

УДК 629.76-66:665.944.77-047.37

doi: 10.32620/akt.2022.3.06

**В. В. МУРАТОВ¹, С. А. БОРИСЕНКО¹, М. Д. КОШОВИЙ²,
А. Ф. САНИН³, М. П. КРАВЧЕНКО¹**¹ ДП «НВО «ПХЗ», Павлоград, Україна² Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна³ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИРОВИНИ ДЛЯ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ПАЛИВА

При дослідженні фізико-хімічних властивостей низькомолекулярного полібутадієнового каучуку з функціональними гідроксильними групами (Hydroxyl Terminated Poly Butadien – НТРВ), що є сировиною для твердого ракетного палива (ТРП), було виготовлено дослідну партію каучуку та проведено 3 синтетики дослідних партій низькомолекулярного полібутадієнового каучуку з функціональними гідроксильними групами. Метою роботи є отримання НТРВ з фізико-хімічними характеристиками відповідними до вимог нормативної документації (НД). В ході роботи були визначені фізико-хімічні характеристики каучуку НТРВ на відповідність нормативній документації. Перевірено готовність обладнання до проведення синтезу каучуку НТРВ (збірник, дозатори, реактор, сепаратор, ротаційні випарники, ємність, запальник). Відпрацьовано послідовність виконання технологічних операцій з синтезу каучуку. За результатами дослідження встановлено відповідність фізико-хімічних показників отриманої сировини для ТРП до вимог НД та зроблено висновок про допущення у виробництво. Після перевірки працездатності основного та допоміжного технологічного обладнання зауважень не виявлено. Внаслідок підготовки технологічного обладнання до проведення синтезу каучуку НТРВ зауважень не виявлено. За результатами виконання операцій завантаження наважок в дозатори та збірник встановлено, що при зменшенні об'єму бутадієну в тарі, необхідно збільшувати тиск аргону для його завантаження у збірник. За результатами виконання операцій заповнення реактора підготовленими наважками сировини зауважень також не виявлено. Результати дослідження фізико-хімічних властивостей отриманої сировини для виготовлення ТРП показали практично повну відповідність вимогам НД, окрім показника втрати маси при сушці. Подальші дослідження направлені на модифікацію технології отримання низькомолекулярного полібутадієнового каучуку та дослідження фізико-хімічних властивостей сировини для твердого ракетного палива.

Ключові слова: тверде ракетне паливо; каучук; НТРВ; технічні умови; нормативна документація.

Номенклатура

НТРВ – низькомолекулярний полібутадієновий каучук з функціональними гідроксильними групами (Hydroxyl Terminated Poly Butadien);

ТРП – тверде ракетне паливо;

НД – нормативна документація.

Вступ

При дослідженні фізико-хімічних характеристик сировини для ТРП було виготовлено дослідну партію каучуку та проведено 3 синтетики дослідних партій низькомолекулярного полібутадієнового каучуку з функціональними гідроксильними групами.

Метою роботи є отримання низькомолекулярного полібутадієнового каучуку з функціональними гідроксильними групами з фізико-хімічними характеристиками, відповідними до вимог НД.

1. Постановка задачі

Основними задачами дослідження, проведеного в даній роботі, є:

1. Визначити фізико-хімічні характеристики сировини каучуку НТРВ, що є сировиною для виготовлення ТРП на відповідність НД.

2. Перевірити готовність обладнання до проведення синтезу каучуку НТРВ (збірник, дозатори, реактор, сепаратор, ротаційні випарники, ємність, запальник).

3. Відпрацювати послідовність виконання технологічних операцій з синтезу каучуку НТРВ.

4. Визначити відповідність фізико-хімічних характеристик синтезованого каучуку НТРВ вимогам НД.

2. Аналіз досліджень та публікацій

У ракетній техніці синтетичні каучуки використовуються в якості полімерної основи при виготов-

ленні ТРП, в якому вони відіграють роль пального, а в якості наповнювача використовується порошок селітри (калійної або аміачної) або перхлорату амонію, який в паливі відіграє роль окиснювача. Також каучук формує фізико-механічні характеристики ТРП, тобто від його якості залежать експлуатаційні властивості готового ТРП [1].

Відомі дослідження аналізу властивостей речовин, що містять каучук [2]. Проведено аналіз актуальних літературних іноземних джерел, що стосуються дослідження каучуків [3-7]. В даних публікаціях пропонується дослідження, модифікація, отримання та застосування каучуків для вирішення різноманітних задач. Але в цих працях не розглянуто отримання каучуку при виготовленні ТРП.

Слід зауважити, що після проведення аналізу господарської діяльності підприємств України за КВЕД 20.17 «Виготовлення синтетичного каучуку» було виявлено, що лише чотири підприємства ведуть таку діяльність, та жодне з них не надає сировину придатну для використання у ТРП [8]. Таким чином, дослідження у сфері отримання якісного синтетичного каучуку для використання у виготовленні ТРП є досить актуальною задачею.

3. Основні результати досліджень

Синтез каучуку НТРВ [9] проводили в умовах дослідно-промислової дільниці синтезу і модифікації каучуку та модифікації каталізаторів-пластифікаторів наступним чином:

1. Перед початком технологічного процесу синтезу каучуку НТРВ перевірили працездатність основного та допоміжного обладнання.

2. Перевірку працездатності та сушку реактора виконували з виходом на температурний режим 120 °С впродовж 2 годин, та наступним його охолодженням до температури 20 °С.

