

НАНОМАТЕРІАЛИ В МЕХАНІЦІ ДЕФОРМІВНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА НА ПРИКЛАДІ ГУМОВИХ ФУТЕРОВОК БАРАБАННИХ КУЛЬОВИХ МЛИНІВ

¹Дирда В.І., ²Кобець А.С., ¹Лисиця М.І., ¹Заболотна О.Ю., ¹Твердохліб Т.О.,
²Калганков Є.В., ²Черній О.А., ¹Агальцов Г.М.

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

НАНОМАТЕРИАЛЫ В МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА НА ПРИМЕРЕ РЕЗИНОВЫХ ФУТЕРОВОК БАРАБАНЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

¹Дырда В.И., ²Кобец А.С., ¹Лисица Н.И., ¹Заболотная Е.Ю., ¹Твердохлеб Т.Е.,
²Калганков Е.В., ²Черний А.А., ¹Агальцов Г.М.

¹Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

NANOMATERIALS IN THE MECHANICS OF DEFORMED SOLIDS ON THE EXAMPLE OF RUBBER LININGS OF DRUM BALL MILLS

¹Dyrda V.I., ²Kobets A.S., ¹Lysytsia M.I., ¹Zabolotna O.Yu., ¹Tverdokhlib T.O.,
²Kalhankov Ye.V., ²Chernii O.A., ¹Ahaltsov H.M.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, ²Dnipro State Agrarian and Economic University

Анотація. В статті проведено дослідження історії виникнення та використання наноматеріалів, а також виділено найбільш перспективні. Встановлено, що винайдені у 1985 році фулерени позитивно впливають на стан та тривалість життя гризунів і рослин, а також саме фулерени є найбільш часто застосовуваними для модифікації різних матеріалів. Головною особливістю фулеренів є їхня підвищена реакційна активність. Вони легко захоплюють атоми інших речовин і утворюють матеріали із принципово новими властивостями. На їхній основі виникла нова стереохімія вуглеців, що дозволяє цілеспрямовано створювати нові органічні молекули і, отже, речовини із заданими формами й властивостями. Фулерени при незначному вмісті можуть суттєво змінити фізико-механічні властивості матеріалу. Аналіз літературних джерел за останні роки показав суттєве розширення сфери застосування фулеренів, так як опубліковано і зареєстровано сотні статей та патентів.

В роботі проведено модифікацію гуми, що використовується для виготовлення гумових футеровок для першої стадії подрібнення у кульових барабанних млинах, фулереном C_{60} у кількості 0,05 мас.ч. Дослідження проводились на лабораторних зразках циліндричної форми діаметром 100 мм та висотою 50 мм, а також на зразках прямокутної форми виготовлених з футеровочних плит, що відпрацювали 9300 годин у барабанному кульовому млині першої стадії подрібнення. Досліджувались твердість гуми, яка після модифікації стала на 5-7 % еластичнішою і становить 68 одиниць проти базової 72 одиниці.

Встановлено вплив фулерену C_{60} на фізико-механічні властивості гуми, а саме гума без модифікації після 9300 годин експлуатації стала більш жорсткою, це пояснюється старінням гуми, але треба зауважити, що старіння відбувається в межах 25-27 %, що є непоганим показником за весь термін експлуатації, гума модифікована фулереном C_{60} є дещо м'якішою від еталонної гуми в середньому на 15 %. Після експлуатації гума модифікована фулереном також стала жорсткішою але на 15-18 %. Всі ці показники вказують на досить вдалий склад гуми.

Встановлено збільшення коефіцієнта дисипації для гуми модифікованої фулереном C_{60} на 20-25 %, що свідчить про підвищення еластичності гуми, а отже її живучість. Також дослідження показали на витривалість гуми модифікованої фулереном проти теплової дії, так зразки витримані 72 години при температурі 100 °C зістарились на 20 %.

Ключові слова: наноматеріали, фулерен, модифікація, гумова суміш, гумова футерівка, подрібнення, млин, дисипація, коефіцієнт дисипації, фізико-механічні властивості, старіння.

