

УДК 678.049.4+665.347.8:67.08

*Л.О. Соколова, О.А. Панфілова, В.І. Овчаров, О.В. Черваков, І.В. Суха***АМІДИ ЖИРНИХ КИСЛОТ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ У СКЛАДІ ЕЛАСТОМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

Одним зі стратегічних напрямів екологізації хімічної технології є використання поновлюваної природної сировини для створення інгредієнтів еластомерних композицій. Для гумової промисловості запропоновано використання амідів жирних кислот соняшникової олії: моноетаноламиду та діетаноламиду жирних кислот соняшникової олії, амиду олеїнової кислоти; визначено їх основні характеристики. Ефективність дії амідів жирних кислот у складі сірчаної вулканізуючої системи досліджено в ненаповнених і наповнених еластомерних композиціях модельного типу на основі бутадієн- $\alpha$ -метилстирольного каучуку за наявності досліджуваних речовин у дозуванні 1,5 мас.ч. на 100,0 мас.ч. каучукової основи. Методом реометрії показано, що досліджувані аміди жирних кислот суттєво активують і поглиблюють ступінь сірчаної вулканізації, а їх активність у складі активаторів прискореної сірчаної вулканізації залежить від будови. Максимальну активність виявляє діетаноламід жирних кислот з третинним атомом азоту. Встановлено позитивний вплив амідів жирних кислот на коефіцієнт посилення, комплексний динамічний модуль і тангенс кута механічних втрат гум.

**Ключові слова:** еластомерна композиція, біоінгредієнт, соняшникова олія, аміди жирних кислот, вулканізація.

**DOI:** 10.32434/0321-4095-2024-153-2-115-123

**Вступ**

Ознакою сучасності є екологізація технологій виробництва шляхом комплексного використання природних ресурсів, створення нових технологій, що забезпечують ресурсозбереження, утилізацію та регенерацію відходів. Перспективним в цьому плані є використання у сучасних технологіях не продуктів нафтохімії, а інноваційних технологій з використанням екологічної поновлюваної сировини рослинного походження. У технології гумового виробництва, зокрема, це є застосування каучуків та інгредієнтів, одержаних з використанням рослинної сировини [1].

У світовій практиці все більше впроваджується використання рослинних олій у складі гум різного призначення, що дозволяє скоротити застосування канцерогенних мастил нафтохімічного виробництва. Рослинні олії покращують умови перероблення гумових сумішей та вносять

певні удосконалення у властивості гум. Існує інформація про ефективне використання рослинних олій та їх похідних у складах еластомерних композицій [2–4].

Раніше [5,6] нами було здійснено низку досліджень жирно-, восковмісного складника гідрофобізованого адсорбента після вінтиризації соняшникової олії в еластомерних композиціях на основі дієнових каучуків загального призначення. Метою даної роботи стало одержання амідів жирних кислот з соняшникової олії або технологічних відходів її промислового виробництва, визначення характеристик синтезованих речовин та дослідження функціональної дії їх як інгредієнтів гумових сумішей та гум, що може також бути перспективним з точки зору імпортозаміщення.

**Методика експерименту**

Амідування тригліцеридів ненасичених жирних кислот, що входять до складу соняшникової

© Л.О. Соколова, О.А. Панфілова, В.І. Овчаров, О.В. Черваков, І.В. Суха, 2024



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*Fatty acid amides of plant origin in elastomeric compositions*

олії, було здійснено з використанням основного каталізу за відомими методиками [7] та одержано: олеамід – амід олеїнової кислоти зі складу соняшникової олії; моноетаноламиди жирних кислот соняшникової олії (МЕАЖК); діетаноламиди жирних кислот соняшникової олії (ДЕАЖК). Зовнішнє оцінювання досліджуваних сполук: олеамід – парафіноподібна масляниста речовина світло-бежевого кольору; МЕАЖК – воскоподібна тверда речовина бежевого кольору; ДЕАЖК – непрозора масляниста рідина світлокоричневого кольору. Фізико-хімічні характеристики одержаних сполук визначено у відповідності до методик [8] та наведено у табл. 1. Враховуючи, що показник йодного числа характеризує вміст ненасичених вуглеводнів, то одержані речовини було віднесено до ненасичених органічних сполук. Олеамід має найвищий ступінь ненасиченості та, відповідно до кислотного числа, найбільшу кількість вільних жирних кислот. МЕАЖК та ДЕАЖК при близьких значеннях йодного числа характеризуються кислотним числом меншим в 6,7 та 4,7 рази, відповідно, порівняно з олеамідом.

Визначення термостабільності інгредієнтів еластомерних композицій є важливим параметром при переробленні і використанні еластомерних матеріалів. Для встановлення термостабільності досліджуваних амідів жирних кислот проведено термогравіметричний аналіз, результати якого наведено на рис. 1. Встановлено, що для термогравіметричних кривих усіх зразків характерні подібні залежності з певними відмінностями на окремих стадіях термоокисної деструкції. Порівняння ходу кривих втрати маси в температурному діапазоні виготовлення гумових сумішей та експлуатації готових виробів дозволило встановити, що найменш стійким є олеамід (максимальна швидкість втрати маси 207°C). Втрата маси досліджуваних сполук в діапазоні температур 20–165°C складала: олеамід – 12,3%; МЕАЖК – 6,0%; ДЕАЖК – 10,1%. За рівнем термостабільності у відповідності до показника максимальної швидкості втрати маси (криві DTG) досліджувані амідів жирних кислот слід розташувати у наступному

ряду: МЕАЖК (274°C) > ДЕАЖК (256°C) > олеамід (207°C). Отже, досліджувані амідів жирних кислот соняшникової олії за результатами термогравіметричного аналізу при температурах виготовлення та перероблення еластомерних композицій у виробі показали себе достатньо термостабільними і не повинні викликати ускладнення технологічних процесів.

