

**Алла Павленко<sup>1</sup>, Наталія Євдокименко<sup>2</sup>, Юрій Гаврилюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>аспірант кафедри інноваційної інженерії  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7580-3612>

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1799-1600>

<sup>3</sup>здобувач наукового ступеня кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2373-8027>

## ВПЛИВ АЛЮМОСИЛКАТНИХ ПОРОЖНИСТИХ МІКРОСФЕР НА ВЛАСТИВОСТІ ШИННИХ ГУМ

*У роботі представлено результати дослідження характеристик шинних гум зі зменшеним вмістом вуглеводнів (за рахунок введення алюмосилкатних порожнистих мікросфер (АСПМ)). Вперше проведено системні дослідження впливу АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості шинних гум. Вивчено структурні зміни шинних гум. Виявлено, що АСПМ у складі шинних гум виконують функцію структурного модифікатора.*

**Ключові слова:** шинні гуми; алюмосилкатні порожнисті мікросфери; теплопровідність; морозостійкість; зелені технології.

Рис.: 4. Табл.: 4. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Шина – достатньо складний, багатофункціональний та відповідальний елемент сучасної техніки. Шинні гуми – унікальний матеріал конструкційного призначення, ключовою особливістю якого є відмінна здатність гасити ударні навантаження [1].

Сучасна парадигма сталого розвитку передбачає першочергове вирішення проблем екології та соціальних питань за рахунок зменшення використання вуглеводнів, як умова збереження цивілізації. Традиційно є актуальними питання розробки нових матеріалів конструкційного призначення, які відіграють вирішальну роль у розвитку цивілізації, оскільки створення кожного нового матеріалу конструкційного призначення, призводило до зміни суспільно-економічних формацій (кам'яний вік, мідний вік, бронзовий вік, епоха чорних металів та полімерні матеріали) [2].

Полімерні матеріали є важливим складовим елементом реалізації науково-технічної революції. Завдяки розвитку технологій полімерних матеріалів відбулося створення різних транспортних засобів (наземних, повітряних та космічних) та технологічних машин з унікальним поєднанням міцності і щільності, що забезпечує зменшення їх маси [3].

В науковій літературі [3, 4] наведено результати багатьох досліджень, щодо розробки зелених технологій (заміна сировини з невідновних джерел на сировину з джерел, що відновлюються). Сьогодні відомо, що джерела вуглеводнів здатні відновлюватись, але актуальність проблеми заміни вуглеводнів зростає багаторазово, внаслідок того, що вуглеводні стали засобом політичного впливу та «несуть» загрозу існуванню земної цивілізації. Для вирішення проблеми заміни вуглеводнів в роботі вивчено вплив алюмосилкатних порожнистих мікросфер (АСПМ), на структуру та властивості шинних гум.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасного виробництва вимагає створення нових матеріалів, які мають необхідні властивості, залежно від умов експлуатації. Окрім того, поєднання таких властивостей із вирішенням екологічних проблем – утилізацією відходів інших виробництв, створює подвійний ефект. Одним з прикладів застосування таких матеріалів є компонент золо-шлакових відходів – алюмосилкатні порожнисті мікросфери (АСПМ), які утворюються при згоранні твердого палива на теплових електростанціях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час склався досить стійкий асоцимент наповнювачів для гум, однак пошуку нових типів наповнювачів присвячено наступні праці [3-5]. У роботі [3] розглянуто вплив неорганічних наповнювачів на властивості шинних гум. Авторами було розроблено нові шинні гуми з додаванням наповнювачів різних марок, які покращують технологічні та деформаційно-міцнісні властивості гумових сумішей та гум. Ефективність нового еластомерного матеріалу з мінеральним наповнювачем марки Миволл (виробництво ЗАТ «Геоком») була досліджена й доведена в роботі [4]. Аналіз проблем розвитку полімерних матеріалів конструкційного призначення в гумовій промисловості, пов'язаних з застосуванням вуглецькремнезійним двофазним наповнювачем марки TESPT та кремнекислотним наповнювачем марки Eso-black, і їх модифікацій наведено у статті [5].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для вирішення проблеми заміни вуглеводнів у складі шинних гум, було вивчено вплив АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості брекерних та протекторних гум.

Як відомо [6-8], АСПМ мають ряд особливостей: низьку щільність та теплопровідність; форма часток АСПМ – мікросфери. У складі шинних гум АСПМ не вивчали, внаслідок того, що АСПМ мають низьку теплопровідність, а це як раз є суттєвим недоліком шинних гум.

**Мета дослідження.** Для практичного застосування АСПМ у складі шинних гум, необхідно вивчити вплив АСПМ на властивості шин, що і є метою даної статті.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є серійні шинні гумові суміші (табл. 1). Шинна гумова суміш – складна багатокомпонентна система, яка містить інгредієнти різної функціональної дії: каучукова основа, (ненасичені полідієнові каучуки), сірчана вулканізуюча група, (що утворює просторову сітку).