Проблема і її зв'язок з науковими й практичними завданнями. Сьогодні приставку «нано» можна почути у всіх сферах народного господарства, це медицина, металургія, електроніка, оптика і багато інших сфер. Згідно [1], «наноматеріали – матеріали, створені з використанням наночасток або за допомогою

нанотехнологій, що мають певні унікальні властивості, зумовлені присутністю цих частинок у матеріалі. До наноматеріалів відносять об'єкти, один з характерних розмірів яких лежить в інтервалі від 1 до 100 нм».

Найбільшого поширення для модифікації властивостей різних матеріалів набуває такий матеріал як фулерен.

Фулерен – алотропна форма вуглецю, що представляє собою опуклі замкнені багатогранники, складені з парного числа трикоординованих атомів вуглецю. Саме унікальною структурою фулеренів і обумовлюються їхні унікальні фізичні й хімічні властивості.

Фулерени – це недавно відкрита форма вуглецю, відмінна від раніше відомих графіту й алмаза. Найпоширенішим серед фулеренів є фулерен C_{60} (рис. 1), що представляє собою молекулу з 60 атомів вуглецю, які утворюють замкнену сферичну поверхню, складену із правильних шести- і п'ятикутників, – молекулярний аналог європейського футбольного м'яча, за що спочатку і було фулерен C_{60} названо – футболеном [2].

Фулерен C_{60} було виявлено одним із перших у 1985 році в Університеті Райса (Техас, США) вченими Річардом Смоллі, Гарольдом Крото та Робертом Керлом за, що в 1996 році вони отримали нобелівську премію з хімії. Також саме ці вчені назвали винайдену молекулу фулереном на честь архітектора Бакмінстера Фуллера бо винайдена ними молекула C_{60} нагадувала футуристичні «геодезичні» куполи Фуллера збудовані, ще в 30-х роках ХХ сторіччя [2]. З унікальністю будови фулеренів пов'язані і їх унікальні фізичні й хімічні властивості.

Фулерени використовуються в якості матеріалу для напівпровідникової техніки, застосовуються в якості добавок в акумуляторах і електричних батареях, добавок у вогнезахисні фарби. Також фулерени і їх різні хімічні похідні використовуються в комбінації з полісполученими напівпровідними полімерами для виготовлення сонячних елементів. Сьогодні відомо кілька тисяч патентів на застосування фулеренів у різних областях людської діяльності від надпровідності до ліків.

Головною особливістю фулеренів є їхня підвищена реакційна активність. Вони легко захоплюють атоми інших речовин і утворюють матеріали із принципово новими властивостями. На їхній основі виникла нова стереохімія вуглеців, що дозволяє цілеспрямовано створювати нові органічні молекули і, отже, речовини із заданими формами й властивостями.

Аналіз досліджень і публікацій. Фулерени активно досліджені в медицині; так відома робота [3] де японські вчені провели дослідження на щурах і довели, що фулерен уповільнює старіння та подовжує термін життя. Після цього було

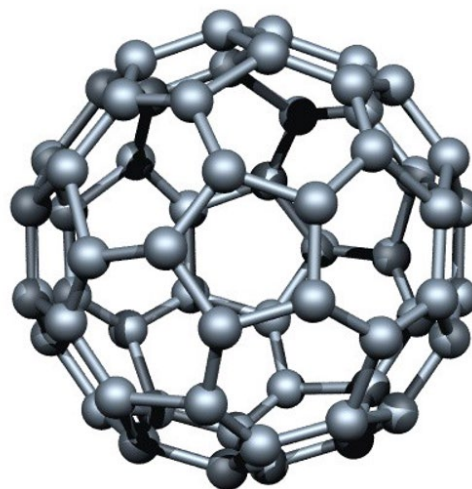


Рисунок 1 – Молекула фулерену C_{60} – бакібол

проведено багато досліджень і встановлено позитивний вплив фулерену на людину. Так на основі фулерену було розроблено фулеренову воду, крема та інше. Згідно досліджень [4] фулерен є активатором росту різних сільськогосподарських культур.

