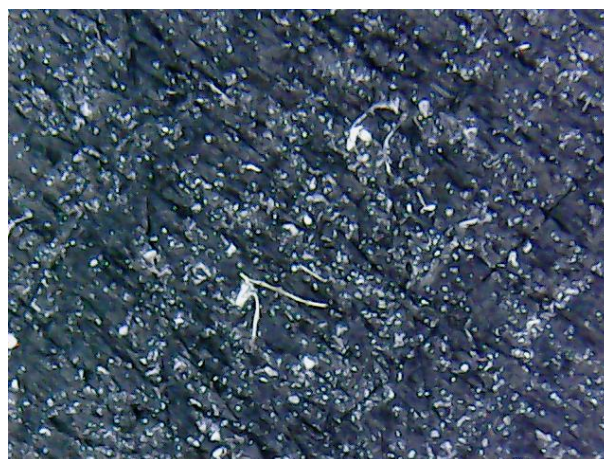
Аналіз досліджень та публікацій. Підходи, що з'явилися нещодавно, і враховують просторову стохастичність характеристик неоднорідності матеріалу, були засновані на використанні методів теорії перколяції [5]. Структурні особливості зразка моделювалися ґратчастою моделлю з випадковим розподілом зв'язків по їхній міцності. Таким чином, акт руйнування структурного елемента фіксувався в просторі й був пов'язаний з іншими елементами. Втрата несучої здатності зразка при цьому відповідала формуванню критичного перколяційного кластера, який характеризувався скалярною величиною – порогом протікання. Моделі тендітного руйнування ґратчастого типу ускладнювалися, з'явилися безперервні моделі із тріщинами спеціального виду, ураховувалися можливі флуктуації міцності елементарних зв'язків і ін. [6]. Однак отримані теоретичні й експериментальні результати показали обмеженість такого підходу у зв'язку з істотною відмінністю елементарних носіїв процесу руйнування: ієрархічної структурної системи дефектів, яка представляє більш складний об'єкт. Також фрактальний аналіз руйнування гумових елементів було використано в роботах Булата А.Ф., Дирди В.І., Щолокової М.А. та інших але автори розглядають процес руйнування гумових елементів, що не працюють в умовах дії навколишнього середовища (абразиву, рідини, кусків породи та іншого), а лише як процес руйнування внаслідок дисипативного розігріву гумового елемента. Автори розглядають процес руйнування, як утворення тріщин та їх автотельності в процесі роботи віброізоляторів. Безумовно дані роботи є основою для подальших досліджень руйнування поверхонь гумових футерівок в умовах ударно-дряпаючої дії завантаження млина.

Метою роботи є використання фрактального аналізу для дослідження процесу зносу та руйнування поверхонь гумових футерівок, що працюють в умовах ударно-дряпаючої дії завантаження млина, а також прогнозування їх довговічності.

Основний матеріал досліджень. Нижче розглядається одна з важливих сторін механіки руйнування твердих тіл – фрактальний аналіз поверхні руйнування гумових футерівок при дії на їх поверхні завантаження млина. Використання фрактального трактування руйнування тут цілком доречно по наступних причинах. При ударно-дряпаючій дії завантаження млина, на поверхні футерівки утворюються каверни та подряпини, внаслідок вириваючої дії великих шматків породи і їх дряпання по поверхні футерівки. Утворені бороздки та подряпини мають нерегулярну структуру з наявністю різного роду нерівностей (шорсткість) рис. 1. Важливою особливістю такої поверхні є статистична самоподоба рельєфу поверхні; при цьому властивість самоподоби зберігається на макро-, мезо- і мікрорівнях. Усе це дозволяє моделювати таку нерегулярну структуру фрактальними поверхнями.