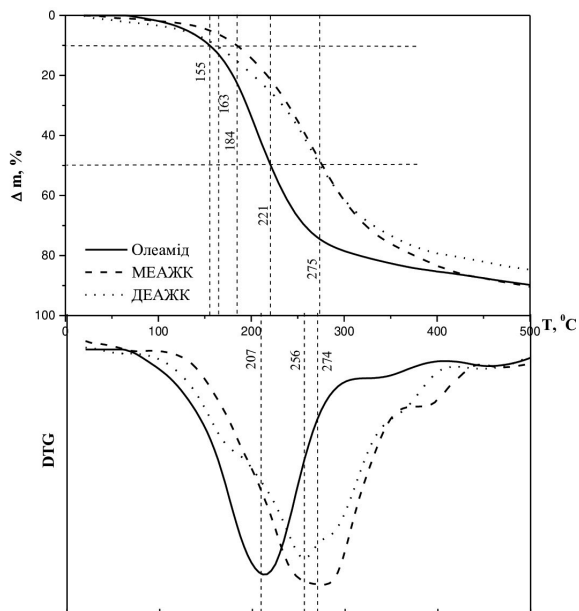


Рис. 1. Термогравіметричні криві амідів жирних кислот

Структуру амідів жирних кислот соняшникової олії досліджено методом ІЧ-спектроскопії [8]. Аналіз результатів ІЧ-спектроскопії олеаміду та МЕАЖК (рис. 2) показав, що в ІЧ-спектрі МЕАЖК присутні характеристичні смуги NH-груп; складна смуга валентних коливань з максимумами 3299  $\text{cm}^{-1}$  і 3093  $\text{cm}^{-1}$  (антисиметричні і симетричні коливання NH-груп первинного аміду, зв'язані водневі зв'язки), широка смуга 3500  $\text{cm}^{-1}$  характеризує сумарні валентні коливання воднево-зв'язаних NH- та OH-груп. Відповідно, у спектрі присутні також смуга деформування коливань NH-із максимумом 1560  $\text{cm}^{-1}$  і смуга валентних коли-

Таблиця 1

Фізико-хімічні характеристики досліджуваних амідів жирних кислот

Найменування показника	Олеамід	МЕАЖК	ДЕАЖК
Густина, $\text{кг/м}^3$	–	1120*	960**
Йодне число, г $\text{I}_2/100$ г	86,25	85,91	85,42
Кислотне число, мг КОН/г	19,62	2,94	4,16
Температура плавлення, °C	–	40	–

Примітки: \* – показник визначався за температури 45°C; \*\* – показник визначався за температури 24°C.

вань C=O груп із максимумом  $1644\text{ cm}^{-1}$ . Широка смуга  $700\text{--}600\text{ cm}^{-1}$  відноситься до деформаційних позаплощинних коливань N–H. Низка смуг поглинання в інтервалі  $1300\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$  із максимумами  $1265\text{ cm}^{-1}$ , а також  $1212\text{ cm}^{-1}$  відноситься до коливань C–N, C–O та коливань інших груп. Смуги  $1057\text{ cm}^{-1}$  та  $1036\text{ cm}^{-1}$  характеризують деформаційні коливання зв'язків C–OH гідроксильних груп. Наявність смуги C=O естерної групи дуже малої інтенсивності  $1743\text{ cm}^{-1}$  свідчить про майже повне перетворення жирних кислот рослинних олій в аміді кислот.

ІЧ-спектри МЕАЖК і олеаміду характеризуються практично аналогічними смугами коливань СН-груп у різних ділянках спектрів, у той же час спектри мають ряд відмінностей. Серед них відсутність смуг поглинання ОН-груп у спектрі олеаміду, яке приводить до вивільнення NH-груп від додаткових водневих зв'язків, що, в свою чергу, викликає зсув смуг поглинання C=O ( $1659\text{ cm}^{-1}$ ) і деформаційних коливань NH-груп ( $1632\text{ cm}^{-1}$ ) у високочастотну ділянку у порівнянні з МЕАЖК.

Відповідно до ІЧ-спектрів ДЕАЖК (рис. 2), його структура підтверджується наявністю характеристичних смуг поглинання: широка інтенсивна смуга валентних коливань із максимумом  $3371\text{ cm}^{-1}$  і смуга деформаційних коливань  $1051\text{ cm}^{-1}$  ОН-груп. Смуга валентних коливань C=O  $1620\text{ cm}^{-1}$  і  $1365\text{ cm}^{-1}$  C–N-груп. Наявність

смуги валентних коливань  $1743\text{ cm}^{-1}$  C=O естерних груп свідчить про присутність у суміші невеликої кількості вихідного тригліцериду.