Після охолодження перевірили його на герметичність, для чого:

- почергово відкрили клапани ручні та ввімкнули вакуумний насос, який набрав вакуум (абсолютний тиск 20 кПа). Вимкнули вакуумний насос та перекрили клапан. Впродовж 5 хв падіння тиску не спостерігалось;

- після перевірки герметичності перекрили клапани ручні. Скинули вакуум через лінію стравлювання надлишкового мономера на «свічу», та перекрили клапани.

3. Перевірку працездатності збірника виконували з виходом на температурний режим 8...10 °С впродовж 2 годин. Після виходу на задану температуру, перевірили його на герметичність, для чого:

- почергово відкрили клапани ручні та ввімкнули вакуумний насос, який набрав вакуум (абсолют-

ний тиск 20 кПа). Вимкнули вакуумний насос та перекрили клапан. Впродовж 5 хв падіння тиску не спостерігалось;

- після перевірки герметичності перекрили клапани ручні. Скинули вакуум через лінію стравлювання надлишкового мономера на «свічу», після чого перекрили клапани.

Висновок: за результатами перевірки працездатності основного та допоміжного технологічного обладнання зауважень не виявлено.

4. З метою виключення наявності в системі та обладнанні утворення газоповітряної суміші, перед початком технологічного процесу синтезу каучуку було виконано почергову продувку аргоном: технологічної лінії подачі бутадієну 1,3; збірника; насоса; реактора [10].

Продувку збірника виконали у наступній послідовності:

- відкрили клапан ручний та налаштувати редукційний клапан на робочий тиск 0,4 МПа. Контроль тиску в лінії виконали за показниками манометра;

- потім з пульту керування дистанційного відкрили клапан та заповнити збірник аргоном. При досягненні тиску в збірнику 0,15 МПа, перекрили клапани. Контроль тиску аргону [11] в збірнику виконували за показниками манометра на моніторі;

- потім почергово відкрили клапани та скинули аргон зі збірника через лінію стравлювання надлишкового мономера до зниження тиску 0,017 МПа, після чого перекрили клапани.

5. Після виконання операції продувки збірника повторно відкрили клапан та заповнили його аргоном. При досягненні тиску в збірнику 0,25 МПа, перекрили клапани.

6. Продувку насоса та реактора виконали у наступній послідовності:

- відкрили клапан ручний та налаштували редукційний клапан на робочий тиск 0,4 МПа;

- почергово відкрили вентиля ручні та через насос, заповнили реактор аргоном. При досягненні тиску в реакторі 0,15 МПа, перекрили клапани. Контроль тиску аргону в реакторі виконували за показниками манометра на моніторі;

- після чого почергово відкрили клапани та стравили аргон з реактора через лінію спалювання надлишкового мономера до зниження тиску аргону 0,017 МПа, потім перекрили клапани;

Висновок: за результатами підготовки технологічного обладнання до проведення синтезу каучуку НТРВ зауважень не виявлено.

7. Завантаження наважок ізопропілового спирту виконали в дозатор, перекису водню 50 % виконали в дозатор, бутадієну 1,3 виконали в збірник [12]. Завантаження наважки ізопропілового

спирту насосом в дозатор, виконали наступним чином:

- пластикову флягу з ізопропіловим спиртом перенесли з місця зберігання та встановили на ваги, де зняли кришку та встановили в горловину фляги забірний шланг насосу. Кришку поклали в чистий противень;

- на моніторі ввели значення наважки ізопропілового спирту, потім відкрили клапани, ввімкнули насос та перекачали задану наважку ізопропілового спирту у дозатор. Об'єм заповнення дозатору ізопропіловим спиртом контролювали за показниками витратоміру на моніторі. По закінченню завантаження вимкнули насос та перекрили клапани;

- вилучили забірний шланг з фляги, надали витримку 30 с для максимального стікання залишків ізопропілового спирту з продуктопроводу у флягу, після чого закрили кришкою та перемістили в місце зберігання.

8. Завантаження наважки перекису водню 50 % в дозатор насосом виконали наступним чином:

- пластикову флягу з перекисом водню перенесли з місця зберігання та встановили на ваги, де зняли кришку та встановили в горловину фляги забірний шланг насосу. Кришку поклали в чистий противень;

- на моніторі ввели значення наважки перекису водню 50 %, потім відкрили клапани, ввімкнули насос та перекачали задану наважку перекису водню 50 % у дозатор. Об'єм заповнення дозатору перекисом водню 50 % контролювали за показниками витратоміру на моніторі. По закінченню завантаження вимкнули насос та перекрили клапани;

- вилучили забірний шланг з фляги, надали витримку 30 с для максимального стікання залишків перекису водню 50 % з продуктопроводу у флягу, після чого закрили кришкою та перемістили в місце зберігання.

9. Завантаження наважки бутадієну 1,3 у збірник, попередньо охолоджений до температури 8...10 °С, виконали наступним чином:

- відкрили клапан ручний і кран шаровий, налаштували редукційний клапан на робочий тиск 0,7 МПа та створили надлишковий тиску у балоні для перекачування бутадієну 1,3 в збірник. Контроль тиску аргону виконували за показниками манометра;

- відкрили кран шаровий, потім відкрили клапан та перекачали наважку бутадієну 1,3 з балону у збірник. Об'єм заповнення збірника бутадієном 1,3 контролювали за показниками витратоміру на моніторі. По закінченню завантаження перекрили клапан, крани шарові та клапан ручний. Для зміни агрегатного стану газоподібного бутадієну 1,3 у зріджений стан температура охолодження збірника повин-

на складати 8...10 °С, а початковий тиск аргону у збірнику не менш 0,25 МПа. Контроль температури бутадієну 1,3 в збірнику виконували за показниками термометру на моніторі.

10. Під час третього синтезу, при завантаженні бутадієну 1,3 у збірник, редукційний клапан налаштували на робочий тиск 1 МПа.

