

## ПРОЦЕС СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСІУРЕТАНОВОГО КАУЧУКУ ПІД ДІЄЮ ДИГІДРАЗОНУ ДІАЦЕТИЛФЕРОЦЕНА

Т.Ю. Смольникова, О.Ю. Нестерова, В.Д. Гулик  
*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

Досліджено процес структурування олігомерного епоксіуретанового каучуку з кінцевими епоксидними групами під дією дигідрозону 1,1' діацетилфероцену в умовах довготривалого нагріву, який відбувається з утворенням гумоподібного еластичного полімеру, що має структуру рідкозшитої сітки. Будову синтезованого дигідрозону 1,1' діацетилфероцену доведено за даними ЯМР<sup>1</sup>H-га хроматомас-спектроскопії.

**Ключові слова:** фероцен, діацетилфероцен, дигідрозондіацетилфероцену, структурування каучуку.

Исследован процесс структурирования олигомерного эпоксиуретанового каучука с концевыми епоксидными группами под действием дигидразона 1,1' диацетилфероцена в условиях длительного нагрева, который протекает с образованием резиноподобного эластичного полимера со структурой редкосшитой сетки. Строение синтезированного дигидразона 1,1' диацетилфероцена доказано на основании данных ЯМР<sup>1</sup>H- и хроматомасс-спектроскопии.

**Ключевые слова:** фероцен, диацетилфероцен, дигидразон диацетилфероцена, структурирование каучука.

The process of structuring of oligomeric epoxyurethane rubber with terminal epoxy groups under the action of dihydrazone 1,1'-diacetylferrocene under conditions of prolonged heating, which proceeds with the formation of a rubber-like elastic polymer with a structure of a rare-mesh network, was carried out. The structure of the synthesized dihydrazone 1,1'-diacetylferrocene was proved on the data of NMR<sup>1</sup>H- and chromatomass-spectroscopy.

**Keywords:** ferrocene, diacetylferrocene, dihydrazone diacetylferrocene, rubber structuring.

**Вступ.** Сумішеве тверде ракетне паливо (СТРП) найбільш широко використовується в сучасних твердопаливних двигунах великої потужності і найчастіше представляє собою суміш перхлорату амонію з алюмінієм і функціональними низькомолекулярними каучуками у якості паливно-зв'язувального. Незважаючи на низький вміст полімерного зв'язувального в СТРП, воно визначає спосіб отримання і режими переробки паливної маси, фізико-механічні, енергетичні та інші властивості [1].

Останнім часом енергетичні характеристики палива дослідники намагаються посилити за рахунок створення полімерних систем, що містять N-N зв'язок, що пов'язано з високими значеннями теплоти утворення зв'язків N-N та C-N. У той же час зменшення вмісту вуглецю і водню в полімерній матриці призводить до збільшення щільності композиції, поліпшенню кисневого балансу і збільшення виходу газоподібних продуктів [2]. Найчастіше такі енергетично активні полімери містять азидні, нітроамінні, гідразонні угруповання, які

зумовлюють високу (в ряді випадків позитивну) ентальпію утворення, що дозволяє створювати на основі таких систем високощільні сумішеві ракетні палива з високим одиничним імпульсом [3]. З цією метою порівняно недавно запропоновано використовувати для затвердіння полімерної матриці паливно-зв'язувального СТРП дігліциділамін епоксидні смоли на основі біс-гідразонів [4], введення яких дозволяє збільшити енергетичні характеристики полімерної матриці, а також підвищити швидкість горіння паливного заряду.

Структурування епоксіуретанових каучуків на основі олігомерного полібутадієну з кінцевими гідроксильними групами (НТРВ - англ. hydroxyl-terminated polybutadiene) можливе за рахунок використання біс-гідразонів, аналогічно [5], що призводить до отримання полімерної матриці з N-N зв'язками. Потрібно відзначити, що активність гідразонів при розкритті кінцевих епоксидних груп в епоксіуретанових каучуках набагато менша, ніж амінів. Структурування

гідразонами протікає тільки при підвищених температурах. Це дозволяє отримувати однорідну композицію при змішуванні полімеру паливно-зв'язуючого з дигідразонним отверджувачем при температурі + 50 - + 60<sup>0</sup>С з наступним нагріванням до + 80 - + 90<sup>0</sup>С для поступового затвердіння полімерної матриці. Таким чином, використання біс-гідразонів дозволяє зробити процес структурування каучуків з кінцевими епоксидними групами більш селективним та підвищити енергетичні характеристики полімерної матриці за рахунок утворення N-N зв'язків.