Відомо [8], що скляні мікросфери мають унікальне поєднання міцності та щільності, являють собою порожнисті мікросфери (утворюються при згоранні вугілля).

Скляні мікросфери – багатофункціональні наповнювачі високої якості, які суттєво відрізняються від інших наповнювачів:

- насипна щільність скляних мікросфер у рази нижча від насипної щільності мінеральних наповнювачів, однак, при цьому, скляні мікросфери характеризуються високим рівнем механічної міцності;

- на відміну від традиційних наповнювачів, завдяки сферичній формі часток мікросфери забезпечують високий рівень технологічних властивостей еластомерних композицій: зростає пластичність, зменшується усадка та в'язкість.

Алюмосилікатні порожнисті мікросфери – склокристалічні алюмосилікатні кульки, які утворюються при високотемпературному факельному спалюванні вугілля. Вони являють собою порожнисті, майже ідеальної форми силікатні кульки з гладкою поверхнею, з середнім діаметром близько 100 мкм. Стінки суцільні непористі з товщиною від 2 до 10 мкм, температура плавлення 1400-1500° С, щільність 580-690 кг/м<sup>3</sup>.

Вивчали концентраційну залежність технологічних властивостей гумових сумішей та фізичних, фізико-механічних і теплофізичних властивостей гум. Вміст АСПМ варіювали в межах від 1.0 до 8.0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучукової основи.

Вивчали АСПМ (рис. 1) з такими характеристиками:

– колір	світло-сірий
– форма частинок	сферична
– рН	6.0-7.0
– насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	223
– істинна щільність, кг/м <sup>3</sup>	279
– температура плавлення, °С	1400-1500
– коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0.317

Гумові суміші виготовляли на лабораторних вальцях за загальноприйнятою методикою [9]. Властивості визначали відповідно до діючих стандартів та за загальноприйнятими методиками.

Таблиця 1

*Склад (мас. ч.на 100 мас. ч. каучука) шинних гумових сумішей різного призначення*

Інгредієнт	Призначення		Функціональна дія інгредієнта
	Брекерна	Протекторна	
Каучукова основа			
Полізопрен (СКИ-3)	100.0	75.0	Каучук
Полібутадиєн (СКД)	-	25.0	Те ж
Вулканізуюча група			
Сірка молота	-	2.2	Вулканізуючий агент
Сірка полімерна	4.5	-	Те ж
Сульфенамід М	0.8	1.5	Прискорювач сірчаної вулканізації
Білила цинкові	5.0	5.0	Активатор сірчаної вулканізації
Кислота стеаринова	2.0	2.0	Те ж
Фталевий ангідрид	-	1.0	Антискорчинг сірчаної вулканізації
Сантагард РVI	0.3	-	Те ж
Наповнювачі			
Технічний вуглець N-330	60.0	-	Наповнювач
Технічний вуглець N-220	-	55.0	Те ж
Пом'якшувачі			
Мастило ПН-6	7.0	12.0	Пом'якшувач
Бітуми нафтові АСМГ	5.0	-	Те ж
Вуглеводневі смоли	-	2.0	Те ж
Захисна група			
Захисний віск ЗВ	-	2.0	Протистарювач фізичної дії
Діафен ФП	1.2	1.0	Протистарювач хімічної дії
Ацетоніл Р	0.5	2.0	Те ж
Модифікатор адгезії			
Модифікатор РУ	2.0	-	Структурний модифікатор
Технологічні добавки			
Каніфоль	3.5	1.0	Забезпечує клейкість
Поліетилен високої щільності	1.0	-	Підвищує когезійної міцності гумової суміші на основі СКИ-3

Кінетику процесу вулканізації гумових сумішей вивчали при температурі 155 °С методом віброреометрії (ГОСТ 12535-84).

Показник термопластичності гумової суміші визначали, як відношення величини в'язкості при 25°С до величини в'язкості при 155°С (рис. 2).

Технологічні властивості гумової суміші: м'якість, відновлювальність, пластичність (за Каррером), еластичне відновлення, відносно еластичне відновлення визначали за ГОСТ 415-75 на пластометрі ПСМ-2 инд. 650.403 (ВН 5403) (типу Вільямса); усадку за товщиною та усадку за розмірами еліпса визначали за ГОСТ 12535-84 методом визначення вулканізаційних характеристик на вулкаметрі.

Деформаційно-міцнісні властивості шинних гум досліджували відповідно до ГОСТ 270-75 методом визначення упругоміцних властивостей при розтягу на розривній машині типу 2167 Р-50.

Еластичність шинної гуми здійснювали на приладі типу Шоба виду МТ 171 згідно до ГОСТ 27110-86 методом визначення еластичності по відскоку.