Висновок: за результатами виконання операцій завантаження наважок в дозатори та збірник встановлено, що при зменшенні об'єму бутадієну 1,3 в тарі, необхідно збільшувати тиск аргону для його завантаження у збірник.

11. Заповнення реактора підготовленими наважками сировини [13]. Завантаження підготовленої наважки ізопропілового спирту з дозатора в реактор, виконали наступним чином:

- почергово відкрили клапани. Повноту вивантаження ізопропілового спирту з дозатора та рівень заповнення ізопропілового спирту в реактор контролювали за показниками витратоміру на моніторі;

- після закінчення операції завантаження, перекрили клапани.

12. Завантаження підготовленої наважки перекису водню 50 % з дозатора в реактор, виконали наступним чином:

- після завантаження наважки ізопропілового спирту в реактор почергово відкрили клапани. Повноту вивантаження перекису водню 50 % з дозатора та рівень заповнення реактору перекисом водню 50 % контролювали за показниками витратоміру на моніторі;

- після закінчення операції завантаження, перекрили клапани, включили мішалку та перемішали суміш впродовж 10 хв при температурі навколишнього середовища.

13. Завантаження підготовленої наважки бутадієну 1,3 зі збірника в реактор, виконали при працюючій мішалці наступним чином:

- після завантаження наважок ізопропілового спирту і перекиси водню 50 % в реактор відкрили клапани ручні відкрили клапани, включили насос та перекачали наважку зрідженого бутадієну 1,3 зі збірника у реактор;

- повноту вивантаження бутадієну 1,3 зі збірника та рівень заповнення реактора бутадієном 1,3 контролювали за показниками витратоміру на моніторі;

- після закінчення операції завантаження перекрили клапани ручні, та вимкнули насос, перекрили клапани.

Висновок: за результатами виконання операцій заповнення реактора підготовленими наважками сировини зауважень не виявлено.

4. Експерименти

Технологічну операцію з синтезу каучуку НТРВ виконували при постійному перемішуванні у реакторі дотримуючись технологічних режимів. Залежності тиску, температури під час протікання реакції полімеризації наведено в графіку залежності рис. 1 (а, б).

Партія №1 – 3 наведених графіків залежності (рис. 1 (а, б)), можемо побачити що під час синтезу, внаслідок встановлення початкової $t_{\text{масла}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ та (при досягненні того ж значення $t_{\text{НТРВ}}$) підвищення $t_{\text{масла}}$ до $115 \text{ }^\circ\text{C}$, вихід $t_{\text{НТРВ}}$ на температуру початку полімеризації ($115 \text{ }^\circ\text{C}$) проходив протягом 112 хв на швидкості $1,03 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$. Реакція полімеризації тривала 90 хв в температурному діапазоні від $115 \text{ }^\circ\text{C}$ до $121 \text{ }^\circ\text{C}$, з піковим значенням тиску $2,06 \text{ МПа}$, та його поступовим зниженням до $1,75 \text{ МПа}$, що, в свою чергу, вказувало на успішне зв'язування молекул перекису водню з молекулами бутадієну, та зменшення об'єму газоподібного мономеру в реакторі.

Партія №2 – 3 наведених графіків залежності (рис. 1 (а, б)) можемо побачити, що під час синтезу, внаслідок того, що реакція полімеризації проходила до отримання сталих показників тиску, її тривалість зросла до 130 хв, що на 40 хв більше, ніж в Партії №1.

Реакція полімеризації проходила в температурному діапазоні від $115 \text{ }^\circ\text{C}$ до $120,5 \text{ }^\circ\text{C}$, з піковим значенням тиску $2,131 \text{ МПа}$, та його поступовим зниженням до $1,17 \text{ МПа}$, що, в свою чергу, вказувало на успішне зв'язування молекул перекису водню з молекулами бутадієну, та зменшення об'єму газоподібного мономеру в реакторі [14].

Висновок: у зв'язку зі збільшенням тривалості реакції полімеризації, спостерігається збільшення об'єму синтезованого каучуку НТРВ (відносно першої партії).

Партія №3 – 3 наведених графіків залежності (рис. 1 (а, б)) можемо побачити, що під час синтезу, внаслідок встановлення початкової $t_{\text{масла}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, вихід $t_{\text{НТРВ}}$ на температуру початку полімеризації ($115 \text{ }^\circ\text{C}$) проходив протягом 92 хв на швидкості $1,25 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$, що є значно швидшим результатом відносно синтезу Партії №1 та Партії №2.

Внаслідок того, що реакція полімеризації проходила до отримання сталих показників тиску, її тривалість зросла до 141 хв, що на 9 хв більше від Партії №2 та на 49 хв більше від Партії №1.

Реакція полімеризації проходила в температурному діапазоні від $115 \text{ }^\circ\text{C}$ до $120,46 \text{ }^\circ\text{C}$, з піковим значенням тиску $2,215 \text{ МПа}$, та його поступовим зниженням до $1,517 \text{ МПа}$, що, в свою чергу, вказувало на успішне зв'язування молекул перекису вод-

ню з молекулами бутадієну, та зменшення об'єму газоподібного мономеру в реакторі.

Висновок: у зв'язку зі збільшенням: швидкості виводу $t_{\text{НТРВ}}$ на температуру початку реакції ($115 \text{ }^\circ\text{C}$); тривалості реакції полімеризації, спостерігається збільшення об'єму синтезованого каучуку НТРВ (відносно Партії №1 та Партії №2).

Звільнення реактора від надлишкового тиску виконали у дві стадії.