Використання СТРП для стартового прискорювача багатоступінчастої ракети передбачає досить високі значення швидкості горіння даного палива, досягнення яких можливо за рахунок додавання регуляторів швидкості горіння (РШГ), таких як похідні фероцену. В якості штатних регуляторів швидкості горіння СТРП найбільш широко використовувалися алкіл похідні фероцену, такі як 1,1'-діетилфероцен, н-бутилфероцен, катоцен. Однак, їх тенденція до міграції і чутливість до окиснення обмежують можливість їх використання. Для отримання більш високих швидкостей горіння СТРП потрібно застосування підвищених концентрацій каталізатора, що у разі алкілфероценів важко реалізувати через їх високу летючість. Для забезпечення стабільності властивостей палива в процесі зберігання і експлуатації, утримання рідких фероценових сполук у складі СТРП, як правило, не перевищує 1%, тим самим обмежується можливість підвищення швидкості горіння паливних композицій. Спроби запобігти дифузії похідних фероцену на поверхню палива реалізовувалися через збільшення кількості фероценових фрагментів в молекулі, збільшення розмірів молекул, що містять

фероцен, проте це не привело до позитивних результатів. Інші спроби запобігти дифузії на поверхню палива похідних фероцена пов'язані з використанням сополімерів, що містять фероценовий фрагмент разом з іншими функціональними групами. Дані сополімери можна використовувати як отверджувальний агент для вуглеводневого зв'язувального. Однак, тут виникає проблема синтетичної складності їх отримання і досить високої ціни, що призводить до подорожчання каталізатора.

Одним з найбільш ефективних способів зменшення летючості рідких похідних фероцену є приєднання їх до пального – зв'язувального, наприклад, до низькомолекулярного рідкого каучуку. У випадку використання в якості паливно-зв'язувального компонента СТРП олігомерних епоксіуретанових каучуків можливе застосування дигідразону 1,1'-діацетилфероцена у якості структуруючого агента, що дозволить провести як структурування каучуків з утворенням полімерної сітки, так і закріплення фероценільного фрагменту у полімерній матриці для запобігання міграційних процесів.

**Метою** даної роботи є дослідження можливості використання дигідразону 1,1'-діацетилфероцена у якості структуроутворювача епоксіуретанового каучуку, що дозволить виконувати функцію отверджувача пального – зв'язувального у складі СТРП, і також унеможливити міграцію похідних фероцену.

**Експериментальна частина.** Мас-спектри та хроматограми отримано на хроматомас-спектрометрі GCMS Hewlett Packard Series II 5890/5972, колона Agilent HP5MS 25m ,0.2mm, 0.33 $\mu$ m, проба розчинена в метанолі (C=1мг/мл); спектри ЯМР <sup>1</sup>H одержано на приладі Varian VXR 300, стандарт ТМС.

Синтез 1,1' – діацетилфероцену (ДАФ) проводили за методикою, що наведена у [6].

Епоксіуретановий каучук РКРВ-Е отриманий з олігомерного каучуку НТРВ, ізофорондіізоціанату та гліцидолу має наступні характеристики (табл. 1)

Таблиця 1

Характеристики олігомерного каучуку РКРВ-Е		
Показник	Зразок	Норма
В'язкість при температурі 50°C (Па·с)	27,7	30-50
Масова доля епоксидних груп (%)	1,8	1,7-2,1
Масова доля ізоціанатних груп (%)	Відсутня	Допускають сліди
Втрата маси при сушці (%)	0,2	До 0,5

**Синтез дигідрозону 1,1'-діацетилфероцена.** В кругло донну колбу поміщають 40 мл гідрзингідрату (60%), додають 20 мл етанолу та пропускають інертний газ (аргон або нітроген). Суміш нагрівають в установці зі зворотнім холодильником у атмосфері інертного газу. Окремо розчиняють 2,5 г (270 г/моль) ДАФ у 28 мл етанолу до повного розчинення ДАФ з утворенням темно-червоного розчину. До киплячого розчину гідрзингідрату в етанолі додають поступово розчинений у спирті ДАФ. Нагрівання триває 1,5 - 2 год., реакційну суміш залишають на 24 години при кімнатній температурі для кристалізації дигідрозону 1,1'-діацетилфероцена (ДГДАФ). Отримують яскраво-червоні кристали голчатої форми. Вихід 1,05 г (42%).  $t_{пл} = 180-184^{\circ}\text{C}$  (етанол),  $t_{пл.} 184-185^{\circ}\text{C}$  за [7].

**Отвердіння олігомерного каучуку РКРВ-Е під дією ДГДАФ.** Наважку каучуку масою 3,4 г нагрівають до 50°C, ретельно змішують 0,22 г (0,7ммоль) ДГДАФ з 0,28 г діоктилсебацінату (ДОС) та додають до наважки каучуку. Отриману суміш ретельно перемішують, виливають у поліетиленову форму та ставлять у

термошафу, нагріту до 80°C. Витримують 10 -11 годин. Отримують темну тягучу плівку структурованого під дією ДГДАФ каучуку РКРВ-Е (**Зразок I**), яка легко відстає від форми.