Можливість фулерена суттєво змінювати властивості матеріалів підтверджена вченими В.Д. Бланком, М.Ю. Поповим та С.Г. Бугою у 1993 році коли вони отримали на основі фулерену новий матеріал – ультра твердий фулерит, який володіє унікальними пружними властивостями та твердістю і здатен подрятати алмаз [5]. Стосовно полімерів також доведено те, що додавання фулерену до складу полімеру суттєво міняє його властивості, це доведено Э. Бадамшиною, Е. Атовмяном, Я. Эстріним [6].

Менше досліджено вплив фулеренів на гуму, але існує багато робіт в яких вказується на позитивний вплив фулеренів на фізико-механічні властивості гум. Так доведено позитивну дію фулерену на каучук [7], де встановлено, що каучук модифікований фулереном стає більш стійким до температурної дії, а також підвищується зносостійкість та знижується старіння.

Мета. Створення та дослідження гуми, що працює в важких, екстремальних умовах фулереном C_{60} та дослідження її фізико-механічних властивостей.

Виклад основного матеріалу. Працездатність багатьох гумових деталей істотно залежить від властивостей використовуваних матеріалів, які визначають умови тепловідводу, розподіл навантаження, опір стиранню та старінню. На відміну від металів гумові деталі мають кращі дисипативні властивості, що в свою чергу продовжує термін служби машини та зменшує старіння гумової деталі [8], що важливо для гумових деталей (гумових футеровок), які працюють при значних динамічних навантаженнях, важких ударних, а досить часто і екстремальних умовах.

Одержання деталей, саме плит і ліфтерів гумових футеровок можливо методом їх структурної модифікації. До рецептури гуми вже входять модифікатори, які допомагають зробити кінцеву гумову деталь стійкою до температури, агресивного середовища, стирання та інше але змінити суттєво фізико-механічні властивості вони не здатні.

Розроблена рецептура гуми з додаванням фулерену C_{60} у кількості 0,05 мас.ч. дає змогу істотно змінити властивості кінцевої гумової деталі [9]. Завдяки модифікації, підвищуються показники довговічності, умовної міцності під час розтягування, твердості за Шором, опору під час роздирання, старіння та розширюється область її використання. Рецептура гуми наведена в табл. 1.

Гумова суміш була приготована відомим способом за режимом виготовлення стандартних гумових сумішей на вальцях. Для лабораторних досліджень були виготовлені зразки у вигляді циліндрів діаметром 100 мм та висотою 50 мм (рис. 2) без додавання фулерену C_{60} та з додаванням у пропорції 0,05 мас.ч. Також було виготовлено зразки прямокутної форми з футеровочної плити яка відпрацювала 9300 годин на першій стадії подрібнення з кулею 100 мм.

Після підготовки зразків було проведено дослідження їх фізико-механічних властивостей. Проводились випробування на стиск та розтяг (рис. 3), отримано

релаксаційні властивості гуми та дослідження коефіцієнт дисипації який є досить важливим показником.

Таблиця 1 – Склад гумової суміші на основі канчуків СКИ та СКД

Найменування компонентів	Вміст компонентів суміші в композиції, мас. ч.
Каучук СКИ в. 65-74	50
Каучук СКД в. 40-50	50
Білила цинкові БЦОМ	4
Стеарин технічний	2
Сірка молота	1,4
Сульфенамід Ц	1,3
Ацетонаніл Н	1,0
Технічний вуглець N-220	59
Масло ВРПС	9
Дусантокс 6РРD	1,5
Сантагард РVІ	0,3
Фулерен С60	0,05