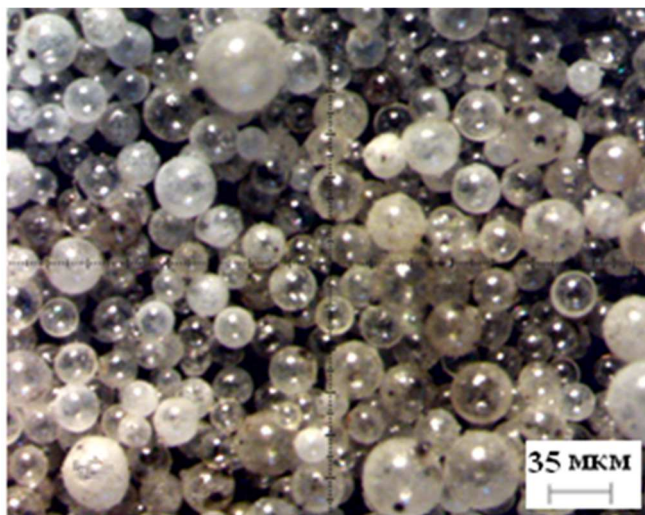


Рис. 1. Мікрофотографія ( $\times 230$ ) алюмосилікатних порожнистих мікросфер

Вимірювання твердості шинних гум здійснювали твердоміром типу ТР 25-І за ГОСТ 263-75 методом визначення твердості за Шором А.

Опір до роздирання шинних гум визначали за ГОСТ 262-79 на розривній машині типу 2167 Р-50.

Визначення опору до стирання шинних гум здійснювали методом визначення опору до стирання при ковзанні за ГОСТ 426-77 на приборі типу МІ-2.

Коефіцієнт тертя шинних гум визначали методом абразивного зношування за ГОСТ 426-77 на машині типу МС-2.

Щільність шинних гум визначали за ГОСТ 267-73 гідростатичним методом.

Визначення коефіцієнту теплопровідності шинних гум здійснювали за ГОСТ 34374.2-2017 методом з використанням плоского джерела тепла (нагрітого диску) у змінному режимі на приборі марки ІТ- $\lambda$ -400.

Морозостійкість оцінювали за температурою крихкості гуми при ударі за ГОСТ Р ІСО 18766-2017.

Вивчали вплив АСПМ на властивості, як шинних гумових сумішей, так і шинних гум.

Мікроструктуру шинних гум з АСПМ вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа типу РЭМ-106І при збільшенні 50.

В результаті аналізу концентраційної залежності технологічних властивостей гумових сумішей (рис. 2, табл. 2, 3), виявлено, що за усіма показниками технологічних властивостей протекторної гумової суміші суттєво зростає пластичність, зменшується мінімальна в'язкість, зростає індукційний період, зменшується оптимальний термін процесу вулканізації.

Введення АСПМ суттєво впливає на термопластичність гумової суміші (табл. 2), зокрема спостерігаємо збільшення показника на 20-70 %.

Оптимальний термін вулканізації визначають, як період часу від початку запису реограми до моменту досягнення 90 % ступеню вулканізації. У ГОСТі визначається формальність такого підходу і рекомендується для визначення оптимального терміну вулканізації, як терміну досягнення максимального рівня властивостей проводити додаткові дослідження кінетики зміни, деформаційно-міцнісні властивості.

Відомо, що АСПМ знайшли широке застосування у якості наповнювача для термозахисних матеріалів, тому що мають у 3-4 рази нижчу насипну щільність (у порівнянні з іншими наповнювачами), однак, високі показники теплоізоляційних властивостей є недоліком для шинних гум.