а – до роботи в млині



б – з наявними подряпинами після 1221 години роботи

Рисунок 1 – Поверхня гумової футерівки

Згідно тверджень [7] у гумовій футерівці під дією завантаження млина (куль та шматків породи) відбувається ефект об'ємного стиску, що в свою чергу призводить до дисипативного розігріву та втоми матеріалу і його руйнування внаслідок старіння. Також футерівка сприймає дряпаючу дію абразиву яка на відміну від удару, створює локальний стиск поверхневого шару гуми, а враховуючи те, що таких абразивних частинок багато то поверхневий шар досить швидко старіє. Таким чином знос гумової футерівки залежить від багатьох факторів: дряпаючої дії абразивних часток, ударної дії куль та великих шматків породи, температури, частоти обертання, співвідношення води і твердої фракції та багато іншого.

Враховуючи все вищесказане, завдання визначення довговічності гумової футерівки суттєво ускладнюється.

Усе це приводить дослідників до досить важливого висновку: для оцінки механізмів руйнування гумової футерівки необхідна інтегральна величина, тобто інтегральний інформаційний параметр, що найбільш повно характеризує руйнування футерівки в цілому. На думку авторів [1, 7, 8] такою інтегральною величиною може служити фрактальна розмірність. Саме фрактальна оцінка матеріалів, останнім часом досить широко використовується науковцями, так як здатна об'єднати багато факторів, що впливають на довговічність матеріалу.

Нами запропоновано дослідити зміну фрактальної розмірності гумової футерівки на різних етапах її роботи.

Для фрактального аналізу поверхні руйнування зручно скористатися експериментальним прийомом Бенуа Мандельброта; на його думку, така поверхня руйнування є поверхнею з локальною фрактальною розмірністю, вона має самоподобу й для неї можна використовувати співвідношення периметра й площі у вигляді

$$L(\delta) - [S(\delta)]^{\frac{d_p}{2}} \quad \text{або} \quad d_p = \frac{2 \lg(\delta)}{\lg S(\delta)},$$

де $d_p = d-1$ (тут, як і вище d_p – фрактальна розмірність поверхні руйнування); L – довжина «берегової лінії» шорсткуватої або світлої зони на фрактограмі; S – площа цих зон; δ – крок виміру або так званий «еталон».

Для досліджень були відібрані зразки гумової футерівки млина МШР 3,5×4,0 першої стадії подрібнення, яка не була в експлуатації та тієї, що пропрацювала 1296, 2640, 4392, 5454 та 7560 годин на ПівГЗК м. Кривий Ріг. Зразки були зібрані під час зупинки млина на обслуговування та проміжні огляди стану дослідної футерівки. Досліджувались як робоча частина футерівки яка безпосередньо контактує з завантаженням млина, так і неробоча частина (тильний бік), щоб дослідити ступінь старіння гуми в об'ємі. За результатами досліджень встановлено залежність фрактальної розмірності поверхні руйнування гумової футерівки від її напруцювання (рис. 2).

Як видно з графіку, не робоча сторона футеровочної плити майже не змінила своїх властивостей, а робоча частина з часом втрачала здатність опиратись зносу про, що свідчить зниження фрактальної розмірності.

За даними замірів висоти футеровочної плити було побудовано залежність зносу плити від її напруцювання (рис. 3).

Поєднавши графіки 2 та 3, отримаємо взаємозв'язок між зносом

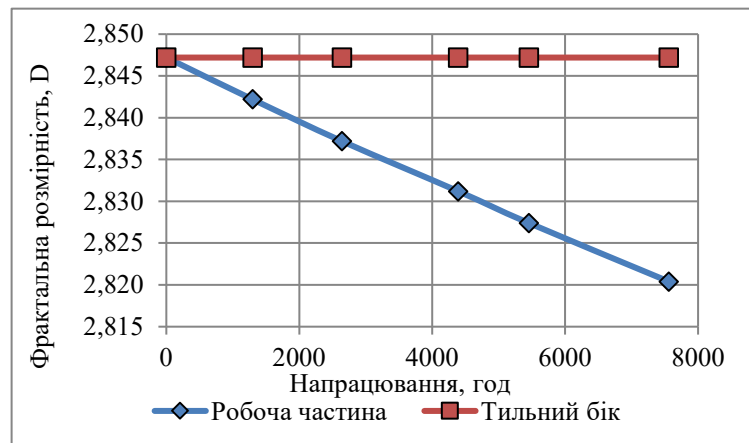


Рисунок 2 – Залежність фрактальної розмірності від напруцювання гумової футерівки