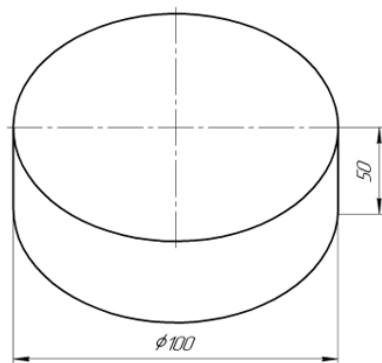


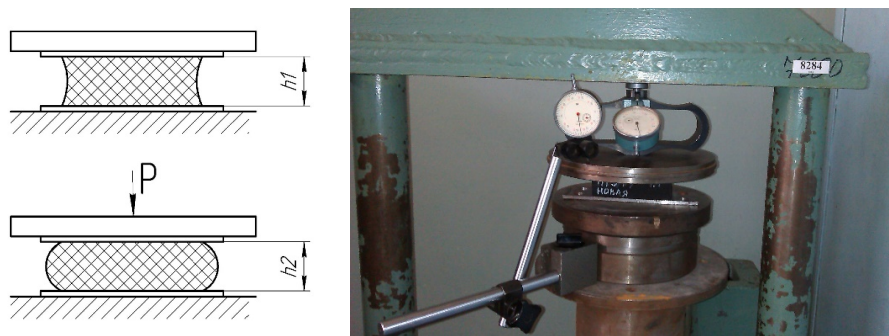
Рисунок 2 – Зразки для випробувань

Дослідження релаксації гуми проводилось на заздалегідь підготовлених зразках, тобто перед випробуванням зразки підлягали тренуванню (навантаження та розвантаження 3 рази відпочинок між операціями 3-5 хв). Релаксаційні криві наведено на рис. 4.

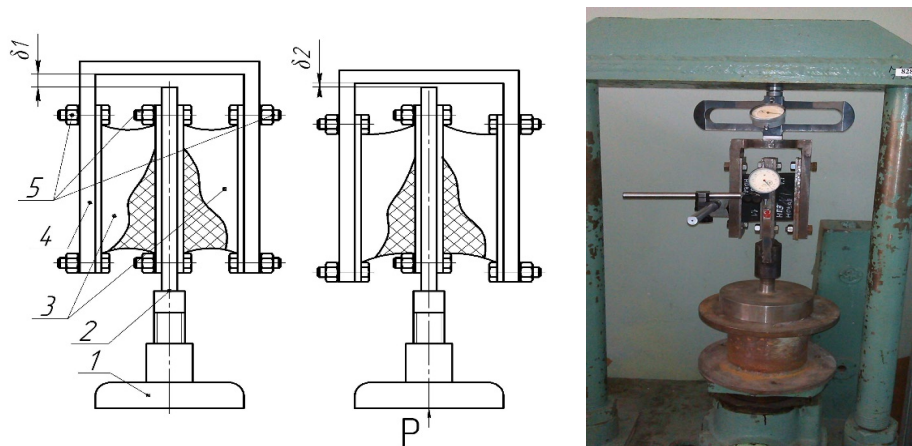
Аналізуючи криві можна побачити, що гума без модифікації після 9300 годин експлуатації стала більш жорсткою, це пояснюється старінням гуми, але треба зауважити, що старіння відбувається в межах 25-27 %, що є непоганим показником за весь термін експлуатації.

Гума модифікована фулереном С₆₀ є дещо м'якшою від еталонної гуми в середньому на 15 %. Після експлуатації гума модифікована фулереном також стала жорсткішою але на 15-18 %. Всі ці показники вказують на досить вдалий склад гуми і підтверджують результати роботи [10] де вказано на те, що у гуми деформується і зазнає старіння лише певний шар гуми.

Дослідження дисипативних властивостей гуми проводились фіксацією навантаження при деформації 10 мм (рис. 5). Після отримання та побудови графічних залежностей вираховувався коефіцієнт дисипації ψ .