Визначення функціональної дії амідів жирних кислот соняшникової олії [9,10] здійснено у складі ненаповнених і наповнених еластомерних композицій модельного типу на основі нестереорегулярного за будовою бутадієн- $\alpha$ -метилстирольного каучуку марки СКМС-30 АРК за наявності дослідних речовин у рівномасовому дозуванні 1,5 мас.ч. на 100 мас.ч. каучукової основи. Враховуючи відому їх поверхневу активність [8], функціональність одержаних амідів жирних кислот досліджували у складі сірчаної вулканізувальної системи в порівнянні з рівномасовим вмістом традиційної технологічної добавки та одночасно органічного активатора вулканізації – стеаринової кислоти.

Виготовлення гумових сумішей здійснено на лабораторних вальцях на 300,0 г каучукової основи. Використані в роботі каучук і інгредієнти відповідали нормам контролю за чинними стандартами. Вулканізацію гумових сумішей для випробувань гум виконано в лабораторних пресах в оптимумі вулканізації при  $165^{\circ}\text{C}$ .

Оцінювання технологічних характеристик гумових сумішей і гум в оптимумі вулканізації здійснено у відповідності до чинних міжнародних стандартів та актуальних методик [9–11]. Зокрема, визначення реологічних, вулканізацій-

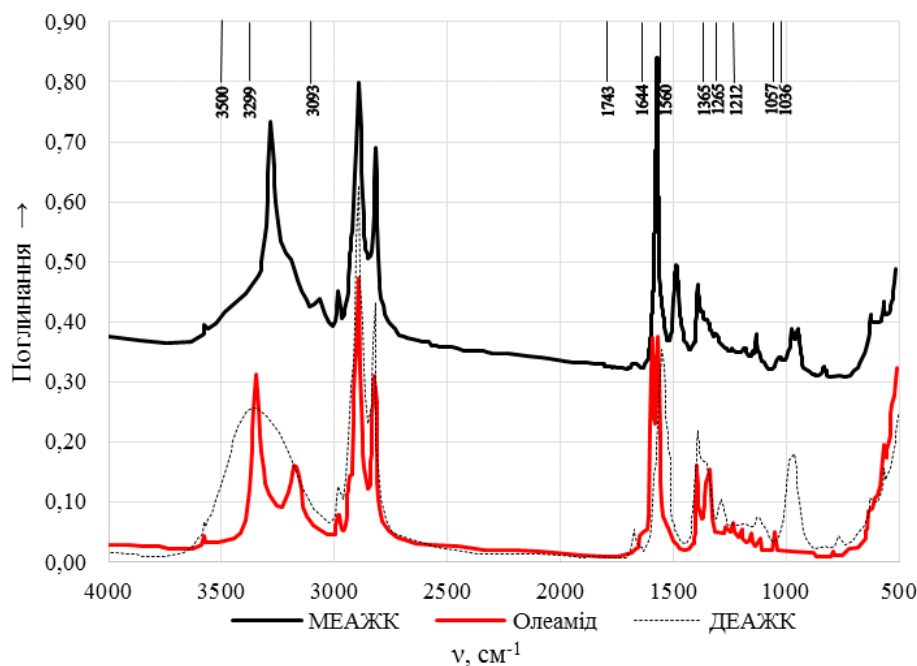


Рис. 2. ІЧ-спектри амідів жирних кислот (плівка на склі AgCl, прилад Perkin Elmer В XII)

них і динамічних властивостей еластомерних композицій за міжнародними стандартами DIN 53529, ASTM D 6204, ASTM D 6601, ISO 13145 виконано з використанням безроторного реометра MDR 3000 Professional виробництва німецької компанії Mon Tech, оснащеного програмним забезпеченням Mon Control. За даними реометрії виконано розрахунок параметрів вулканізації: швидкість, умовна константа швидкості та ефективна енергія активації у відповідності з методиками, наведеними в роботах [11,12].

#### Результати та обговорення

Аналіз реометричних характеристик ненаповнених еластомерних композицій на основі СКМС-30 АРК за наявності амідів жирних кислот соняшникової олії показав їх суттєвий вплив на тривалість індукційного періоду вулканізації за показником TS2, швидкість вулканізації в основному періоді за показником Peak Rate та  $R_v$ ,

відносний ступінь зшивання за показником  $S'_{max}-S'_{min}$ , ширину плато та реверсію за показником  $T@Rev98$  (табл. 2). За впливом на рівень показників швидкість вулканізації та ступінь зшивання ДЕАЖК як органічна складова системи активаторів сірчаної вулканізації забезпечує максимальні значення, які вищі, ніж у контрольної композиції зі стеариновою кислотою. Олеамід за ефективністю наближається до стеаринової кислоти, а МЕАЖК поступається їй.

Однак еластомерна композиція за наявності ДЕАЖК характеризується незначною стійкістю до реверсії (табл. 2). Можна припустити, що це пов'язано з мінімальним вмістом у вулканізатах вільної сірки – втричі менше, ніж у контрольної гуми зі стеариновою кислотою (рис. 3) і, вірогідно, максимально високої серед досліджених гум сульфідності вулканізаційних зшивок (при майже ідентичних значеннях зв'язаної сірки).