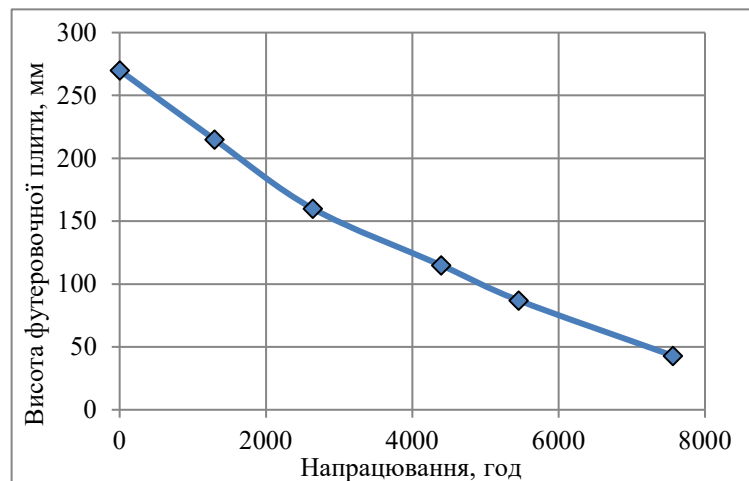


Рисунок 3 – Залежність зносу футеровочної плити від її напруцювання

футеровочної плити та фрактальною розмірністю (рис. 4).

Подальші дослідження зносу гумової плити дали змогу висунути припущення про зміну фізико-механічних властивостей плити по глибині. Бо як зазначалось раніше поверхневий шар старіє і менше опирається роздиру. Саме глибина травмованого шару може свідчити про довговічність футерівки. Так було проведено дослідження фрактальної розмірності гуми на різній відстані від поверхні плити, яка контактує з завантаженням та сприймає його дію.

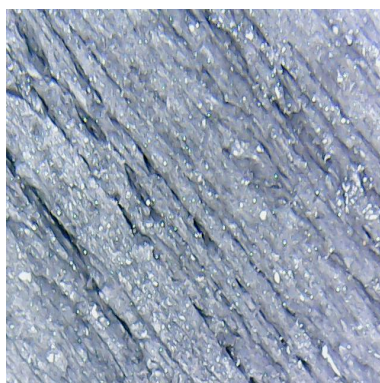
Зразки (рис. 5) вирізались з гумової плити через кожні 15 мм прямокутної форми і піддавались шліфуванню на шліфувальному папері зернистістю P150 на машині тертя МИ-2. Після вирівнювання поверхні проводилось фотографування зразків через мікроскоп та визначалась фрактальна розмірність (рис. 6).



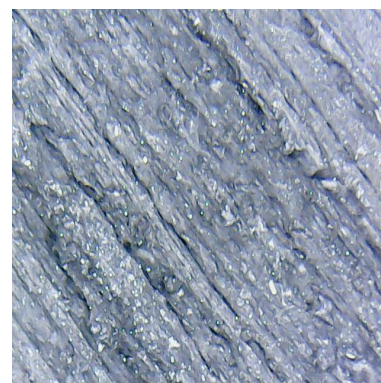
Рисунок 4 – Залежність висоти футеровочної плити та фрактальної розмірності



а – поверхня плити, що не була в експлуатації



б – 15 мм від поверхні



в – 30 мм від поверхні

Рисунок 5 – Зразки гуми

Аналізуючи фотографії поверхонь футерівки, видно, що футерівка яка не була в експлуатації має тяжі, розірвані фрагменти гуми але не відірвані, тобто гума опирається роздиру, схожа ситуація і з гумою взятої з глибини 30 мм і більше. Гума отримана з глибини 5 та 15 мм має більш рівномірні бороздки, має мало тяжів і майже не має не відірваних фрагментів гуми тобто верхні шари футерівки спочатку старіють (від дії втомного зносу), а потім завантаженням стирається.