**Отвердіння епоксидної смоли ЕД-20 під дією ДГДАФ.** До 1,6 г смоли ЕД-20 додають 0,5 г (0,0017 моль) ДГДАФ, ретельно змішують у поліетиленовій формі та поміщають у термошафу. Після витримки протягом 10-12 годин при температурі 80°C отримують темну, крихку й тверду речовину (**Зразок II**).

**Дослідження процесу набухання структурованого каучуку РКРВ-Е (Зразок I).** Зважують 4 наважки еластичної плівки (Зразок I): дві – приблизно по 0,1 г, інші – приблизно по 0,2 г. Кожну поміщують у пробірку та доливають до двох пробірок бензен, а до двох інших – толуен (до наважок меншої маси додають по 2 мл розчинника, до наважок більшої маси по 4 мл). Розчинник повинен покрити наважку. Через 30 хвилин з моменту доливання розчинника, наважку акуратно дістають з пробірки, промокають розчинник фільтрувальним папером, зважують. Аналогічну процедуру проводять через певний проміжок часу. За

наведеними нижче формулами розраховують приріст маси ( $\Delta m$ ) та ступінь

набухання ( $\alpha$ ) для кожної наважки. Дані приведені у таблицях 2,3.

$$\Delta m_n = m_0 - m_n$$

$$\alpha = \frac{\Delta m_n}{m_0} \cdot 100\%$$

Таблиця 2

Приріст маси плівки (Зразок I) від часу набухання

Розчинник		$m_0$ (г)	$\Delta m_1$ (г) 30 хв.	$\Delta m_2$ (г) 1 год.	$\Delta m_3$ (г) 1,5 год.	$\Delta m_4$ (г) 2,1 год.
1	Бензол (4мл)	0.198	0,715	1,011	1,037	1,217
2	Бензол (2мл)	0.120	0,520	0,566	0,563	0,508
3	Толуол (4 мл)	0.192	0,355	1,058	0,951	0,752
4	Толуол (2 мл)	0.102	0,394	0,456	0,451	0,432

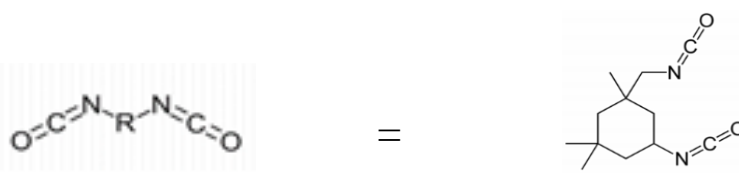
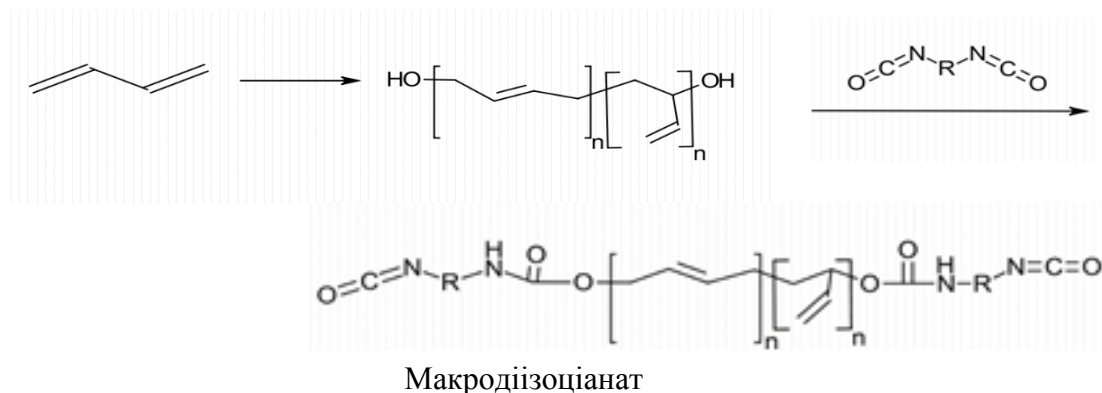
Таблиця 3

Ступінь набухання плівки (Зразок I)

Розчинник		$\alpha_1$ (%) 30 хв.	$\alpha_2$ (%) 1 год.	$\alpha_3$ (%) 1,5 год.	$\alpha_4$ (%) 2,1 год.
1	Бензол (4мл)	361,1	510,6	523,7	614,65
2	Бензол (2мл)	433,3	471,7	469,2	423,3
3	Толуол (4 мл)	497,4	551	495,3	391,7
4	Толуол (2 мл)	386,3	447,1	442,2	427