Таблиця 2

Реометричні характеристики (DIN 53529) ненаповнених еластомерних композицій за наявності амідів жирних кислот соняшникової олії у складі вулканізувальної системи ( $T=165^{\circ}C$ )

Показник	Тип добавки				
	Стеаринова кислота	Без добавки	Олеамід	МЕАЖК	ДЕАЖК
Мінімальний крутний момент $S'_{min}$ , дН·м	2,99	3,26	3,09	3,14	3,12
Відносний ступінь зшивання $S'_{max}-S'_{min}$ , дН·м	36,93	36,20	36,00	33,45	38,15
Стійкість до скорчінгу TS2, хв	6,52	6,82	6,23	5,69	4,89
Час досягнення 90% вулканізації TC90, хв	16,22	14,95	15,82	15,65	13,64
Максимальна швидкість структурування, Peak Rate, дН·м/хв	6,80	7,14	6,56	6,61	7,80
Швидкість вулканізації, $хв^{-1}$	9,19	10,41	9,43	8,80	10,18
Час початку реверсії $T@Rev98$ , хв	>60	>60	>60	48,98	28,21

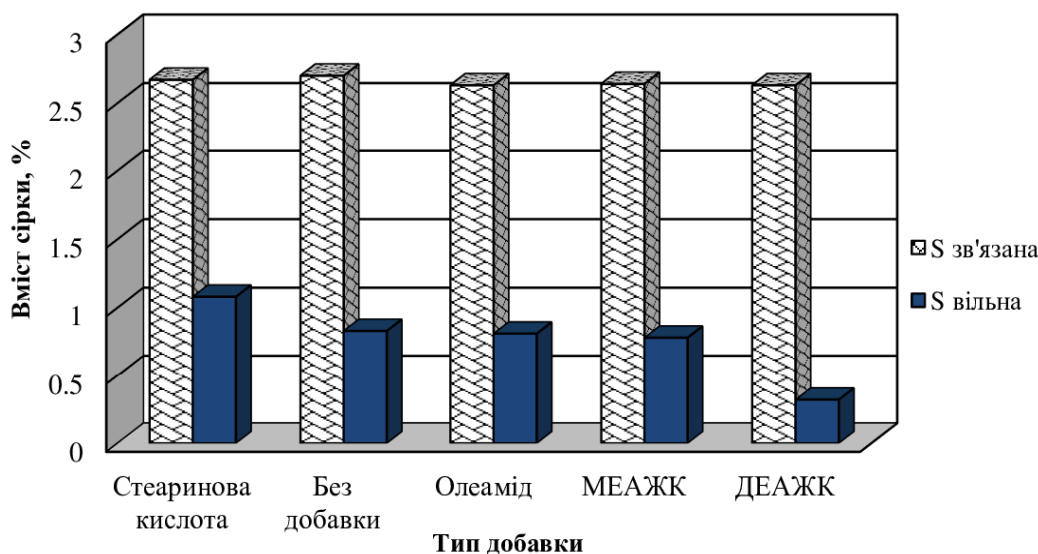


Рис. 3. Залежність вмісту зв'язаної та вільної сірки у ненаповнених вулканізатах від типу досліджуваних добавок

Якщо розглянути досліджувані органічні добавки як сполуки з вторинним (МЕАЖК) та третинним (ДЕАЖК) атомом азоту [7,8], то впливає, що речовина з третинним атомом азоту в процесі сірчаної вулканізації володіє більш високою активністю. Олеамід, який характеризується найвищими ступенем ненасиченості та вмістом вільних жирних кислот серед досліджуваних амідів, поступається за активністю ДЕАЖК.

За рівнем показника мінімальний крутий момент  $S'_{\min}$  (табл. 2) ненаповнених еластомерних композицій можна констатувати незначне (до 5%) зниження їх в'язкості в результаті пластифікуючої дії додатково введених амідів жирних кислот по відношенню до рівня показника  $S'_{\min}$  контрольної композиції без органічних добавок. Але менше, ніж від введення рівномасової кількості (1,5 мас.ч.) стеаринової кислоти – 8,3%.

Отже, показано, що в ненаповнених гумових сумішах на основі нестереорегулярного бутадієн- $\alpha$ -метилстирольного каучуку марки СКМС-30 АРК аміді жирних кислот соняшникової олії за рівномасового дозування відносно стеаринової кислоти суттєво активують і поглиблюють ступінь сірчаної вулканізації та дещо знижують в'язкісні характеристики. Активність жирних кислот за рівномасового вмісту у складі системи активаторів прискореної сірчаної вулканізації залежить від їх будови. Максимальну активність виявляє ДЕАЖК з третинним атомом азоту.

Також було здійснено визначення функціональної дії амідів жирних кислот соняшникової олії у складі модельних наповнених 40,0 мас.ч. (на 100,0 мас.ч. каучукової основи) технічного вуглецю марки N 330 еластомерних композицій

на основі каучуку марки СКМС-30 АРК. Встановлено, що олеамід, МЕАЖК, ДЕАЖК як органічні складники сірчаної вулканізуювальної системи суттєво впливають на ступінь зшивання, поведінку еластомерних композицій на плато вулканізації, менш суттєво – на тривалість індукційного періоду. Підтвердженням цього став аналіз кінетичних кривих вулканізації в напівлогарифмічній системі координат залежності ступеня зшивання від часу  $\ln(M_{\max} - M_t)/\tau$  [6,11] еластомерних композицій з різними типами рівних за дозуванням органічних добавок еластомерних композицій при температурах 155 $^{\circ}$ C і 165 $^{\circ}$ C та визначені за їх допомогою характеристики  $t_i$ ,  $t_{dis}$ ,  $k_2$  (табл. 3). Зокрема, за показниками тривалість індукційного періоду зшивання ( $t_i$ ) і час дисоціації прискорювача ( $t_{dis}$ ) активувальна дія досліджуваних амідів близька або перевищує вплив відомого активатора вулканізації стеаринової кислоти. Наявність органічних добавок у складі сірчаної вулканізуювальної системи вдвічі скорочує дані часові характеристики вулканізації відносно контрольної композиції без добавок. За рівнем показника умовна константа швидкості вулканізації ( $k_2$ ) в основному періоді вулканізації композиція з ДЕАЖК не поступається композиції зі стеариновою кислотою як органічним активатором.