а – випробування на стиск



б – випробування на зсув

Рисунок 3 – Схеми проведення випробувань зразків

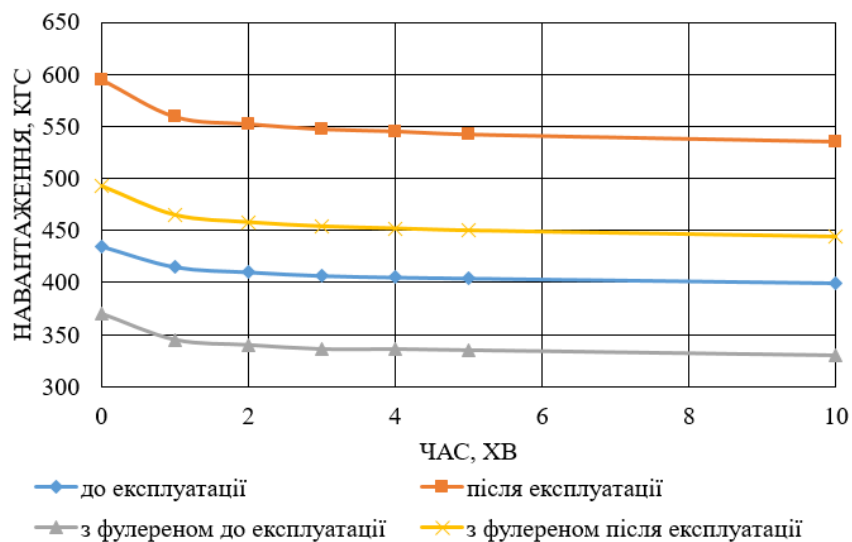
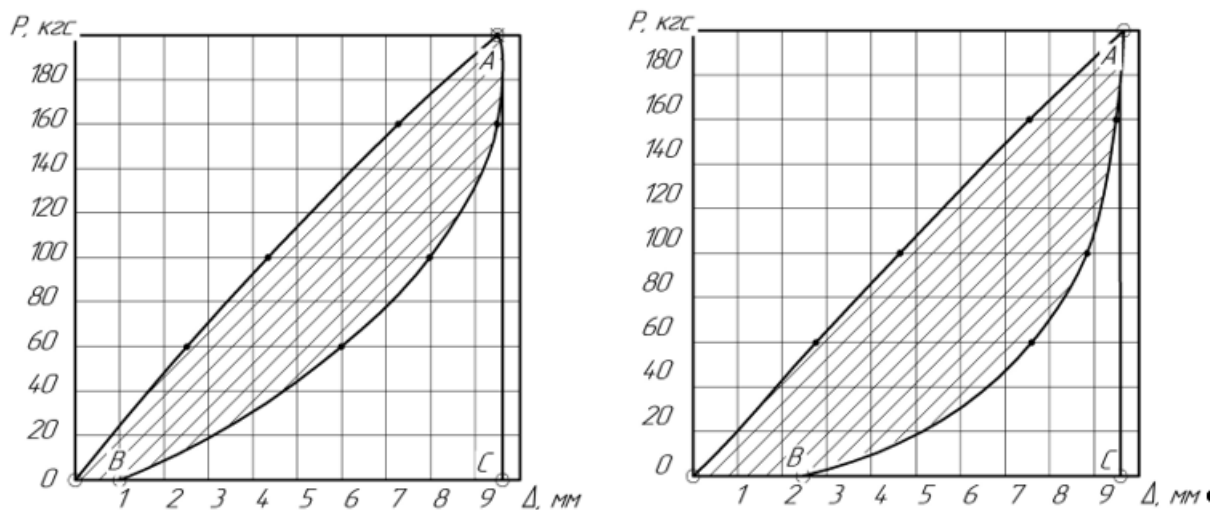


Рисунок 4 – Релаксаційні криві гуми

За результатами досліджень встановлено збільшення коефіцієнта дисипації на 20-25 %, що свідчить про підвищення еластичності гуми. Фізико-механічні властивості гум наведено в табл. 2.

Таким чином, модифікація гумової суміші фулереном C_{60} дозволяє поліпшити фізико-механічні властивості гуми в середньому на 25 %, подовжити її

довговічність та зменшити старіння гумових футеровок, що працюють в важких екстремальних умовах в середньому на 20 %, для футеровок, що працюють в більш м'яких умовах цей показник значно вищий і складає 30-35 %.