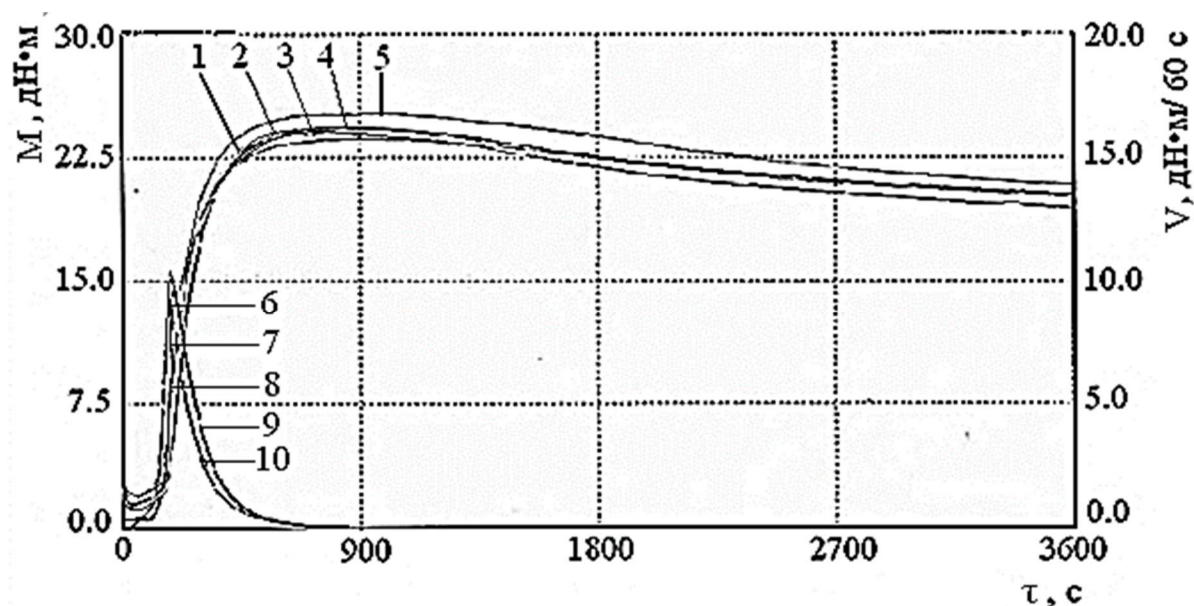


Рис. 2. Кінетичні криві вулканізації ( $M$  – в’язкість, 1-5) ( $V$  – швидкість, 6-10) протекторної гумової суміші з різним вмістом АСПМ (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука): 1, 6 – контроль; 2, 7 – 1.0; 3, 8 – 2.0; 4, 9 – 4.0.; 5, 10 – 8.0

Таблиця 2

Показники технологічних властивостей протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
М’якість	0.65	0.69	0.68	0.68	0.68
Відновлюваність	0.94	0.95	0.97	0.99	1.00
Пластичність (за Каррером)	0.61	0.65	0.66	0.67	0.68
Еластичне відновлення	0.52	0.47	0.29	0.09	0.04
Відносне еластичне відновлення	0.06	0.05	0.03	0.01	0.01
Усадка за товщиною, %	13.4	15.1	14.9	11.8	9.6
Усадка за розмірами еліпса, %	10.0	6.0	5.3	4.7	4.7
Термопластичність при 155 °С	1.93	3.27	2.35	2.45	2.69
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	1085	1080	1075	1060	1080

Вивчали вплив АСПМ на технологічні, фізико-механічні та теплофізичні властивості гуми при невеликих концентраціях (1.0 – 8.0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) (табл. 4).

Як видно з наведених даних, властивості матеріалів на основі сумішей полімерів суттєво перевищують властивості індивідуальних полімерів, залежить від параметрів геометричної фазової морфології – синергія властивостей реалізується в умовах геометричного фазового переходу (для подвійних систем полімерів оптимальним є співвідношення компонентів у діапазоні від 3/7 до 7/3. Унікальний комплекс властивостей притаманний еластомерним композиціям з мінімальними розмірами часток гетерофази.

Дослідження останніх років [10, 11] показали вирішальну роль параметрів фазової морфології у забезпеченні високого рівня властивостей матеріалів конструкційного призначення, перш за все, полімерів.

Таблиця 3

*Дані експериментальних досліджень методом віброреометрії протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)*

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
В'язкість, дН·м:					
- мінімальна;	1.81	1.07	1.49	1.43	1.30
- максимальна;	23.64	24.03	24.37	24.30	25.16
- при оптимальному терміні процесу вулканізації	21.45	21.74	22.08	22.01	22.77
Зміна в'язкості в процесі (ступінь зшивання) вулканізації, дН·м	21.83	22.96	22.88	22.87	23.86
Термін зростання мінімальної в'язкості (дН·м), 60 с.:					
- на одну одиницю	2.14	2.58	2.48	2.52	2.26
- на дві одиниці	2.52	2.88	2.85	2.89	2.59
Термін (60 с.) протікання процесу вулканізації при заданому ступені вулканізації, %:					
- 10;	2.55	2.93	2.91	2.95	2.65
- 30;	3.09	3.45	3.46	3.52	3.17
- 50;	3.65	4.02	4.02	4.11	3.70
- 70;	4.49	4.86	4.83	4.97	4.50
- 90;	6.53	6.72	6.62	6.88	6.38
- 100.	14.88	13.36	13.57	14.27	14.41
Термін досягнення максимальної швидкості процесу вулканізації, 60 с.	2.97	3.27	3.35	3.39	3.04
Максимальна швидкість процесу вулканізації, дН·м/60 с.	9.36	9.68	9.65	9.17	10.43
Оптимальний термін процесу вулканізації, 60 с.	4.39	4.14	4.14	4.36	4.13
Термін початку процесу реверсії (98%), 60 с.	23.25	19.55	20.15	20.88	22.43
Швидкість процесу вулканізації (дН·м/ 60 с.) при протіканні процесу 3600 с.	-0.14	-0.04	-0.06	-0.14	-0.10
Кут механічних втрат (радіани):					
- за умови зростання мінімальної в'язкості на одну одиницю;	0.66	0.76	0.72	0.74	0.78
- при оптимальному терміні процесу вулканізації;	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06
- при терміні протікання процесу вулканізації на 100 %.	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
Індекс зміни в'язкості	4.58	4.35	4.36	4.37	4.19
Індекс зміни швидкості процесу вулканізації	0.41	0.43	0.44	0.41	0.43
Швидкість реверсії, %	41.72	36.07	44.42	40.70	41.12