Після охолодження реакційної маси до температури $70 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, перекачали залишковий мономер з реактора у збірник, для чого:

- відкрили клапан та через теплообмінник перекачали залишковий мономер до урівноваження тиску до $0,4 \text{ МПа}$ між реактором та збірником;

- після врівноваження тиску між реактором та збірником перекрили клапан.

Після кожного повернення залишкового мономеру до збірника, під дією надлишкового тиску $0,4 \text{ МПа}$, бутадієн $1,3$ зріджувався [9]. За показниками витратоміру у збірник на моніторі було встановлено об'єм поверненого бутадієну $1,3$:

- з першої партії синтезу 7 л ;

- з другої партії синтезу 5 л ;

- з третьої партії синтезу 3 л .

Після врівноваження тиску між реактором та збірником, залишковий мономер утилізували наступним чином:

- відкрили вентиль на балоні з пропаном для подачі газу на газовий запальник, та одночасно виконали запалювання запальника. Взаємодію персоналу між собою, по управлінню обладнанням та за місцем здійснювали за допомогою переносних переговорних пристроїв у вибухобезпечному виконанні;

- після чого поступово відкрили клапан з 5 до 35% з кроком 5% кожні 3 хв . При зниженні тиску в реакторі до $0,05 \text{ МПа}$ відкрили клапани ручні та включили насос;

- при зниженні тиску в реакторі до $0,003 \text{ МПа}$ вимкнули насос та перекрили клапани. Надавши витримку 2 хв , перекрили вентиль на балоні з пропаном та вимкнули запальник.

Для послідовної промивки синтезованого каучуку НТРВ транспортували його з реактора у попередньо заповнений демінералізованою водою сепаратор, для чого:

- відкрили клапан, встановлений на лінії подачі аргону в реактор, налаштували редукційний клапан на робочий тиск $0,4 \text{ МПа}$ та створили надлишковий тиск у реакторі до $0,15 \text{ МПа}$. Після перекачування синтезованого каучуку НТРВ перекрили клапан.

5. Результати

Синтезований каучук НТРВ послідовно промивали порціями води очищеної в сепараторі впродовж 10 хв кожну з подальшим її відстоюванням впродовж 15 - 20 хв з дотриманням параметрів та технологічних режимів. Промивну воду, яка утворилася після мийки, злити з сепаратора у полімерні фляги по 20 - 30 л у кожну через зливну лінію. Каучук з сепаратора перекачали по продуктопроводу в ротаційному випарнику.

Сушіння каучуку після мийки виконали в ротаційних випарниках при температурі до 120 °С, абсолютному тиску 0,002 МПа та швидкості обертання колби 30 об/хв впродовж 4...20 годин.

Після завершення сушки каучуку відкрили клапани ручні та включили вакуумний насос. При зниженні тиску в ємності до 0,001 МПа відкрили трьохходовий кран, встановлений на продуктопро-

воді каучуку, та перекачали каучук з ротаційних випарників в ємність [15]. Контроль абсолютного тиску виконували за показниками датчику тиску на моніторі.

Після перекачування каучуку вимкнули насос та перекрили клапани ручні.

Через зливний клапан з ємності самопливом відібрали проби на встановлення фізико-хімічних властивостей кінцевого продукту. Результати випробувань наведено в таблиці 1.

Після відбору проб злили каучук у пластикову чисту і суху флягу. Масу каучуку визначили на вагах за різницею пустої та наповненої тари. Результати зважування зафіксували в «Журналі технологічному...». Флягу щільно закрили кришкою, опломбували пломбою паперовою та забезпечили етикеткою з зазначенням: найменування продукту, номери партії, маси бруто та нетто, дати, прізвища і підпису та перемістили в місце зберігання.

Таблиця 1

Результати аналізу синтезованого каучуку НТРВ

№	Показники	Вимоги НД	Синтезований НТРВ		
			Партія 1	Партія 2	Партія 3
1	Динамічна в'язкість при 25 °С, Па х с	2,0...7,3	4,8	5,0	6,6
2	Втрата маси при сушці, %, не більше	0,2	0,5	1,0	0,5
3	Масова частка води, %, не більше	0,05	0,09	0,05	0,03
4	Молекулярна вага, г/моль	~3000	3746	3901	3976,5
5	Масова частка гідроксильних груп, %, в межах	0,9...1,1	1,1	1,1	1,0

Таблиця 2

Вимоги до фізико-хімічних показників сировини та результати їх аналізу

№	Назва матеріалу	Показник, що контролюється	Вимоги НД	Результати аналізу
1	Перекис водню медичний 50%	1. Масова частка основної речовини, %	≥ 50	50,3
		2. Щільність при температурі 20 °С, г/см ³	1,2	1,201
2	Перекис водню медичний 50%	1. Масова частка основної речовини, %	≥ 50	49,9
		2. Щільність при температурі 20 °С, г/см ³	1,2	1,193
3	Бутадієн 1,3	1. Масова частка основної речовини, %	≥ 99,8	99,9
4	Спирт ізопропіловий	1. Масова частка основної речовини, %	≥ 99,7	99,8