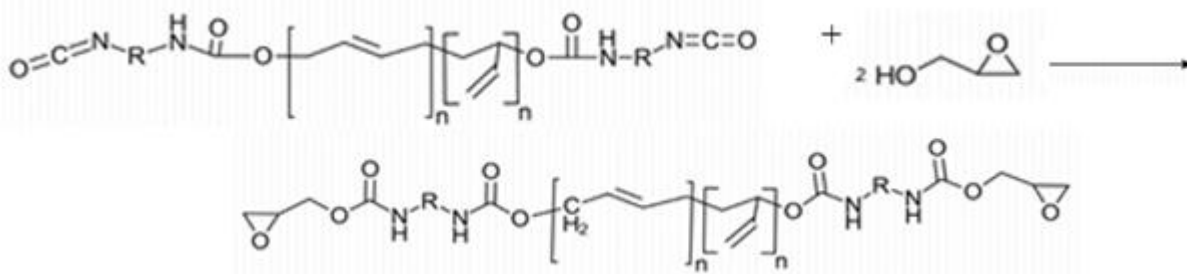
**Обговорення результатів.** Відомо, що СТРП з перхлоратом амонію та поліуретановим паливно-зв'язувальним на основі каучуку НТРВ мають високі енергетичні характеристики [8], насамперед, імпульс тяги [4]. Каучук НТРВ є тільки пре - полімером, що був спеціально розроблений для використання у СТРП, який з відповідними діізоціанатами, наприклад, ізофорондіізоціанатом утворює макродіізоціанат вже з кінцевими ізоціанатними групами. Реакція перебігає згідно схеми 1.

Схема 1



Остаточні полімерні палки - зв'язувальні отримують реакцією макродіізоціанату з гліцидом за схемою 2, з утворенням олігомерного каучуку з кінцевими епоксидними групами.

Схема 2

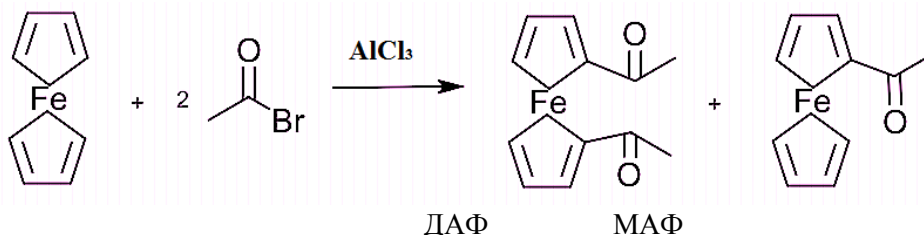


Таким чином проходить синтез олігомерного полібутадієнового каучуку з кінцевими епоксидними групами, наприклад, каучуку марки РКРВ-Е, який містить 1,8% кінцевих епоксидних груп, що відповідає  $M_n \sim 4000-4500$  (г/моль).

Нами запропоновано у якості отверджувача олігомерного каучуку марки РКРВ-Е використовувати дигідрозид 1,1'-діацетилфероцену (ДГДАФ), який має реагувати з епоксидними групами олігомерного каучуку і таким чином зв'язуватися з полімерною матрицею, що, з одного боку, не дасть можливість мігрувати похідному фероцену з паливної маси СТРП, з другого боку, буде зшивати каучук. В той же час ДГДАФ може виконувати дії каталізатора горіння для даного СТРП.

Синтез ДГДАФ починається з отримання 1,1'-діацетилфероцену (ДАФ) ацетилюванням фероцену за реакцією Фріделя-Крафтса з подвійним надлишком ацетилброміду у присутності каталізатора  $AlCl_3$  [6]. Реакція відбувається за схемою 3.

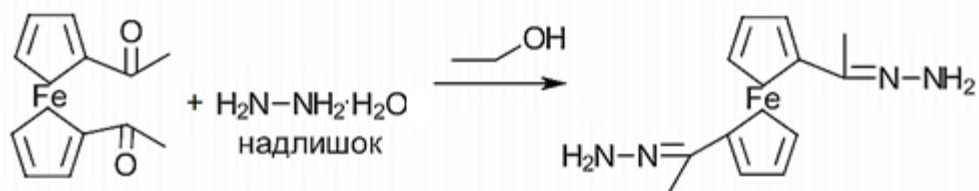
Схема 3



В ході реакції утворюється в якості основного продукту ДАФ з домішкою моноацетилфероцену (МАФ) від якого звільняються через перекристалізацію продукту з суміші ацетон:вода 1:3.