Процес сірчаної вулканізації гумових сумішей за наявності амідів жирних кислот характеризується в 1,3 рази меншим значенням температурного коефіцієнта вулканізації за показником умовної константи швидкості і в 1,4 рази меншим значенням ефективної енергії активації в порівнянні з відомою стеариновою кислотою, але не з таким низьким за значенням рівня параметра  $E$ , як у контрольній композиції без добавок орга-

Таблиця 3

**Вулканізаційні характеристики наповнених еластомерних композицій за наявності амідів жирних кислот соняшникової олії у складі вулканізуювальної системи**

Показник	Тип добавки				
	Стеаринова кислота	Без добавки	Олеамід	МЕАЖК	ДЕАЖК
за температури 155 $^{\circ}$ C					
Тривалість індукційного періоду, $t_i$ , хв	5,0	8,0	4,0	4,3	4,0
Час дисоціації прискорювача, $t_{dis}$ , хв	6,5	11,0	5,5	5,0	5,0
Умовна константа швидкості, $k_2$ , хв $^{-1}$	0,21	0,41	0,23	0,15	0,31
за температури 165 $^{\circ}$ C					
Тривалість індукційного періоду, $t_i$ , хв	2,3	5,1	2,5	2,3	2,5
Час дисоціації прискорювача, $t_{dis}$ , хв	3,5	6,0	3,5	3,0	3,5
Умовна константа швидкості, $k_2$ , хв $^{-1}$	0,56	0,68	0,48	0,31	0,65
результуючі параметри					
Температурний коефіцієнт, $K_{10}$ ( $k_{2,165}/k_{2,155}$ )	2,66	1,66	2,09	2,07	2,10
Ефективна енергія активації, $E$ , кДж/моль	156,64	79,63	111,99	113,16	115,41

нічного активатора (табл. 3). Отже, якісний ізо-термічний процес сірчаної вулканізації полідієну з амідами жирних кислот як органічними активаторами може відбуватися у нижчому діапазоні температур, ніж досліджено в роботі.

Поступове заміщення атомів водню на вуглеводневі радикали біля атома азоту у складі амідів жирних кислот у ряду олеамід>МЕАЖК>ДЕАЖК супроводжується підвищенням щільності поперечних зв'язків гум, що продемонстровано показником відносний ступінь зшивання (табл. 4). Зміна даного показника корелює з пружньо-міцнісними характеристиками гум: умовне напруження при 300% подовженні та умовна міцність при розтягуванні, які змінюються за ідентичною залежністю. У протилежному напрямку даної залежності відбувається зміна показника відновне подовження при розриві.

Порівняльний аналіз коефіцієнтів посилення (розрахованих за значеннями умовної міцності при розтягуванні наповнених та ненаповнених досліджуваних гум) показав, що аміді жирних кислот соняшникової олії мають посилюючий ефект, зокрема при введенні ДЕАЖК відбуваєть-

ся підвищення коефіцієнта посилення в 1,6 рази порівняно з гумою без добавок та в 1,8 рази порівняно з гумою зі стеариновою кислотою; введення олеаміду підвищує коефіцієнт посилення в 1,4 та 1,6 рази, відповідно (рис. 4).

Враховуючи значний вплив амідів жирних кислот соняшникової олії на щільність вулканізаційних зшивок, на рівень фізико-механічних властивостей наповнених гум на основі нестереорегулярного за будовою синтетичного бутадієн- $\alpha$ -метилстирольного каучуку цікавим було оцінити їх вплив на формування динамічних характеристик вулканізатів.

За стандартом ASTM D 6601 методом реометрії здійснено випробування зразків досліджуваних наповнених гум на плато вулканізації з визначенням модуля пружності при зсуві  $G'$  при деформації в межах від 1% до 100% та різниці модуля пружності при малих амплітудах деформації (1%) і модуля пружності при великих амплітудах деформації (100%) – комплексного динамічного модуля Delta Strain, який кількісно характеризує ефект Пейна [6,13]. Випробування здійснювали протягом 5 хв за температури 60°C і

Таблиця 4

Деякі реометричні та фізико-механічні характеристики наповнених еластомерних композицій за наявності амідів жирних кислот соняшникової олії у складі вулканізувальної системи

Показник	Тип добавки				
	Стеаринова кислота	Без добавки	Олеамід	МЕАЖК	ДЕАЖК
Відносний ступінь зшивання, $S'_{\max} - S'_{\min}$ , дН·м	60,1	59,1	52,1	61,2	62,6
Умовне напруження при подовженні 300%, $f_{300}$ , МПа	11,5	10,5	10,4	11,2	12,1
Умовна міцність при розтягуванні, $f_p$ , МПа	26,7	25,8	23,8	25,8	27,2
Відносне подовження при розриві, $\epsilon$ , %	540	560	600	570	530