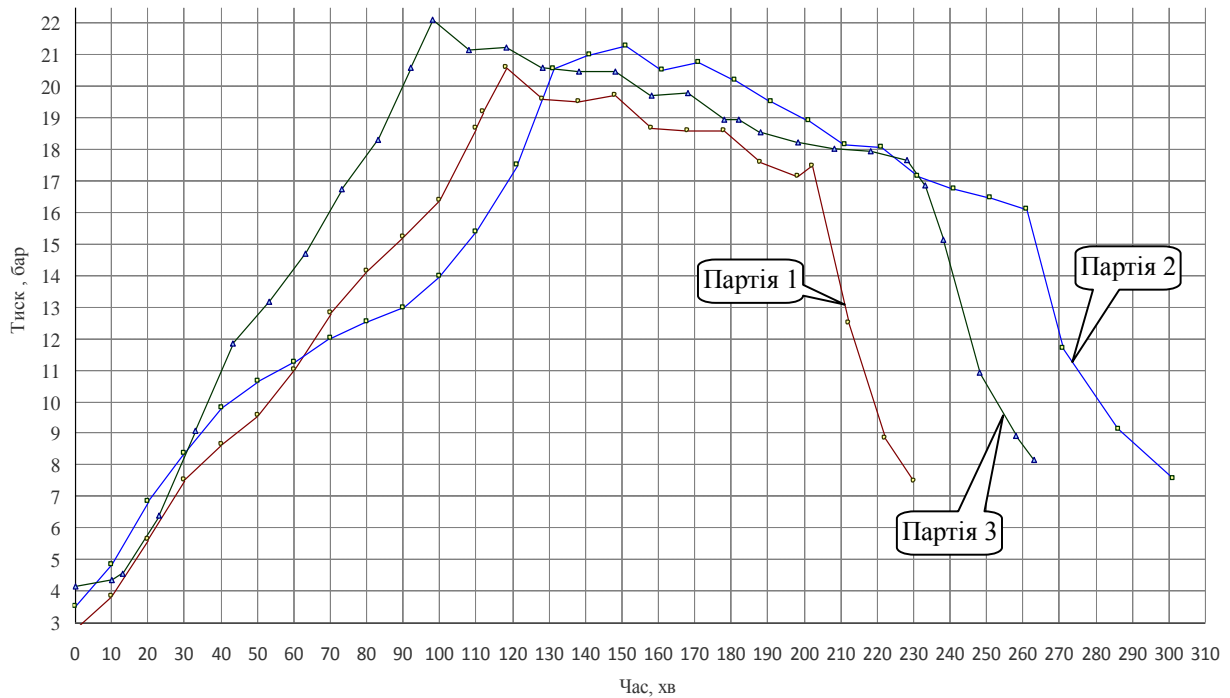


Рис. 1. Графік залежності тиску від часу протікання реакції синтезу каучуку НТРВ

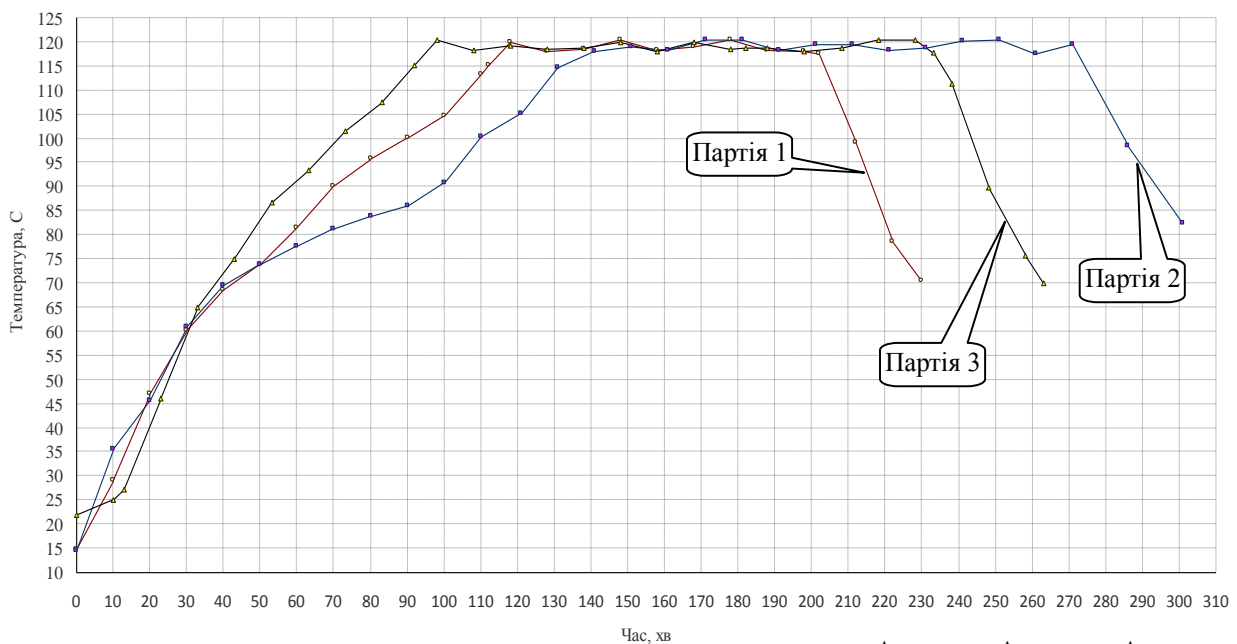


Рис. 2. Графік залежності температури від часу протікання реакції синтезу каучуку НТРВ

Висновки

В роботі вирішена актуальна задача визначення фізико-хімічних властивостей сировини для твердо-го ракетного палива [16].

З метою визначення відповідності сировини для синтезу каучуку НТРВ, в лабораторних умовах було виявлено, що їх фізико-хімічні характеристики відповідають вимогам НД.

За результатами дослідження сировини, встановлено відповідність фізико-хімічних показників сировини до вимог НД.