Отримання ДГДАФ відбувається при недовгому нагріванні ДАФ з 60% - ним гідратом у середовищі етанолу в атмосфері інертного газу. Реакція проходить за схемою 4.

Схема 4



Отриманий ДГДАФ має голчасту кристалічну будову, кристали темно-червоного кольору.

Структура отриманого ДГДАФ доказана за результатом збігу температури плавлення отриманої сполуки з літературними даними, а також за даними ЯМР<sup>1</sup>H - спектрометрії та хроматомасс-спектрометрії. В ПМР – спектрі (рис. 1) присутні сигнали протонів двох метильних груп з хімічним зсувом  $\delta = 1.844$  м.д. (с.6H), протонів двох заміщених циклопентадієнільних фрагментів -  $\delta = 4.156$  (с.4H),  $\delta = 4.392$  (с.4H) та уширений сигнал протонів NH<sub>2</sub> – групи  $\delta = 5.851$  (уш.с.3H).

За допомогою даних хроматомасс -спектру підтверджена молекулярна маса продукту  $m/z$   $M^+=299,2$ , що відповідає протонваному молекулярному іону  $m/z$   $M^+-1$  ДГДАФ -298,2.

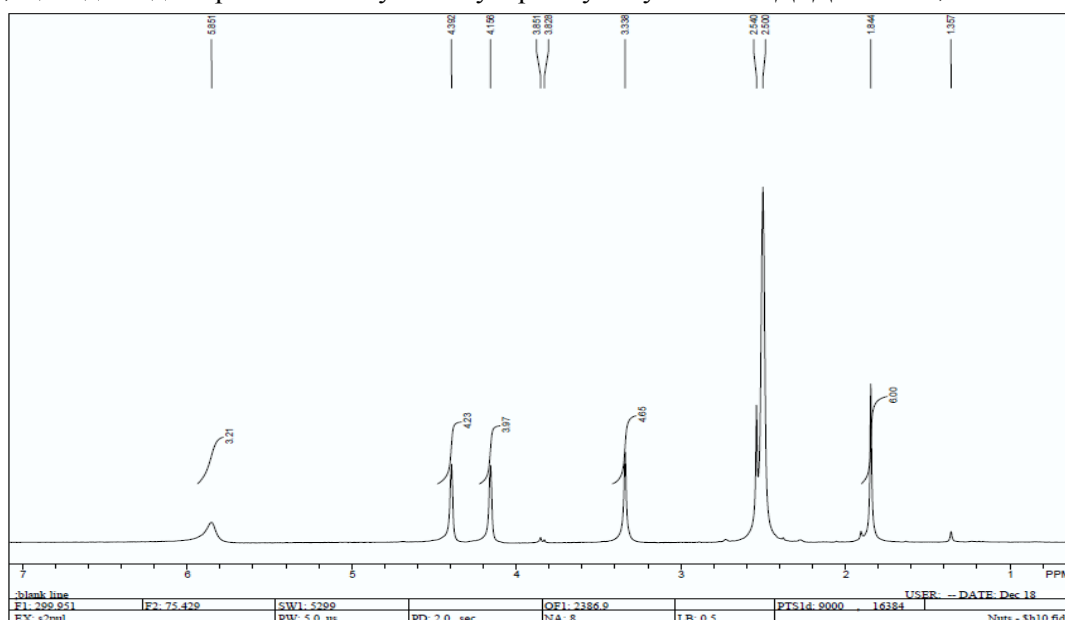
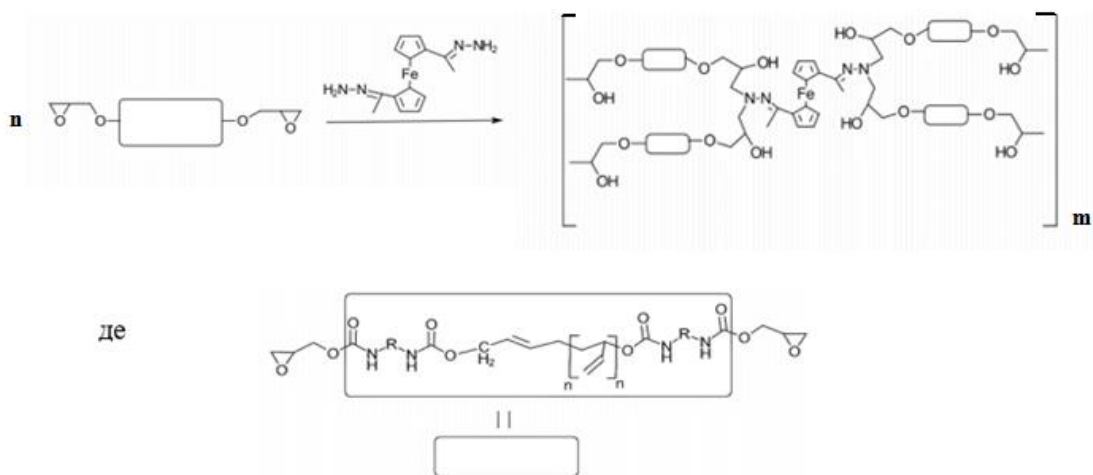