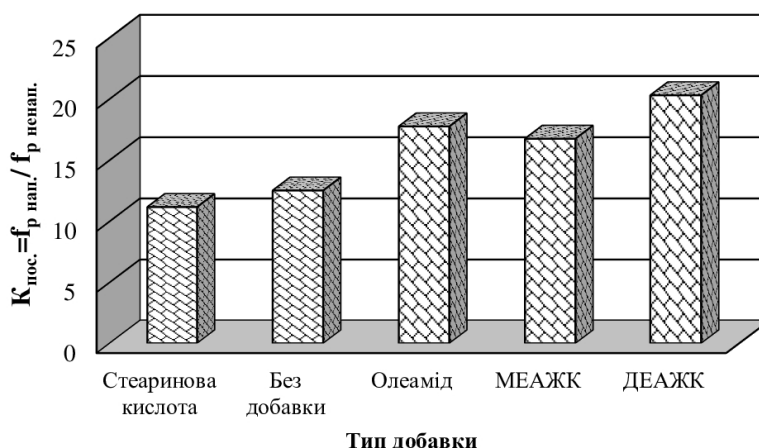


Рис. 4. Залежність коефіцієнту посилення ( $K_{\text{пос.}}$ ) за показником умовна міцність при розтягуванні ( $f_p$ ) гум від типу досліджуваних добавок

частоти 1 Гц. Із наведених в табл. 5 даних видно, що досліджувані в роботі рецептурні фактори та умови випробувань (рівень деформації) впливають на рівень показників модуль пружності при зсуві  $G'$  та комплексний динамічний модуль Delta Strain. В цілому з підвищенням рівня деформації зразків наповнених вулканізаторів від 1 до 100% спостерігається зниження показника модуля пружності. Це викликано змінами в структурі гуми – пошкодженням і поновленням фізичних зв'язків, що поєднують групи наповнювача «наповнювач-наповнювач», та просторової сітки з часток наповнювача. Комплексний динамічний модуль Delta Strain ( $G'_1 - G'_{100}$ ) залежить від типу та вмісту наповнювача. Чим вище ступінь наповнення еластомерної композиції і чим активнішим є наповнювач, тим більше проявляється ефект Пейна. Чим нижче значення комплексного динамічного модуля, тим більш ефективно розподілено наповнювач в об'ємі еластомерної композиції [6,13].

Враховуючи факт того, що у складі усіх гум знаходиться рівномасове дозування технічного вуглецю марки N 330 (40,0 мас.ч.) і досліджуваних добавок (1,5 мас.ч.), отримуємо наступний ряд їх позитивного впливу на розподіл наповнювача: олеамід > стеаринова кислота  $\geq$  МЕАЖК > ДЕАЖК. Так, для еластомерної композиції з ДЕАЖК кількісний показник ефект Пейна склав 299,84 кПа, а еластомерної композиції з олеамідом 264,90 кПа. Можна припустити, що встановлений факт може бути наслідком більш високої посилюючої дії наповнювача за наявності ДЕАЖК в гумі (рис. 4) відносно олеаміду, що володіє кращою пластифікуючою і диспергуючою дією в еластомерній композиції (табл. 2).

Комплексною характеристикою, яка визначає гістерезисні втрати в об'ємі еластомерної матриці, є тангенс кута механічних втрат, який дозволяє найбільш повно охарактеризувати властивості гум в умовах багаторазових циклічних деформацій [11,13]. Згідно зі стандартом ISO 13145 визначено наступні динамічні властивості гум на реометрі: модуль пружності при зсуві ( $G'$ ), модуль втрат при зсуві ( $G''$ ) та тангенс кута механічних втрат TanDelta ( $G''/G'$ ) (табл. 6). Тангенс кута механічних втрат TanDelta і його складові  $G'$ ,  $G''$  визначались при деформації зразка гуми на 150% за температури 100°C і частоти 1,67 Гц. Встановлено, що для гум з амідами жирних кислот, в порівнянні з вулканізатами за наявності стеаринової кислоти, характерним є підвищення рівня показників  $G'$  і  $G''$  (табл. 6). Ця залежність корелює із впливом амідів жирних кислот на рівень показників ступінь зшивання (табл. 4), комплексний динамічний модуль (табл. 5). Максимальні значення параметрів  $G'$  і  $G''$  притаманні гумі з ДЕАЖК, які на 11–14% вищі, ніж відповідні характеристики гум зі стеариновою кислотою. З даних таблиці 6 також слідує, що досліджувані органічні добавки знижують рівень параметрів  $G'$  і  $G''$  відносно гуми без добавки. Вірогідно, це пов'язано з їх пластифікуючою дією в вулканізатах. Оскільки показник тангенс кута механічних втрат TanDelta характеризує долю енергії, що розсіюється зразком і чим вище його значення, тим більше розігрівається гума при динамічному навантаженні, то його значення (табл. 6) свідчать про певне зменшення теплоутворення при використанні у складі гум на основі СКМС-30 АРК амідів жирних кислот взагалі і, зокрема, ДЕАЖК.