З урахуванням результатів аналізу, можна зробити наступні висновки:

1. Отриманий каучук відповідає всім вимогам, окрім «Втрати маси при сушінні, %», що відхиляється від вимог нормативної документації:

- у партії № 1 на 0,3 % більше від норми;

- у партії № 2 на 0,8 % більше від норми;
 - у партії № 3 на 0,3 % більше від норми.
2. Під час синтезу третьої партії каучуку було зменшено наважку перекиси водню 50 %, внаслідок чого було досягнуто оптимальну масову частку гідроксильних груп.
 3. Внаслідок зменшення наважки води під час промивки каучуку, було досягнуто необхідну масову частку води.
 4. Під час другого і третього синтезу було встановлено, що збільшивши час реакції, об'єм готової продукції збільшується.
 5. Під час третього синтезу було встановлено, що збільшивши швидкість виходу реакційної маси на задану температуру 120 °С, об'єм готової продукції не змінюється.
 6. Під час третього синтезу було встановлено, що зменшивши кількість циклів промивання каучуку, зменшується тривалість сушки без зростання показника масової частки води в готовій продукції.
- Щодо рекомендацій, можна надати наступні:
1. Розробити автоматичну систему перекриття клапану подачі надлишкового газу на свічу допалу, у разі вимкненої системи запалювання.
 2. Всі технологічні операції з перекачування проводити при ввімкненій системі допалу.
 3. Наступні синтези каучуку НТРВ проводити з корегованою рецептурою, співвідношення «мономер: ініціатор» = «20:1».
 4. Наступні технологічні операції синтезу каучуку НТРВ проводити з корегованими технологічними режимами: збільшити швидкість виходу реакційної маси на температуру синтезу 120 °С; збільшити тривалість синтезу реакційної маси з 90 хв. до моменту утворення сталого тиску в реакторі.
 5. Продовжити виконання робіт з синтезу каучуку НТРВ, до отримання задовільного результату аналізу фізико-хімічного показника «Втрата маси при сушінні, %»
 6. Розробити та затвердити графік усунення зауважень, що виникли під час виконання робіт.
- Подальші дослідження** направлені на модифікацію технології отримання низькомолекулярного полібутадієнового каучуку та дослідження фізико-хімічних властивостей сировини для твердого ракетного палива.

Література

1. Фиошина, М. А. Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив [Текст] / М. А. Фиошина, Д. Л. Русин. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2001. – 207 с.
2. Хусанова, М. Ф. Свойства новых олеогелей на основе каучуков [Електронний ресурс] /

М. Ф. Хусанова, Ш. Н. Киемов, А. Т. Джалилов // *Univerum: Технические науки : электрон. научн. журн.* – 2020. – № 9(78). – С. 92-95. – Режим доступа [https://univerum.com/pdf/tech/9\(78\)/9\(78_2\).pdf](https://univerum.com/pdf/tech/9(78)/9(78_2).pdf) – 11.02.2022.

3. Tadiello, L. *Sepiolite-Based Anisotropic Nanoparticles: A New Player in the Rubber Reinforcement Technology for Tire Application [Text]* / L. Tadiello, S. Guerra, L. Giannini // *Applied Sciences.* – 2022. – Vol. 12, Iss. 5. – Article No. 2714. DOI: 10.3390/app12052714.

4. Singh, M. *Special issue on current progresses in rubber technology [Text]* / M. Singh, M. Zulkifli // *Journal of Rubber Research.* – 2021. – Vol. 24. – P. 541-542. DOI: 10.1007/s42464-021-00144-1.

5. *Combination of Self-Healing Butyl Rubber and Natural Rubber Composites for Improving the Stability [Text]* / Kunakorn Chumnum et al. // *Polymers.* – 2021. – Vol. 13, iss. 3. – Article No. 443. DOI: 10.3390/polym13030443.

6. *Giving a Second Opportunity to Tire Waste: An Alternative Path for the Development of Sustainable Self-Healing Styrene-Butadiene Rubber Compounds Overcoming the Magic Triangle of Tires [Text]* / Javier Araujo-Morera et al. // *Polymers.* – 2019. – Vol. 11, iss. 12. – Article No. 2122. DOI: 10.3390/polym11122122.

7. *Temperature Scanning Stress Relaxation of an Autonomous Self-Healing Elastomer Containing Non-Covalent Reversible Network Junctions [Text]* / Amit Das et al. // *Polymers.* – 2018. – Vol. 10, no. 1. – Article No. 94. DOI: 10.3390/polym10010094.

8. *Виробництво синтетичного каучуку в первинних формах. Компанії України по КВЕД 20.17 [Електронний ресурс] / Каталог підприємств України.* – Режим доступу: <https://www.ua-region.com.ua/ru/kved/20.17> – 11.02.2022

9. Bac, N. V. *Synthesis and Application of Epoxidized Natural Rubber [Text]* / N. V. Bac, C. C. Hui // *Journal of Macromolecular Science, Part A. Pure and Applied Chemistry.* – 2006. – Vol. 33, Iss. 12. – P. 1949-1955. DOI: 10.1080/10601329608011019.

10. Lee, S. Y. *Natural rubber blends with epoxidized natural rubber [Text]* / S. Y. Lee, J. H. Kim, B. K. Kim // *Journal of Macromolecular Science, Part B. Physics.* – 2006. – Vol. 36, Iss. 5. – P. 579-594. DOI: 10.1080/00222349708220443.

11. *Synthesis and Modification of Epoxidized Natural Rubber from Natural Rubber Latex [Text]* / C. Ruksakulpiwat, S. Nuasaen, C. Poonsawat, P. Khansawai // *Advanced Materials Research.* – 2008. – Vol. 47-50. – P. 734-737. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.47-50.734.

12. *Эпоксидирование жидких каучуков и резиновой крошки перекислотами in situ [Текст]* / Л. В. Ермольчук, В. П. Бойко, В. К. Грищенко, Е. В. Лебе-

дев // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2008. – № 5. – С. 53-58.