Рис.1. ЯМР<sup>1</sup>H-спектр ДГДАФ (стандарт ТМС, розчинник ДМСО-D<sub>6</sub> + CDCl<sub>3</sub>)

Відомо, що полімери з кінцевими епоксидними групами зшиваються гідрозонами органічних кетонів та альдегідів з утворенням сітчастої структури [5]. Реакція відбувається шляхом розкриття епоксидних груп гідрозонним фрагментом. Отриманий ДГДАФ був використаний

нами для дослідження процесу отвердіння олігомерного каучуку РКРВ-Е. Оскільки ДГДАФ кристалічна речовина для його розчинення використовували пластифікатор діоктилсебацінат (ДОС) у мінімальній кількості. Реакція отвердіння відбувалася за схемою 5.

Схема 5



Отвердіння рідкого каучуку проходило в умовах довготривалого нагріву при температурі 80<sup>0</sup>С. В результаті був отриманий темно-червоний гумоподібний еластичний матеріал (див. фото на рис.2). Треба відмітити, що твердіння олігомерного каучуку РКРВ-Е без ДГДАФ у тих самих умовах витримки при нагріванні не відбувається. Модельна реакція твердіння епоксидної смоли ЕД-20 під дією ДГДАФ відбувається також при довготривалому нагріві з утворенням твердого крихкого матеріалу.



Рис.2 -Зовнішній вигляд полімерної плівки (Зразок І)

Дослідження фізичних властивостей гумоподібної еластичної плівки (Зразок1), зокрема її поведінка у різних розчинниках показало, що даний полімер зовсім не набухає у воді, слабо набухає у етанолі, диметилформаміді, не розкладається водним розчином лугу, проте сильно набухає у хлороформі та оцтовій кислоті.

Процес набухання зразка І у різних кількостях бензену та толуену (рис.3) свідчить про те, що еластична плівка має структуру рідкозшитої сітки. Графіки залежності процесу набухання від часу показують, що найбільш інтенсивною фазою набухання є перша година, потім встановлюється відносна рівновага.

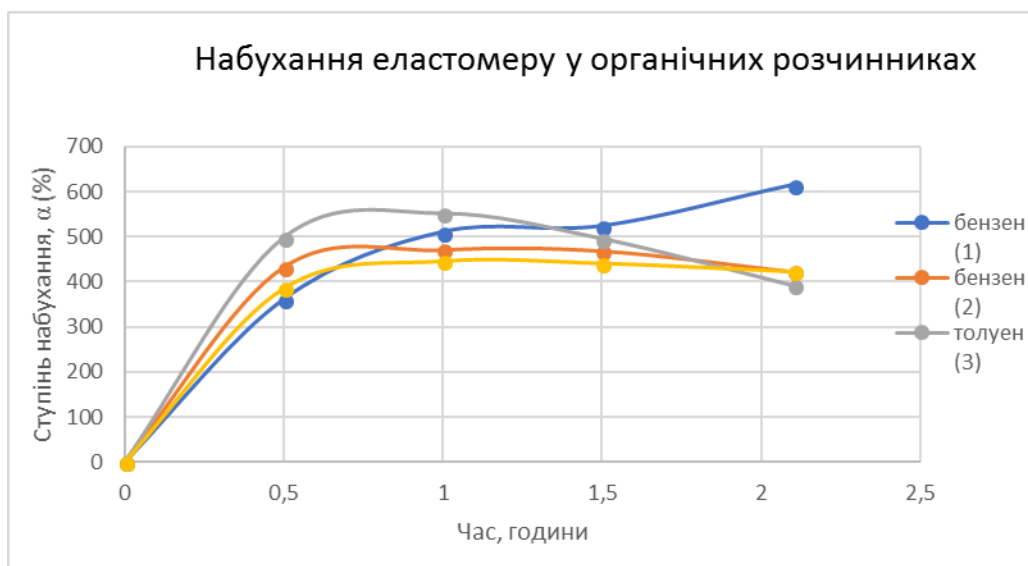


Рис. 3. Графіки залежності процесу набухання зразка I від часу

### Висновки.

Таким чином, знайдено, що процес структурування олігомерного епоксіуретанового каучуку з кінцевими епоксидними групами відбувається під дією ДГДАФ в умовах довготривалого нагріву з утворенням гумоподібного еластичного полімеру, який має структуру рідкозшитої сітки. Цей факт свідчить про те, що в умовах полімеризації заряду СТРП, який містить у якості пального-зв'язувального олігомерний епоксіуретановий каучук, може бути використаний ДГДАФ як зшиваючий агент. Закріплення таким чином фероценільного фрагменту у полімерній матриці приведе до запобігання міграційних процесів, підвищенню енергетичних характеристик палива за рахунок утворення N-N зв'язків та інтенсифікації процесу газотворення при горінні СТРП.