Таблиця 4

*Показники деформаційно-міцнісних, фізико-механічних, теплофізичних властивостей та розмір часток гетерофаз протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)*

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
1	2	3	4	5	6
<b>Деформаційно-міцнісні властивості</b>					
Умовне напруження (МПа) при заданому подовженні, %:					
- 50	1.5	1.9	1.6	1.1	1.8
- 100	3.1	3.2	2.8	1.9	3.0
- 150	4.7	4.6	4.4	3.0	4.4

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6
- 200	6.2	6.2	5.9	3.2	6.2
- 250	8.2	8.6	7.9	5.7	8.2
- 300	10.6	10.7	10.2	7.3	10.9
Умовна міцність при розтягу, МПа	18.4	18.4	17.1	10.7	14.1
Відносне подовження, %	490	510	460	430	410
Залишкове видовження, %	20	20	20	20	20
Фізико-механічні властивості					
Еластичність (на приладі типу Шоба), ум. од.	28	26	26	26	27
Твердість (за Шором), ум. од.	60	61	60	61	63
Опір до роздирання, кН/м	64.7	61.1	67.6	61.0	34.8
Опір до стираності, м <sup>3</sup> /ГДж	41.60	59.20	41.98	46.52	65.41
Коефіцієнт тертя	0.99	1.02	0.98	0.96	1.00
Теплофізичні властивості					
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0.518	0.522	0.587	0.591	0.607
Морозостійкість, °С					
Параметри морфології					
Діаметр часток гетерофази, ум. од.	18.0	15.0	15.0	15.0	16.0

Виходячи з того, що, на відміну від інших матеріалів конструкційного призначення, розвиток технології еластомерів обумовлений не тільки підвищенням міцності (традиційний підхід для всіх матеріалів конструкційного призначення), але і необхідністю збереження основної властивості еластомерів – здатності дисипувати механічну енергію. З урахуванням принципових відмінностей фізичної природи таких властивостей як міцність і еластичність, геометричну фазову морфологію необхідно визначати як матричну структуру: дисперсійне еластичне середовище в якому розповсюджена дисперсна фаза – елемент системи, що забезпечує високий рівень міжмолекулярної взаємодії.

Параметри морфологічної будови еластомерних композицій та характер структурних перетворень вивчали як геометричні фазові переходи із застосуванням метода перколяційного аналізу (рис. 3).

Заповнені квадрати модулюють властивості гетерофази, а не заповнені – властивості дисперсійного середовища. Ймовірність геометричних фазових переходів і термодинамічних фазових переходів якісно подібні, однак аналіз геометричних фазових переходів в порівнянні з термодинамічним, простіший – базується на деяких поняттях геометрії та теорії ймовірності.

Встановлено, що ймовірність геометричних фазових переходів  $P$ , при заданому вмісті гетерофази  $P_c$ , різко зменшується у випадку зменшення розміру часток гетерофази ( $d$ ):

$$P = P_c L = P^{1/d}, \quad (1)$$

де  $P$  – ймовірність геометричного фазового переходу;

$P_c$  – об'ємна частка гетерофази;

$L$  – розмірність перколяційної решітки;

$d$  – діаметр часток гетерофази, ум. од.

Тобто, при зменшенні розміру часток гетерофази зменшується ймовірність фазового геометричного переходу, отже зростає ймовірність збереження властивості матриці – еластичності у випадку гуми. Одержані результати, що базуються на аналізі в задачах перколяції, добре узгоджені з експериментальними мікрофотографіями.