13. *Preparation and Characterization of Epoxidized Natural Rubber [Text]* / K. Xu, C. Z. He, Y. Q. Wang et al. // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vol. 396-398. – P. 478-481. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.396-398.478.

14. Roberts, A. D. *Natural rubber science and technology [Text]* / A. D. Roberts. – Oxford University Press, 1988. – 1136 p.

15. Ахназарова, С. Л. *Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст]* / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высш. школа, 1978. – 319 с.

16. Исакова, Н. А. *Методы исследования состава эластомеров [Текст]* / Н. А. Исакова, В. С. Фихтенгольц, В. М. Красикова. – К. : Химия, 1974. – 102 с.

References

1. Fiochina, M. A., Rusin, D. L. *Osnovy himii i tehnologii porohov i tverdih raketnih topliv* [Fundamentals of chemistry and technology of gunpowders and solid rocket propellants]. Moscow, RHTU ім. D. I. Mendeleeva, 2001. 207 p.

2. Husanova, M. F., Kiemov, S. N., Jalilov, A. T. *Svoystva novih oleogeley na osnove kauchukov* [Properties of new oleogels based on rubbers]. *Univerum: Tehnicheskie nauki*, 2020, no. 9(78), pp. 92-95. Available at: [https://7univerum.com/pdf/tech/9\(78\)/9\(78_2\).pdf](https://7univerum.com/pdf/tech/9(78)/9(78_2).pdf) (accessed 11.02.2022).

3. Tadiello, L., Guerra, S., Giannini, L. *Sepiolite-Based Anisotropic Nanoparticles: A New Player in the Rubber Reinforcement Technology for Tire Application*. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 5, article no. 2714. DOI: 10.3390/app12052714.

4. Singh, M., Zulkifli, M. *Special issue on current progresses in rubber technology*. *Journal of Rubber Research*, 2021, vol. 24, pp. 541-542. DOI: 10.1007/s42464-021-00144-1.

5. Chumnum, K. et al. *Combination of Self-Healing Butyl Rubber and Natural Rubber Composites for Improving the Stability*. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 3, article no. 443. DOI: 10.3390/polym13030443.

6. Araujo-Morera, J. et al. *Giving a Second Opportunity to Tire Waste: An Alternative Path for the Development of Sustainable Self-Healing Styrene-Butadiene Rubber Compounds Overcoming the Magic Triangle of Tires*. *Polymers*, 2020, vol. 11, no. 12, article no. 2122. DOI: 10.3390/polym11122122.

7. Das, A. et al. *Temperature Scanning Stress Relaxation of an Autonomous Self-Healing Elastomer Containing Non-Covalent Reversible Network Junctions*. *Polymers*, 2018, vol. 10, no. 1, article no. 94. DOI: 10.3390/polym10010094.

8. *Production of synthetic rubber in primary forms*. Companies of Ukraine by KVED 20.17. Directory of Ukrainian enterprises. Available et: <https://www.ua-region.com.ua/ru/kved/20.17> (accessed 11.02.2022)

9. Bac, N. V., Huu, C. C. *Synthesis and Application of Epoxidized Natural Rubber*. *Journal of Macromolecular Science, Part A. Pure and Applied Chemistry*, 2006, vol. 33, iss. 12, pp. 1949-1955. DOI: 10.1080/10601329608011019.

10. Lee, S. Y., Kim, J. H., Kim, B. K. *Natural rubber blends with epoxidized natural rubber*. *Journal of Macromolecular Science, Part B. Physics*, 2006, vol. 36, iss. 5, pp. 579-594. DOI: 10.1080/00222349708220443.

11. Ruksakulpiwat, C., Nuasaen, S., Poonsawat, C., Khansawai, P. (2008). *Synthesis and Modification of Epoxidized Natural Rubber from Natural Rubber Latex*. *Advanced Materials Research*, 2008, vol. 47-50, pp. 734-737. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.47-50.734.

12. Ermolchuk, L. V., Boiko, V. P., Grischenko, V. K., Lebedev, E. V. *Epoksidirovanie zhidkikh kauchukov i rezinovoi kroszki perkislotami in situ* [Epoxidation of liquid rubbers and crumb rubber with peracids in situ]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii – Problems of chemistry and chemical technology*, 2008, no. 5, pp. 53-58.

13. Xu, K., He, C.Z., Wang, Y.Q., Luo, Y.Y., Liao, S.Q., Peng, Z. *Preparation and Characterization of Epoxidized Natural Rubber*. *Advanced Materials Research*, 2011, vol. 396-398, pp. 478-481. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.396-398.478.

14. Roberts, A. D. *Natural rubber science and technology*. Oxford University Press Publ., 1988. 1136 p.

15. Akhnazarova, S. L., Kafarov, V. V. *Optimizacija jeksperimenta v himii i himicheskoi tekhnologii*. *Uchebnoe posobie dlja himiko-tehnologicheskikh vuzov* [Optimization of an experiment in chemistry and chemical technology: Textbook. A allowance for chemical and technological universities]. Moscow, Higher School Publ., 1978. 319 p.