Таблиця 5

Динамічні характеристики наповнених гум за наявності у складі вулканізуювальної системи амідів жирних кислот

Деформація, %	Тип добавки				
	Стеаринова кислота	Без добавки	Олеамід	МЕАЖК	ДЕАЖК
Модуль пружності при зсуві $G'$ , кПа					
1	446,15	479,64	431,24	446,93	473,54
2	426,65	455,40	413,92	422,45	448,69
3	412,24	438,62	399,75	405,71	431,01
5	392,78	416,82	381,12	383,01	408,19
10	365,14	386,49	355,12	351,96	376,98
20	330,90	350,85	324,57	315,86	340,45
30	300,63	320,08	297,05	288,46	310,42
50	250,86	269,12	250,30	243,58	260,64
100	163,36	177,17	166,34	164,16	173,70
Комплексний динамічний модуль Delta Strain ( $G'_1 - G'_{100}$ ), кПа					
	282,78	302,46	264,90	282,77	299,84

Таблиця 6

Тангенс кута механічних втрат та інших динамічних параметрів наповнених гум за наявності у складі вулканізуювальної системи амідів жирних кислот

Тип добавки	Показник		
	G', кПа	G'', кПа	TanDelta
Стеаринова кислота	24,10	32,68	1,356
Без добавки	26,89	35,24	1,311
Олеамід	24,96	33,69	1,350
МЕАЖК	25,35	34,11	1,346
ДЕАЖК	27,59	36,14	1,310

### Висновки

Керуючись світовими тенденціями розвитку екологічно чистих рішень в галузі технології полімерів з використанням сировини поновлюваних джерел, одержано та сучасними інструментальними методами визначено характеристики наступних амідів жирних кислот соняшникової олії: моноетаноламід та діетаноламід жирних кислот соняшникової олії, амід олеїнової кислоти.

Визначення функціональної дії амідів жирних кислот у складі сірчаної вулканізуювальної системи в ненаповнених та наповнених еластомерних композиціях на основі синтетичного бутадієн- $\alpha$ -метилстирольного каучуку марки СКМС-30 АРК за їх дозування 1,5 мас.ч. на 100,0 мас.ч. каучукової основи методом реометрії показало, що досліджувані сполуки суттєво активують і поглиблюють ступінь сірчаної вулканізації, їх активність залежить від будови. Встановлено позитивний вплив амідів на коефіцієнт посилення гум за показником умовна міцність при розтягуванні, комплексний динамічний модуль і тангенс кута механічних втрат. Максимальну активність має сполука ДЕАЖК з третинним атомом азоту, яка може розглядатися у якості перспективної багатоцільової добавки еластомерних композицій.

Результати досліджень є одним з компонентів робіт з розробки вітчизняних технологій одержання інгредієнтів еластомерних композицій на основі поновлюваної сировини рослинного походження, екологізації виробництва соняшникової олії.

### Подяка

Автори роботи виказують щирю подяку співробітникам рецептурно-технологічного відділу ТОВ «РОСАВА ТАЙЕРС» (м. Біла Церква, Україна) за допомогу в здійсненні експериментальних досліджень.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Mohamed N.R., Othman N., Shuid R.K., Hayemasae N.* Perspective on oportunities of bio-based processing oil to rubber industry: a short review // *Iranian Polym. J.* – 2023. – Vol.32. – P.1455-1475.
2. *Application of different vegetable oils as processing aids in industrial rubber composites: a sustainable approach / Roy K., Poompiev N., Pongwisuthiruchte A., Potiyaraj P.* // *ACS Omega.* – 2021. – Vol.6. – P.31384-31389.
3. *EPDM rubber plasticized with polymeric soybean oil of different molecular weights / Petrovic Z.S., Milic J., Ionescu M., Halladay J.R.* // *Rubber Chem. Technol.* – 2017. – Vol.90. – P.667-682.
4. *Effect of selected vegetable oils on the properties of acrylonitrilebutadiene rubber vulcanizates / Khalaf A.I., Ward A.A., Abd El-Kader A.E., El-Sabbagh S.H.* // *Polimery.* – 2015. – Vol.60. – P.43-56.
5. *Оцінювання можливості використання регенованих відходів масложирової промисловості і складі еластомерних композицій / Соколова Л.О., Суха І.В., Панфілова О.А., Овчаров В.І., Тищенко В.О.* // *Питання хімії та хім. технол.* – 2023. – № 1. – С.89-99.
6. *Formation of elastomeric composition properties in the presence of bioingredient / Sokolova L., Daliba O., Sukha I., Skrypkina M., Ovcharov V.* // *Chem. Chem. Technol.* – 2023. – Vol.17. – No. 1. – P.88-100.
7. *Карнеева И.Э., Зорина А.В., Шихалиев Х.С.* Синтез амидов жирных кислот подсолнечного масла // *Вестн. ВГУ.* – 2013. – № 2. – С.39-41.
8. *Adewuyi A.* Synthesis and surface-active property of diethanolamide and epoxidised diethanolamide surfactant from the seed oil of *Vaphia nitida* // *Arab. J. Chem.* – 2019. – Vol.12. – P.1545-1551.
9. *Cheremisinoff N.P., Cheremisinoff P.N.* Elastomer technology handbook. – Boca Raton: CRC Press, 1993. – 1120 p.
10. *Bhowmick A.K.* Current topics in elastomers research. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – 1104 p.
11. *Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / Овчаров В.И., Бурмистр М.В., Смирнов А.Г., Тютин В.Н., Вербас В.В., Науменко А.П.* – М.: Изд. Дом «САНТ-ТМ», 2001. – 400 с.
12. *Setyorini I., Yuniari A.* Determination of vulcanization rate constant, crosslink density, and free sulfur content on carbon black filled EPDM // *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik.* – 2017. – Vol.33. – No. 2. – P.93-98.
13. *Domracheva N., Caporali M., Rentschler E.* Novel magnetic nanostructures. – Elsevier, 2018. – 474 p.