Таким чином, метод фрактальної оцінки поверхні руйнування дозволяє визначити макроструктурні характеристики тіла за значеннями мікроструктурних параметрів матеріалу без яких-небудь підгінних коефіцієнтів.

Висновки. 1. Встановлено, що узагальнюючим параметром який характеризує стан гумової футерівки може виступати фрактальна розмірність.

2. Досліджено взаємозв'язки між фізико-механічними властивостями гумової футерівки та фрактальною розмірністю поверхні руйнування.

3. Встановлено, що фрактальна розмірність поверхні руйнування гумової футерівки зменшується на глибину 15-20 мм, а потім підвищується до початкового рівня, що свідчить про шар гуми яка старіє під ударно – дряпаючою дією завантаження і набуває особливих властивостей тобто концентрація ушкоджень у тонкому поверхневому шарі на порядок більше ніж у масиві гуми.

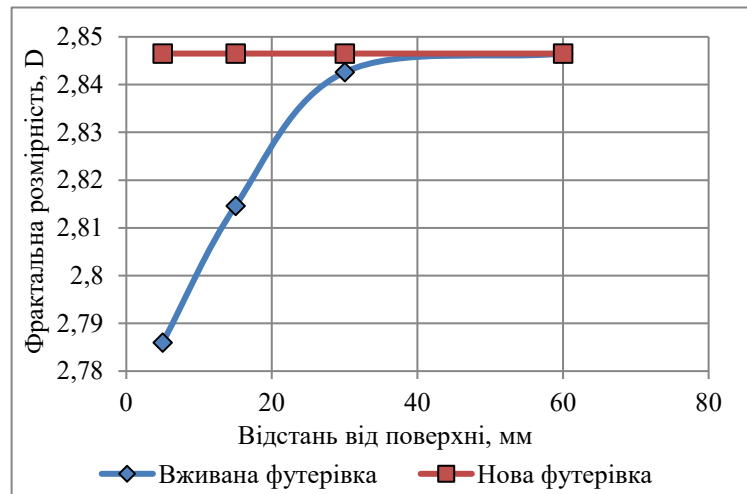


Рисунок 6 – Залежність фрактальної розмірності від глибини розташування шарів

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булат А.Ф., Дырда В.И. Фракталы в геомеханике. К.: Наук. думка, 2005. 358 с.
2. Большаков В.И., Волчук В.Н., Дубров Ю.И. Фракталы в материаловедении. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. 253 с.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с.
4. Иванова В.С. Фрактальная механика разрушения. Задачи и перспективы практического использования. *Самоорганизующиеся и фрактальные структуры*. Уфа: Уфим. нефт. ин-т, 1990. С. 3-14.
5. Щелокова М.А., Коротунова Е.В., Мاستиновский Ю.В. Фрактальный подход к решению задачи о накоплении повреждений. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2005. №2. С. 80-83.
6. Горюля П.Е. Моделирование процесса разрушения неоднородных твердых тел на основе теории перколяции. *Мат. и электрон. моделир. в машиностр.* К.: Техника, 1989. С. 47-53.
7. Особливості розрахунків гумометалевих елементів з урахуванням ефекту об'ємного стиску / В.І. Дирда та ін. *Геотехнічна механіка*. 2018. Вип. 138. С. 160-168.
8. Калганков Є.В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 133. С. 66-74.