а – контрольний зразок, б – зразок модифікований фулереном C_{60}
Рисунок 5 – Визначення коефіцієнта дисипації гуми марки А

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості гуми

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Базова суміш	Суміш модифікована фулереном C_{60}
Твердість по Шору	А	72	68-69
Опір роздиру	кгс/см	45	54
Старіння при 100°C на протязі 72 год.	%	0,60-0,62	0,75-0,77
Коефіцієнт дисипації		0,52	0,66

Висновки. 1. Аналіз літературних джерел за останні роки показав суттєве розширення сфери застосування наноматеріалів, а особливо фулеренів.

2. Встановлено вплив фулерену C_{60} на фізико-механічні властивості гуми, а саме гума без модифікації після 9300 годин експлуатації стала більш жорсткою, це пояснюється старінням гуми, але треба зауважити, що старіння відбувається в межах 25-27 %, що є непоганим показником за весь термін експлуатації, гума модифікована фулереном C_{60} є дещо м'якшою від еталонної гуми в середньому на 15 %. Після експлуатації гума модифікована фулереном також стала жорсткішою але на 15-18 %. Всі ці показники вказують на досить вдалий склад гуми.

3. Встановлено збільшення коефіцієнта дисипації для гуми модифікованої фулереном C_{60} на 20-25 %, що свідчить про підвищення еластичності гуми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наноматеріали. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Наноматеріали> (дата звернення 01.06.2021).
2. General Information About Fullerene C60, Also Known As Buckyballs. URL: <https://medium.com/@nanografi/general-information-about-fullerene-c60-also-known-as-buckyballs-1654c74c6b30> (дата звернення 21.05.2021).
3. The prolongation of the lifespan of rats by repeated oral administration of [60] fullerene / T. Baati, F. Bourasset, N. Gharbi et al. / Biomaterials. 2012. P. 4936-4946.
4. Синтез и исследование биологической активности аддукта смеси фуллеренов и индолилмасляной кислоты / А.В. Чичварин и др. / Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2015. № 4 (177). С. 49-54.
5. Сорокин П. Фуллерены: история открытия и свойства. URL: <http://science.misis.ru/ru/views/843/13982/> (дата звернення

11.05.2021).

6. Атовмян Е.Г., Бадамшина Э.Р., Эстрин Я.И. Зачем полимерам фуллерен? / Ежемесячный естественнонаучный иллюстрированный журнал «Природа». 2008. №10. С. 16-22.

7. Чичварин А.В., Игуменова Т.И., Гудков М.А. Тепловое старение стирольного каучука, модифицированного смесью фуллеренов / Современные проблемы науки и образования: эл. научн. журнал. 2011. № 4.

8. Калганков Е.В. Расчёт долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учётом старения резины / Геотехническая механика. 2013. Вып. 113. С. 181-202.

9. Гумова суміш для виготовлення захисних футеровок кульових млинів: пат. 139991 UA / Дирда В.І., Калашніков В.О., Головка Л.Г., Калганков Є.В., Цаніді І.М. № u2019 04366; заявл. 22.04.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3. 5 с.

10. Калганков Е.В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футеровок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Геотехнічна механіка. 2017. Вип. 133. С. 66-74.

REFERENCES

1. Ukrainian Wikipedia (2020), "Nanomaterials", available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Наноматеріали> (Accessed 1 June 2021).

2. Nanografi-Blografi (2019), "General Information About Fullerene C60, Also Known As Buckyballs", available at: <https://medium.com/@nanografi/general-information-about-fullerene-c60-also-known-as-buckyballs-1654c74c6b30> (Accessed 21 May 2021).

3. Baati, T., Bourasset, F., Gharbi, N. et al. (2012), "The prolongation of the lifespan of rats by repeated oral administration of [60] fullerene", *Biomaterials*, pp. 4936-4946.

4. Chychvaryn, A.V., Yhumenova, T.Y., Prokopchuk, N.R. and Vyshnevskiy, K.V. (2015), "Synthesis and study of the biological activity of the adduct of a mixture of fullerenes and indolylbutyric acid", *Trudy BHTU*, no. 4, pp. 49-54.