Надійшла до редакції 10.11.2023



**FATTY ACID AMIDES OF PLANT ORIGIN IN ELASTOMERIC COMPOSITIONS**

L.O. Sokolova\*, O.A. Panfilova, V.I. Ovcharov, O.V. Chervakov, I.V. Sukha

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

\* e-mail: sokolovalina18@gmail.com

One of the strategic directions of chemical technology eco-modernization is the use of renewable natural raw materials to create ingredients for elastomeric composites. The use of fatty acids amides of sunflower oil, such as monoethanolamide and diethanolamide of sunflower oil fatty acids, and oleic acid amide, has been proposed for the rubber industry; their main characteristics have been determined. The effectiveness of the action of fatty acid amides in sulfur vulcanization system has been studied in unfilled and filled elastomeric composites of a model type based on butadiene- $\alpha$ -methylstyrene rubber with the presence of the investigated substances at a dosage of 1.5 phr per 100.0 phr of the rubber base. Using the rheometry method, it has been shown that the investigated fatty acid amides significantly activate and deepen the degree of sulfur vulcanization, and their activity in the composition of accelerated sulfur vulcanization activators depends on the structure. Fatty acid diethanolamide with a tertiary nitrogen atom exhibited the maximum activity. A positive effect of fatty acid amides on the gain coefficient, complex dynamic modulus, and mechanical loss tangent of rubber has been established.

**Keywords:** elastomeric composition; bioingredient; sunflower oil; fatty acid amides; vulcanization.

**REFERENCES**

1. Mohamed NR, Othman N, Shuid RK, Hayeemasae N. Perspective on opportunities of bio-based processing oil to rubber industry: a short review. *Iran Polym J.* 2023; 32: 1455-1475. doi: 10.1007/s13726-023-01203-7.
2. Roy K, Poompiew N, Pongwisuthiruchte A, Potiyaraj P. Application of different vegetable oils as processing aids in industrial rubber composites: a sustainable approach. *ACS Omega.* 2021; 6: 31384-31389. doi: 10.1021/acsomega.1c04692.
3. Petrovic ZS, Milic J, Ionescu M, Halladay JR. EPDM rubber plasticized with polymeric soybean oil of different molecular weights. *Rubber Chem Technol.* 2017; 90: 667-682. doi: 10.5254/rct.18.82690.
4. Khalaf AI, Ward AA, Abd El-Kader AE, El-Sabbagh SH. Effect of selected vegetable oils on the properties of acrylonitrile-butadiene rubber vulcanizates. *Polimery.* 2015; 60: 43-56. doi: 10.14314/polimery.2015.043.
5. Sokolova LO, Sukha IV, Panfilova OA, Ovcharov VI, Tyshchenko VO. Evaluation of the possibility of using regenerating oil and fat industry waste in elastomeric compound. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2023; (1): 89-99. doi: 10.32434/0321-4095-2023-146-1-89-99.
6. Sokolova L, Daliba O, Sukha I, Skrypina M, Ovcharov V. Formation of elastomeric composition properties in the presence of bioingredient. *Chem Chem Technol.* 2023; 17(1): 88-100. doi: 10.23939/chcht17.01.088.
7. Karpeeva IE, Zorina AV, Shikhaliev KhS. Sintez amidov zhirnykh kislot podsolnechnogo masla [Synthesis of amide of fatty acids derived from sunflower oil]. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta.* 2013; 2: 39-41. (in Russian).
8. Adewuyi A. Synthesis and surface-active property of diethanolamide and epoxidised diethanolamide surfactant from the seed oil of *Baphia nitida*. *Arab J Chem.* 2019; 12: 1545-1551. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.10.021.
9. Cheremisinoff NP, Cheremisinoff PN. *Elastomer technology handbook* (1st ed.). Boca Raton: CRC Press; 1993. 1120 p. doi: 10.1201/9780138758851.
10. Bhowmick AK. *Current topics in elastomers research* (1st ed.). Boca Raton: CRC Press; 2008. 1104 p. doi: 10.1201/9781420007183.
11. Ovcharov VI, Burmistr MV, Tyutin VA, Verbas VV, Smirnov AG, Naumenko AP. *Svoistva rezinovykh smesey i rezin: otsenka, regulirovanie, stabilizatsiya* [Properties of rubber compounds and rubbers: assessment, regulation, stabilization]. Moscow: Izd Dom «SANT-TM»; 2001. 400 p. (in Russian).
12. Setyorini I, Yuniari A. Determination of vulcanization rate constant, crosslink density, and free sulfur content on carbon black filled EPDM. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik.* 2017; 33(2): 93-98. doi: 10.20543/mkqp.v33i2.3345.
13. Domracheva N, Caporali M, Rentschler E. *Novel magnetic nanostructures*. Elsevier; 2018. 474 p. doi: 10.1016/C2016-0-05419-0.