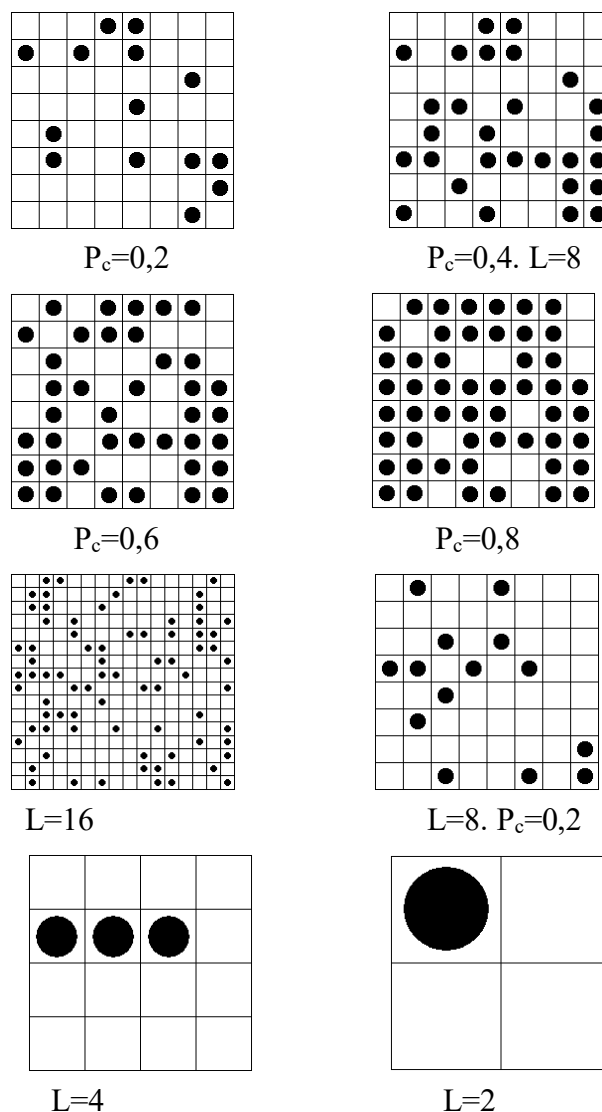


Рис. 3. Приклади перколяційних конфігурацій на квадратній решітці за різних значень  $P$  та  $L$  ( $P$  – частка зайнятих елементів на решітці;  $L$  – розмірність решітки)

Методом електронної мікроскопії вивчено шинні гуми з АСПМ (більше 5 мас. ч. в гумову суміш). Таким чином, аналіз мікрофотографій (рис. 4) свідчить про те, що при зростанні вмісту АСПМ в композиційному матеріалі, утворюється з'єднувальний кластер (рис. 3,  $P_c=0,4$ ,  $L=8$ ) і як наслідок відбувається руйнування часток АСПМ (рис. 4, в, г). Спостерігаємо зростання щільності.

При оптимальному вмісті АСПМ (рис. 4, б) спостерігаємо на поверхні часток АСПМ мікроутворення з речовини в газоподібному стані, тобто збільшується кількість елементів, що мають властивості кінетичної природи – спостерігаємо зростання коефіцієнта теплопровідності, морозостійкість, пластичність та інші технологічні властивості. Таким чином, в результаті проведених досліджень виявлено, що АСПМ у складі шинних гум проявляють властивості структурних модифікаторів – спостерігаємо зменшення розміру часток гетерофази (рис. 3,  $P_c=0,2$ ,  $L=8-2$ , табл. 4).