5. Sorokin, P. (2016), "Fullerenes: history of discovery and properties" [Online], available at: <http://science.misis.ru/ru/views/843/13982/> (Accessed 11 May 2021).

6. Atovmyan, E.G., Badamshina, E.R. and Estrin, Y.I. (2008), "Why do polymers need fullerene?", *Ezhemesiachny estestvennonauchny illiustroyovanny zhurnal "Priroda"*, no. 10, pp. 16-22.

7. Chychvaryn, A.V., Yhumenova, T.Y. and Hudkov, M.A. (2011), "Thermal aging rubber modified with a mixture of fullerenes", *Sovremennye problemy nauky i obrazovaniya*, no. 4.

8. Kalhankov, Ye.V. (2013), "Calculation of the durability of rubber linings of ball ore grinding mills, taking into account the aging of rubber", *Geo-Technical Mechanics*, no. 113, pp. 181-202.

9. Dyrda, V.I., Kalashnikov, V.O., Holovko, L.H., Kalhankov, Ye.V. and Tsanidi, I.M. (2020), *Humova sumish dlia vyhotovlennia zakhysnykh futerovok kulovykh mlyniv* [Rubber mixture for the manufacture of protective linings of ball mills], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. 139991.

10. Kalhankov, Ye.V. (2017), "Features of fractal analysis of fractured surfaces of the rubber liners, which work in conditions of abra-sive and fatigue wear", *Geo-Technical Mechanics*, no. 133, pp. 66-74.

Про авторів

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

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

Лисиця Микола Іванович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу механіки еластомерних конструкцій гірничих машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, vita.igtm@gmail.com

Заболотна Олена Юріївна, інженер, інженер I категорії відділу механіки еластомерних конструкцій гірничих машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, vita.igtm@gmail.com

Твердохліб Тетяна Омелянівна, інженер, науковий співробітник відділу механіки еластомерних конструкцій гірничих машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, vita.igtm@gmail.com

Калганков Євген Васильович, магістр, старший викладач кафедри «Надійність і ремонт машин», Дніпровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), м. Дніпро, Україна, kalhankov.ye.v@dsau.dp.ua

Черній Олександр Анатолійович, магістр, старший викладач кафедри «Надійність і ремонт машин», Дніпровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ), м. Дніпро, Україна, sanek20.1984@gmail.com

Агальцов Геннадій Миколайович, інженер, молодший науковий співробітник відділу механіки еластомерних конструкцій гірських машин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, ag.gena@gmail.com

About the authors

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 of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Kobets Anatolii Stepanovych, Doctor of Public Administration, Professor, Rector, Dnipro State Agrarian and Economic

University, Dnipro, Ukraine, agro@dsau.ua

Lysytsia Mykola Ivanovych, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Zabolotna Olena Yuriivna, Master of Science, First Category Engineer in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Tverdokhlib Tetiana Omelianivna, Master of Science, Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Kalhankov Yevhen Vasylovych, Master of Science, Senior Lecturer of Department "Reliability and repair of machines", Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, kalhankov.ye.v@dsau.dp.ua

Chernii Oleksandr Anatoliiovych, Master of Science, Senior Lecturer of Department "Reliability and repair of machines", Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, sanek20.1984@gmail.com

Ahaltsov Hennadii Mykolaiovych, Master of Science, Junior Researcher of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, ag.gena@gmail.com

Аннотация. В статье проведено исследование истории возникновения и использования наноматериалов, а также выделены наиболее перспективные. Установлено, что открыты в 1985 году фуллерены положительно влияют на состояние и продолжительность жизни грызунов и растений, а также именно фуллерены являются наиболее часто применяемыми для модификации различных материалов. Главной особенностью фуллеренов является их повышенная реакционная активность. Они легко захватывают атомы других веществ и образуют материалы с принципиально новыми свойствами. На их основе возникла новая стереохимия углеродов, что позволяет целенаправленно создавать новые органические молекулы и, следовательно, вещества с заданными формами и свойствами. Фуллерены при незначительном содержании могут существенно изменить физико-механические свойства материала. Анализ литературных источников за последние годы показал существенное расширение сферы применения фуллеренов, так как опубликовано и зарегистрировано сотни статей и патентов.