### Перелік використаної літератури

1. Паушкин Я.М. Жидкие и твердые химические ракетные топлива – М.: Наука, 1978. — 192 с.
2. Talawar M. B. Environmentally compatible next generation green energetic materials (GEMs) / M.B. Talawar et al //

Journal of Hazardous Materials. – 2009. – V. 161. – P. 589–607.

3. Лотменцев Ю.М. Синтетические эластомеры – компоненты энергетических материалов/ Ю.М. Лотменцев, Д.В.Плешаков//учебное пособие РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2007.- С.5-8.

4. Jain S.R. Solid Propellant Binders/ S.R. Jain // J.Scientific & Industrial Research, 2002.-V.61.-pp. 899-911.

5. Pat. CN 103483554 A (China), C08 G59/4014. Degradable hydrazone epoxy resin curing agent and application thereof. Заявлено 24.09.2013. Опубл.01.01.2014.

6. Перевалова Э.Г. Железоорганические соединения. Ферроцен / Э.Г. Перевалова, М.Д. Решетова, К.И. Грандберг. – М.: Наука, 1983. – С. 41 -54.

7. Jian Zhang. Synthesis, Characterization and Antioxidant Activity of Ferrocenylhydrazones/ Jian Zhang and Ruidong Liu// J.Chem.Soc.Pak.,2011.-Vol. 33, No. 3, pp. 356-359.

8. Grishchenko V. Chapter 4. Polymeric Materials on the Base of Oligomers with Terminal Functional Groups/ V. Grishchenko, A. Barantsova, V. Boiko, N. Busko// Advances in progressive thermoplastic and thermosetting polymers, perspectives and



applications. Edition TECHNOPRESS, 2012.-

pp. 87-143.

## РЕЗЮМЕ

Смольнікова Тетяна Юріївна, [tanushalarinal@gmail.com](mailto:tanushalarinal@gmail.com), студентка кафедри хімії та хімічної технології високомолекулярних сполук Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Нестерова Олена Юріївна, [kafedra.vms@gmail.com](mailto:kafedra.vms@gmail.com), доцент кафедри хімії та хімічної технології високомолекулярних сполук Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Гулик Владислава Дмитрівна, [dima7132@yandex.ru](mailto:dima7132@yandex.ru), студентка кафедри хімії та хімічної технології високомолекулярних сполук Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Т.Ю. Смольнікова, О.Ю. Нестерова, В.Д. Гулик. Процес структурування епоксіуретанового каучуку під дією дигідрозону діацетилфероцена.**

Досліджено процес структурування олігомерного епоксіуретанового каучуку з кінцевими епоксидними групами під дією дигідрозону 1,1' діацетилфероцену в умовах довготривалого нагріву, який відбувається з утворенням гумоподібного еластичного полімеру, що має структуру рідкозшитого сітки. Будову синтезованого дигідрозону 1,1' діацетилфероцену доведено за даними ЯМР<sup>1</sup>H-та хроматомас-спектроскопії.

*Ключові слова:* фероцен, діацетилфероцен, дигідрозондіацетилфероцену, структурування каучуку.

**Т.Ю. Смольнікова, Е.Ю. Нестерова, В.Д. Гулик. Процесс структурирования эпоксиуретанового каучука под действием дигидразона диацетилфероцена**

Исследован процесс структурирования олигомерного эпоксиуретанового каучука с концевыми епоксидными группами под действием дигидразона 1,1' диацетилфероцена в условиях длительного нагрева, который протекает с образованием резиноподобного эластичного полимера со структурой редкосшитой сетки. Строение синтезированного дигидразона 1,1' диацетилфероцена доказано на основании данных ЯМР<sup>1</sup>H- и хроматомас-спектроскопии.

*Ключевые слова:* ферроцен, диацетилфероцен, дигидразон диацетилфероцена, структурирование каучука.

**Smolnikova Tatyana, Nesterova Olena, Gulik Vladislava. The process of structuring epoxyurethane rubber under the action of dihydrazone diacetylferrocene.**

The process of structuring of oligomeric epoxyurethane rubber with terminal epoxy groups under the action of dihydrazone 1,1'-diacetylferrocene under conditions of prolonged heating, which proceeds with the formation of a rubber-like elastic polymer with a structure of a rare-mesh network, was carried out. The structure of the synthesized dihydrazone 1,1'-diacetylferrocene was proved on the data of NMR<sup>1</sup>H- and chromatomass-spectroscopy.