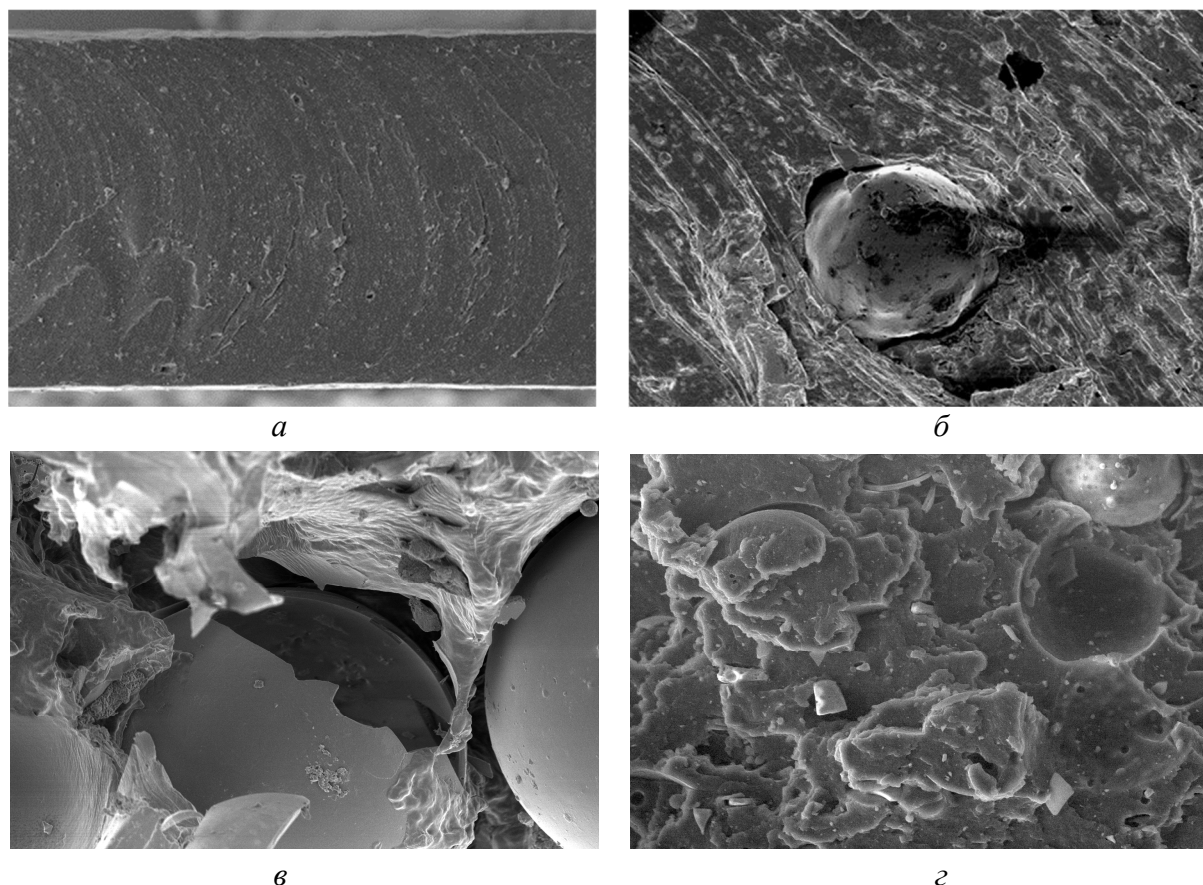


Рис. 4. Мікрофотографії (а, б, в –  $\times 50$ ; г –  $\times 300$ ) шинних гум з алюмосилікатними порожнистими мікросферами, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука:  
а – контроль; б – 4.0; в, г – 8.0

**Висновки відповідно до статті.** Вперше проведено системні дослідження впливу АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості шинних гум. Вивчено структурні зміни шинних гум. Показано, що оптимальним є вміст 3-5 мас. ч. АСПМ на 100 мас. ч. каучука (зростають технологічні властивості гумової суміші, зменшується щільність та зростає коефіцієнт теплопровідності шинних гум). Виявлено, що АСПМ у складі шинних гум виконують функцію структурного модифікатора.

#### Список використаних джерел

1. Большой справочник резинщика. Часть 2. Резины и резинотехнические изделия / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М. : ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2012. – 641 с.
2. Національна парадигма сталого розвитку України / за заг. ред. акад. НАН України, д.т.н., проф., заслуженого діяча науки і техніки України Б. Є. Патона. – Вид. 2-ге, переробл. і доповн. – К. : Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2016. – 72 с.
3. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин // Каучук и резина. – 2008. – № 5. – С. 2-11.
4. Курлянд С. К. Новый минеральный наполнитель для резин общего и специального назначения / С. К. Курлянд, Е. А. Быков, И. А. Карлина // Каучук и резина. – 2007. – № 1. – С. 22-25
5. Каблов В. Ф. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин / В. Ф. Каблов, В. И. Аксёнов // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2018. – № 3. – С. 24-34.
6. Самороков В. Э. Использование микросфер в композиционных материалах / В. Э. Самороков, Е. В. Зелинская // Химия и металлургия. – 2012. – Т. 68, № 9. – С. 201-205.

7. Дрожжин В. С. Процессы образования и основные свойства полых алюмосиликатных микросфер в золах-уноса тепловых электростанций / В. С. Дрожжин, М. Я. Шпирт, Л. Д. Данилин // Химия твёрдого топлива. – 2008. – № 2. – С. 53-66.

8. Данилин Л. Д. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов / Л. Д. Данилин, В. С. Дрожжин, М. Д. Куваев // Цемент и его применение. – 2012. – № 4. – С. 100-105.

9. Оцінка можливості використання вторинної мінеральної сировини виробництва соняшникової олії у складах еластомерних композицій / В. І. Овчаров, Л. Р. Юсупова, Б. В. Мурашевич, М. В. Торопін // Вопросы химии и химической технологии. – 2019. – № 2. – С. 99-105.

10. Большаков В. И. Применение фрактального моделирования при оценке структуры и свойств металлов / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металлознание та термічна обробка металів. – 2018. – № 2. – С. 50-55.

11. Дырда В. И. Механика разрушения композитных материалов в контексте фрактального анализа / В. И. Дырда, М. А. Щелокова // Геотехническая механика : межвед. сб. научн. трудов. – 2008. – Вып. 79. – С. 35-47.

### References

1. Reznichenko, S.V., Morozova, Yu.L. (2012). *Bolshoi spravochnyk rezynshchyka. Chast 2. Reiny i rezinotekhnicheskie izdeliia [Large handbook of rubber. Part 2. Rubber and rubber products]*. ООО «Yzdatelskyi tsentr «Tekhynform» МАУ.

2. Patona, B. Ye. (2016). *Natsionalna paradyhma staloho rozvytku Ukrainy [National paradigm of sustainable development of Ukraine]*. 2<sup>nd</sup> ed. Derzhavna ustanova «Instytut ekonomiky pryrodokorystuvannya ta staloho rozvytku Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy».

3. Pychuhyn, A.M. (2008). *Materyalovedcheskye aspekty sozdaniya shynnykh rezyn [Material science aspects of creating tire rubbers]*. *Kauchuk i rezina – Rubber and rubber*, (5), 2-11.

4. Kurliand, S.K., Bykov, E.A., Karlyna, I.A. (2007). *Novyi myneralni napolnytel dlia rezyn obshcheno y spetsyalnogo naznacheniya [New mineral filler for general and special purpose rubbers]*. *Kauchuk i rezina – Rubber and rubber*, (1), 22-25.