В работе проведено модификацию резины, которая используется для изготовления резиновых футеровок для первой стадии измельчения в шаровых барабанных мельницах, фуллереном C₆₀ в количестве 0,05 масс.ч. Исследования проводились на лабораторных образцах цилиндрической формы диаметром 100 мм и высотой 50 мм, а также на образцах прямоугольной формы изготовленных из футеровочных плит, отработавших 9300 часов в барабанной шаровой мельнице первой стадии измельчения. Исследовались твёрдость резины, которая после модификации стала на 5-7 % эластичнее и составляет 68 единиц по сравнению с базовой 72 единицы.

Установлено влияние фуллерена C₆₀ на физико-механические свойства резины, а именно резина без модификации после 9300 часов эксплуатации стала более жёсткой, это объясняется старением резины, но надо заметить, что старение происходит в пределах 25-27 %, что является неплохим показателем за весь срок эксплуатации, резина, модифицированная фуллереном C₆₀ является несколько мягче от эталонной резины в среднем на 15 %. После эксплуатации резина, модифицированная фуллереном, также стала жёстче, но на 15-18 %. Все эти показатели указывают на достаточно удачный состав резины.

Установлено увеличение коэффициента диссипации для резины, модифицированной фуллереном C₆₀ на 20-25 %, что свидетельствует о повышении эластичности резины, а следовательно, и её живучесть. Также исследования показали на выносливость резины, модифицированной фуллереном, против теплового воздействия, так образцы выдержаны 72 часа при температуре 100 °C состарились на 20 %.

Ключевые слова: наноматериалы, фуллерен, модификация, резиновая смесь, резиновая футеровка, измельчения, мельница, диссипация, коэффициент диссипации, физико-механические свойства, старения

Abstract. In the paper, the history of the origin and use of nanomaterials is studied with focusing on the most promising. It is stated that fullerenes discovered in 1985 have a positive effect on the condition and life expectancy of rodents and plants, and fullerenes are the most commonly used for modifying various materials. The main feature of fullerenes is their high reaction activity. They easily capture atoms of other substances and form materials with fundamentally new properties.

Based on them, a new carbon stereochemistry was emerged, which allows the purposeful creation of new organic molecules and, consequently, substances with given shapes and properties. Fullerenes, at their small content, can significantly change the physical and mechanical properties of the material. An analysis of the literature in recent years has shown a significant expansion of the scope of fullerenes, as hundreds of papers and patents have been published and registered.

During the work, the rubber, which is used for the manufacture of rubber linings for the first stage of grinding in ball drum mills with fullerene C_{60} in the amount of 0.05 wt.f, was modified. The research was carried out on laboratory samples of cylindrical shape with a diameter of 100 mm and a height of 50 mm, as well as on rectangular samples made of lining plates, which had worked 9300 hours in a drum ball mill of the first stage of grinding. The hardness of the rubber was studied, which after modification became 5-7 % more elastic and is 68 units against the base 72 units.

The effect of C_{60} fullerene on the physical and mechanical properties of rubber was established, namely rubber without modification after 9300 hours of operation became more rigid due to the rubber aging, but it should be noted that aging occurs within 25-27 %, which is a good indicator for the entire period operation; rubber modified with fullerene C_{60} is slightly softer than the reference rubber by an average of 15 %. After operation, the rubber modified with fullerene also became harder but by 15-18 %. All these figures indicate a fairly good composition of the rubber.

Dissipation coefficient of the rubber modified with C_{60} fullerene was increased 20-25 %, which indicates an increase in the elasticity of rubber, and hence its survivability. Also, the studies shown good durability of the rubber modified with fullerene against thermal action: the samples, which were kept at a temperature of 100 °C for 72 hours, were aged by 20 %.

Keywords: nanomaterials, fullerenes, modification, rubber mixture, rubber lining, grinding, mill, dissipation, dissipation coefficient, physical and mechanical properties, aging

Стаття надійшла до редакції 21.01.2021