16. Isakova, N. L., Fikhtengolc, V. S., Krasikova, V. M. *Metody issledovaniya sostava elastomerov* [Methods for studying the composition of elastomers]. Leningrad, Khimiia Publ., 1974. 102 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫРЬЯ ДЛЯ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

*В. В. Муратов, С. А. Борисенко, Н. Д. Кошевой,
А. Ф. Санин, М. П. Кравченко*

При исследовании физико-химических свойств низкомолекулярного полибутадиенового каучука с функциональными гидроксильными группами (Hydroxyl Terminated Poly Butadien – HTPB), являющегося сырьем для твердого ракетного топлива (ТРП), была изготовлена опытная партия каучука и проведены 3 синтеза опытных партий низкомолекулярного полибутадиенового каучука с функциональными гидроксильными группами. Целью работы является получение HTPB с физико-химическими характеристиками, соответствующими требованиям нормативной документации (НД). В ходе работы были определены физико-химические характеристики каучука HTPB на соответствие нормативной документации. Проверена готовность оборудования к проведению синтеза каучука HTPB (сборник, дозаторы, реактор, сепаратор, ротационные испарители, емкость, зажигатель). Отработана последовательность выполнения технологических операций по синтезу каучука. По результатам исследования установлено соответствие физико-химических показателей полученного сырья для ТРП к требованиям НД и сделан вывод о допущении в производство. После проверки работоспособности основного и вспомогательного технологического оборудования замечаний не обнаружено. В результате подготовки технологического оборудования к проведению синтеза каучука HTPB замечаний не обнаружено. По результатам выполнения операций загрузки навесок в дозаторы и сборник установлено, что при уменьшении объема бутадиена в таре необходимо увеличивать давление аргона для его загрузки в сборник. По результатам выполнения операций заполнения реактора подготовленными навесками сырья замечаний также не обнаружено. Результаты исследования физико-химических свойств полученного сырья для изготовления ТРП показали практически полное соответствие требованиям НД, кроме показателя потери массы при сушке. Последующие исследования направлены на модификацию технологии получения низкомолекулярного полибутадиенового каучука и исследования физико-химических свойств сырья для твердого ракетного топлива.

Ключевые слова: твердое ракетное топливо; каучук; HTPB; технические условия; нормативная документация.

STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF RAW MATERIALS FOR SOLID PROPELLANT

*Viktor Muratov, Sergey Borisenko, Nikolay Koshevoy,
Anatoliy Sanin, Maxim Kravchenko*

In the study of the physicochemical properties of low molecular weight polybutadiene rubber with functional hydroxyl groups (Hydroxyl Terminated Poly Butadien – HTPB), which is a raw material for solid rocket fuel (SRP), an experimental batch of rubber was made and 3 synthesis of experimental batches of low molecular weight polybutadiene rubber with functional hydroxyl groups was carried out. The current work obtains a HTPB physical and chemical characteristics that meet the requirements of regulatory documentation (ND). During this work, the physical and chemical characteristics of HTPB rubber were determined to compliance with regulatory documentation. The readiness of the equipment for conducting the synthesis of HTPB rubber (collector, dispensers, reactor, separator, rotary evaporators, vessel, igniter) was checked. The sequence of execution of technological operations for the synthesis of rubber has been worked out. According to the results of the study, the compliance of the physical and chemical parameters of the obtained raw materials for SPR with the requirements of the ND was established and a conclusion was made about the admission to production. After checking the operability of the main and auxiliary technological equipment, no comments were found. Because of the preparation of technological equipment for the synthesis of HTPB rubber, no comments were found. According to the results of the operations of loading samples into the dispensers and collector, it was found that with a decrease in the volume of butadiene in the container, it is necessary to increase the argon pressure to load it into the collector. According to the results of the operations, filling the reactor with prepared samples of raw materials, no comments were found either. The results of the study of the physicochemical properties of the obtained raw materials for the manufacture of SPR showed almost complete compliance with the requirements of ND, except for the weight loss during drying. Subsequent studies are aimed at modifying the technology for obtaining low molecular weight polybutadiene rubber and studying the physicochemical properties of raw materials for solid rocket fuel.

Keywords: solid propellant; rubber; HTPB; specifications; normative documentation.

Муратов Віктор Володимирович – PhD, провідний інженер-програміст розрахунково-експериментальної лабораторії лабораторного комплексу науково-виробничих випробувань та сертифікації дослідного блоку, Науково-дослідний інститут високоенергетичних матеріалів ДП «НВО «ПХЗ», Павлоград, Україна.

Борісенко Сергій Анатолійович – начальник розрахунково-експериментальної лабораторії лабораторного комплексу науково-виробничих випробувань та сертифікації дослідного блоку, Науково-дослідний інститут високоенергетичних матеріалів ДП «НВО «ПХЗ», Павлоград, Україна.

Кошовий Микола Дмитрович – д-р техн. наук, проф., проф. каф. інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Санін Анатолій Федорович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара, Дніпро, Україна.

Кравченко Максим Петрович – провідний інженер-технолог, Науково-дослідний інститут високоенергетичних матеріалів ДП «НВО «ПХЗ», Павлоград, Україна.

Viktor Muratov – PhD, Leading software engineer of the calculation and experimental laboratory of the laboratory complex of research and production tests and certification of the research unit of the Research Institute of High Energy Materials, GP «NPO «PHZ», Pavlograd, Ukraine, e-mail: vmuratov77@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7684-5649.

Sergey Borisenko – Head of the calculation and experimental laboratory of the laboratory complex of research and production tests and certification of the research unit of the Research Institute of High Energy Materials, GP «NPO «PHZ», Pavlograd, Ukraine.

Nikolay Koshevoy – Dr. Tech. Sciences, professor, professor of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering, National Aerospace University «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: kafedraapi@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9465-4467.

Anatoliy Sanin – Dr. Tech. Sciences, professor, Head of the Department of Production Technology, Dnipro Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: afedsa60@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5614-3882.

Maxim Kravchenko – leading engineer-technologist of the Research Institute of High-Energy Materials, GP «NPO «PHZ», Pavlograd, Ukraine.