*Keywords:* ferrocene, diacetylferrocene, dihydrazone diacetylferrocene, rubber structuring.

## РЕФЕРАТ

Стаття під заголовком «Процес структурування епоксіуретанового каучуку під дією дигідрозону діацетилфероцена» присвячена питанню використання біс-гідрозонів ферроценового ряду в якості отверджувачів або зшиваючих агентів для епоксіуретанових каучуків. Сутність проблеми полягає в міграції похідних ферроцену - регуляторів швидкості горіння сумішевого твердого ракетного палива на поверхню паливного заряду.

У вступі розглядаються способи підвищення енергетичних характеристик сумішевого твердого ракетного палива, а також проблеми з регулюванням швидкості горіння палива у зв'язку з міграційними процесами характерними для алкілфероценов - найбільш ефективних каталізаторів горіння твердих ракетних палив.

В експериментальній частині наведено метод отримання дигідрозону 1,1'-діацетилфероцену, характеристики епоксіуретанового каучуку і метод його структурування під дією дигідрозону 1,1'-діацетилфероцена.

У частині «Обговорення результатів» розглянуті стадії отримання макродіізоціаната на основі олігомерного полібутадієнового каучуку з кінцевими гідроксильними групами і ізофорондіізоціаната з

подальшим перетворенням його під дією гліцидола в епоксіуретановий каучук. Показано, що структурування отриманого каучуку під дією дигідразону 1,1'-діацетілфероцена протікає з розкриттям кінцевих епоксидних груп і отриманням сітчастої структури.

У статті наведено 3 таблиці, 3 рисунка, 5 схем реакцій, 8 бібліографічних посилань.

### РЕФЕРАТ

Стаття под заголовком «Процесс структурирования эпоксиуретанового каучука под действием дигидразона диацетилфероцена» посвящена вопросу использования бис-гидразонов ферроценового ряда в качестве отвердителей или сшивающих агентов для эпоксиуретановых каучуков. Сущность проблемы заключается в миграции производных ферроцена – регуляторов скорости горения смесового твердого ракетного топлива на поверхность топливного заряда.

Во введении рассматриваются способы повышения энергетических характеристик смесового твердого ракетного топлива, а также проблемы с регуляцией скорости горения топлива в связи с миграционными процессами характерными для алкилферроценов – наиболее эффективных катализаторов горения твердых ракетных топлив.

В экспериментальной части приведен метод получения дигидразона 1,1'-диацетилфероцена, характеристики эпоксиуретанового каучука и метод его отверждения под действием дигидразона 1,1'-диацетилфероцена.

В части «Обсуждение результатов» рассмотрены стадии получения макродиизоцианата на основе олигомерного полибутадиенового каучука с концевыми гидроксильными группами и изофорондиизоцианата с последующим превращением его под действием глицидола в эпоксиуретановый каучук. Показано, что структурирование полученного каучука под действием дигидразона 1,1'-диацетилфероцена протекает с раскрытием концевых эпоксидных групп и получением сетчатой структуры.

В статье приведены 3 таблицы, 3 рисунка, 5 схем реакций, 8 библиографических ссылок.

### ABSTRACT

The article under the heading "The process of structuring epoxyurethane rubber under the action of dihydrazone diacetylferrocene" is devoted to the use of bis-hydrazones of the ferrocene series as hardeners or crosslinking agents for epoxy-urethane rubbers. The essence of the problem lies in the migration of derivatives of ferrocene - regulators of the burning rate of the mixture solid rocket fuel to the surface of the fuel charge.

The introduction discusses ways to improve the energy characteristics of a mixture solid rocket fuel, as well as problems with the regulation of the burning rate of fuels in connection with migration processes characteristic of alkylferrocenes, the most effective catalysts for burning solid rocket fuels.

In the experimental part, a method is given for the preparation of 1,1'-diacetylferrocene dihydrazone, the characteristics of epoxyurethane rubber and the method for its solidification under the action of 1,1'-diacetylferrocene dihydrazone.

In the part "Discussion of the results", the stages of obtaining the macrodiisocyanate from oligomeric polybutadiene rubber with terminal hydroxyl groups and isophorone diisocyanate are discussed, followed by its conversion under the action of glycidol to epoxyurethane rubber. It is shown that the structuring of the resulting rubber under the action of 1,1'-diacetylferrocene dihydrazone proceeds with the opening of the terminal epoxy groups and the formation of a network structure.

The article lists 3 tables, 3 figures, 5 reaction schemes, 8 bibliographic references.