REFERENCES

1. Bulat, A.F. and Dyrda, V.I. (2005), *Fraktaly v geomehanike* [Fractals in geomechanics], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
2. Bolshakov, V.I., Volchuk, V.N. and Dubrov, Yu.I. (2005), *Fraktaly v materialovedenii* [Fractals in materials science], PGASA, Dnipropetrovsk, Ukraine.
3. Mandelbrot, B. (2002), *Fraktalnaya geometriya prirody* [Fractal geometry of nature], In-t kompyuternykh issledovaniy, Moscow, Russia.
4. Ivanova, V.S. (1990), "Fractal fracture mechanics. Tasks and prospects for practical use", *Samoorganizuyuschiesya i fraktalnyie struktury*, Ufim. nef. in-t, Ufa, USSR.
5. Shchelokova, M.A., Korotunova, Ye.V. and Mastinovskiy, Yu.V. (2005), "Fractal approach to solving the problem of damage accumulation", *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni*, no. 2, pp. 80-83.
6. Gorulya, P.E. (1989), "Modeling the process of destruction of inhomogeneous solids on the basis of percolation theory", *Matematicheskoye i elektronnoye modelirovaniye v mashinostroyenii*, pp. 47-53.
7. Dyrda, V.I., Kalkhankov, Ye.V., Tsanidi, I.M. et al. (2018), "Specificity of rubber-metal elements calculation with taking into account effect of bulk compression", *Geo-Technical Mechanics*, no. 138, pp. 160-168.
8. Kalkhankov, Ye.V. (2017), "Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abrasive and fatigue wear", *Geo-Technical Mechanics*, no. 133, pp. 66-74.

Про авторів

Кобець Анатолій Степанович, доктор наук з держуправління, професор, ректор, Дніпровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), Дніпро, Україна, info@dsau.ua

Дирда Віталій Іларіонович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки еластомерних конструкцій гірських машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, vita.igtm@gmail.com

Калганков Євген Васильович, аспірант, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, kalhankov.ye.v@dsau.dp.ua

Цаніді Іван Миколайович, аспірант, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна.

Черній Олександр Анатолійович, аспірант, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, sanek20.1984@gmail.com

About the authors

Kobets Anatolii Stepanovych, Doctor of Public Administration, Professor, Rector, Dnipro State University of Agriculture and Economics, Dnipro, Ukraine, info@dsau.ua

Dyrda Vitalii Illarionovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Kalhankov Yevhen Vasylovych, Ph. D. Student in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, kalhankov.ye.v@dsau.dp.ua

Tsanidi Ivan Mykolaiovych, Ph. D. Student in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine

Chernii Oleksandr Anatoliiovych, Ph. D. Student in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, sanek20.1984@gmail.com

Аннотация. В статье приведён анализ работ по механике разрушения материалов и возможные пути решения проблем прогнозирования их ресурса. Одним из таких путей является метод фрактальной оценки поверхностей разрушения, но очень мало работ рассматривают разрушения резиновых деталей, особенно резиновых футеровок, работающих в условиях абразивно-усталостного износа.

Исследуя поверхности футеровки, установлено, что футеровка, которая не была в эксплуатации, имеет тяжёлые, разорванные фрагменты резины но не оторванные, то есть резина сопротивляется раздиру, похожая ситуация и с резиной взятой с глубины 30 мм и более. Резина, полученная из глубины 5 и 15 мм, имеет более равномерные бороздки, имеет мало тяжёлых и почти не имеет неоторванных фрагментов резины, то есть верхние слои футеровки сначала стареют (от действия усталостного износа), а затем стираются загрузкой.