5. Kablov, V.F., Aksenov, V.I. (2018). *Sovremennye tendentsii primeniia kauchukov i napolnytelei v retsepture rezin [Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber compounding]*. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispolzovanie elastomerov – Industrial production and the use of elastomers*, (3), 24-34.

6. Samorokov, V.E., Zelynskaia, E.V. (2012). *Ispolzovanie mikrosfer v kompozitsionnykh materialakh [Use of microspheres in composite materials]*. *Khimiia i metallurgii – Chemistry and metallurgy*, 68(9(12)), 201-205.

7. Drozhzhyn, V.S., Shpyrt, M.Y., Danylyn, L.D. (2008). *Protsessy obrazovaniya y osnovnye svoistva polykh aliumosylykatnykh mykrosfer v zolakh-unosa teplovykh elektrostoatantsyi [Formation processes and basic properties of hollow aluminosilicate microspheres in fly ash of thermal power plants]*. *Khymiiia tverdoho tela – Chemistry of solid fuel*, (2(08)), 53-66.

8. Danylyn, L.D., Drozhzhyn, V.S., Kuvaev, M.D. (2012). *Polye mykrosfery yz zol-unosa – mnogofunktsionalnyi napolnytel kompozytsyonnykh materialov [Hollow fly ash microspheres – multifunctional filler for composite materials]*. *Tsement i eho primeneniie – Cement and its application*, (4(12)), 100-105.

9. Ovcharov, V.I., Yusupova, L.R., Murashevych, B.V., Toropin, M.V. (2019). *Otsinka mozhlyvosti vykorystannia vtorynnoi mineralnoi syrovyny vyrobnytstva soniashnykovoi olii u skladakh elastomernykh kompozytsii [Evaluation of the possibility of using secondary mineral raw materials for sunflower oil production in compositions of elastomeric compositions]*. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii – Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, (2), 99-105.

10. Bolshakov, V.I., Volchuk, V.N., Dubrov, Y.I. (2018). *Primeneniie fraktalnogo modelirovaniia pri otsenke struktury i svoistv metallov [Application of fractal modeling in assessing the structure and properties of metals]*. *Metalloznnavstvo ta termichna obrobka metaliv – Metal science and thermal processing of metals*, (2(18)), 50-55.

11. Dyrda, V.I., Shchelokova, M.A. (2008). Mekhanyka razrusheniya kompozytnykh materialov v kontekste fraktalnoho analiza [Fracture mechanics of composite materials in the context of fractal analysis]. *Heotekhnicheskaya mekhanyka. Mezhd. sb. nauchn. trudov. – Geotechnical mechanics: inter-departmental. Sat. scientific works*, 79 (pp. 35-47).

Отримано 11.07.2021

UDC 678.074:54.6

**Alla Pavlenko<sup>1</sup>, Natalia Evdokimenko<sup>2</sup>, Yuri Gavrilyuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD Student of the Department of Innovation Engineering  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7580-3612>

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technological Sand,  
Polymer and Polygraphyc Materials  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-1600>

<sup>3</sup>Degree Seeker of the Department of Technological Sand, Polymer and Polygraphyc Materials  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2373-8027>

## INFLUENCE OF ALUMINOSILICATE HOLLOW MICROSPHERES ON PROPERTIES OF TIRE TIRES

*Tire is the most complicated device element of modern technology while tire rubber is a unique material for construction purposes. The modern paradigm of sustainable development provides a solution to the problem of ecology and social issues by reducing the use of hydrocarbons as a condition for the preservation of civilization and the traditionally relevant to ensure effective management of the development of new structural materials. The creation of each new material for structural purposes led to changes in socio-economic formations.*

*The aim of the study is to determine the characteristics of tire rubber with reduced hydrocarbon content (due to the introduction of aluminosilicate hollow microspheres (ASHM)).*

*The literature presents the results of many studies on the development of green technologies. The peculiarity of ASHM is that it is a secondary raw material.*

*The paper presents the results of experimental research on the impact of ASHM on the physical, physico-mechanical and thermophysical parameters of rubber compositions and rubbers, analyzes relationship between the level of properties with the microstructure of rubber and the parameters of the geometric phase morphology.*

*For the first time, a systematic study of the influence of ASHM on the physical, physico-mechanical and thermophysical properties of tire rubber was conducted. Structural changes of tire rubber are studied. It is shown that the introduction of ASHM solves the environmental problem (reduces fuel consumption by reducing rubber density and reducing energy consumption due to increasing the level of technological properties), social problem (replacement of hydrocarbons in the rubber mixture). It was found that ASHM in the composition of tire rubber perform the function of a structural modifier.*

**Keywords:** tire rubber; aluminosilicate hollow microspheres; thermal conductivity; frost resistance; green technologies.  
*Fig.: 4. Tab.: 4. References: 11.*