Именно метод фрактальной оценки поверхности разрушения резиновой футеровки позволяет определить макроструктурные характеристики резины по значениям микроструктурных параметров материала без каких-либо подгоночных коэффициентов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что процесс разрушения резины является нелинейным; очевидно, в локальных зонах, то есть в зонах интенсивного разрушения материала нелинейность процесса будет больше, чем в среднем по образцу. Так в работе исследовано изменение физико-механических свойств резиновой футеровки по её высоте и установлено, что резиновая футеровка меняет свои свойства постепенно, то есть стареет. Состаренный слой составляет 10-15 мм, о чём свидетельствует фрактальная размерность, которая уменьшается до глубины 15 мм, а затем восстанавливается до первоначального значения на глубине 30 мм. Это свидетельствует о том, что в результате ударно-царапающего действия загрузки резина стареет и теряет свои свойства. Это приводит к снижению способности резины сопротивляться износу, и она стирается, в то же время новые слои постепенно стареют и теряют свои свойства. Таким образом, фрактальная оценка даёт возможность прогнозировать состояние резиновой футеровки, как на поверхности материала, так и внутри.

Приведены также результаты исследований динамики износа резиновой футеровки и её связь с фрактальной размерностью, так фрактальная размерность новой футеровки составляет 2,8472, а после наработки 7560 часов – 2,8204. Как показали исследования с уменьшением высоты футеровочной плиты, уменьшается и фрактальная размерность. Так для новой плиты высотой 270 мм фрактальная размерность составляет 2,8472 и для плиты с износом 43 мм – 2,8204, что даёт возможность прогнозировать долговечность (старение) резиновой футеровки по её фрактальной размерности.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная размерность, износ, разрушение, резиновая футеровка, кластер, поверхность разрушения, усталостный износ, абразивный износ

Abstract. The article provides an analysis of the work on the mechanics of the destruction of materials and possible solutions to the problems of predicting their resource. One of such ways is the method of fractal assessment of fracture

surfaces, but very few papers consider the destruction of rubber parts, especially rubber linings, working under conditions of abrasive fatigue wear.

Investigating the surface of the lining, it was found that the lining which was not in use has cords, broken rubber fragments but not torn off, that is, the rubber resists tearing, a similar situation with rubber taken from a depth of 30 mm and more. Rubber obtained from depths of 5 and 15 mm has more uniform grooves, has few cords and has almost no torn rubber fragments, there are upper layers of the lining at first aging (from the effect of fatigue wear), and then it is erased by loading.

Exactly the method of fractal evaluation of the surface of the destruction of the rubber lining allows you to determine the macrostructural characteristics of rubber according to the values of the microstructural parameters of the material without any fitting coefficients. Research results indicate that the rubber breakdown process is non-linear; obviously, in local zones, that is, in zones of intense material destruction, the nonlinearity of the process will be greater than the average for the sample. So in the work, the change in the physico-mechanical properties of a rubber lining along its height was investigated and it was established that a rubber lining changes its properties gradually, that is, it is aging. The aged layer is 10-15 mm, as evidenced by the fractal dimension, which decreases to a depth of 15 mm and then is restored to its original value at a depth of 30 mm. This suggests that as a result of the shock-scratching effect of the boot, the rubber ages and loses its properties. This leads to a decrease in the ability of rubber to resist wear and it is erased, at the same time, new layers gradually grow old and lose their properties. Thus, the fractal assessment makes it possible to predict the state of the rubber lining, both on the surface of the material and inside.

The results of studies of the dynamics of wear of the rubber lining and its connection with the fractal dimension are also given, so the fractal dimension of the new lining is 2.8472, and after operating 7,560 hours – 2.8204. Studies have shown with a decrease in the height of the lining plate, the fractal dimension also decreases. So for a new plate with a height of 270 mm, the fractal dimension is 2.8472 and for a plate with a wear of 43 mm – 2.8204, which makes it possible to predict the durability (aging) of a rubber lining by its fractal dimension.

Keywords: fractal, fractal dimension, wear, fracture, rubber lining, cluster, surface of destruction, fatigue wear, abrasive wear

Статья поступила в редакцию 18.01.2019

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым