

О. А. ПІВОВАРОВ, д-р техн. наук, професор

М. М. ЧЕЛТОНОВ, аспірант

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ ПЕРХЛОРАТУ АМОНІЮ З ПРОДУКТІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ПАЛИВА

**Резюме.** У процесі утилізації твердого ракетного палива (ТРП) зі споряджених корпусів двигунів утворюється полімерна крихта з розмірами фрагментів від 7×4×2 мм до 15×4×2 мм, яка знайшла застосування як енергетична добавка в емульсійних вибухових речовинах (ЕВР). До складу полімерної крихти входить: зв'язуюче, окислювач (перхлорат амонію), енергетичні добавки (октоген, алюміній) і технологічні добавки. Одним із найбільш раціональних способів використання полімерної крихти (полімерної матриці) є отримання цінних енергетичних компонентів — перхлорату амонію, октогену. Метою пропонованої увазі статті є встановлення закономірностей і визначення параметрів вилучення перхлорату амонію з продуктів утилізації твердого ракетного палива. Для вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці її зразки обробляли водою при температурі 20 °С і перемішували 1–4 годин. Цільовий продукт вилучали методом ізогідричної кристалізації в діапазоні температур з 30 °С до 8 °С. Отриману тверду фазу кристалів перхлорату амонію фільтрували, висушували, зважували. За результатами проведених експериментів отримано константи та загальне кінетичне рівняння, що описує процес вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці твердого ракетного палива при температурі 20 °С. Мікроскопічний аналіз засвідчує, що отриманий із полімерної матриці твердого ракетного палива перхлорат амонію є кристалами неправильної форми з розмірами частинок переважно від 100 до 600 мкм, ступінь вилучення при цьому цільового продукту становила 76,8 % з вмістом основної речовини 98,5 %. Вилучений продукт після модифікації можна використовувати в композиційних складах у ролі окислювача, або як сировину для конверсійної переробки останнього в перхлорат калію, компоненту неелектричних систем ініціювання. Отримані дані та залежності після детального техніко-економічного аналізу можна розглядати як основу для створення дослідно-промислового виробництва вилучення водорозчинного компонента твердого ракетного палива — перхлорату амонію.

**Ключові слова:** заклади вищої освіти, вилучення, утилізація, перхлорат амонію, полімерна матриця, тверде ракетне паливо.

### ВСТУП

Нині в Україні актуальною є проблема утилізації ракетних двигунів твердого палива (РДТП) із закінченим терміном зберігання. Для розв'язання цієї проблеми фахівці ДП “НВО “ПХЗ” (м. Павлоград) упродовж понад 15 років вирішують завдання щодо безпечної утилізації цих енергетично-конденсованих систем [1]. Причому ефективно використовується метод гідромеханічного вилучення та подрібнення твердого ракетного палива зі споряджених корпусів двигунів. Тверде ракетне паливо є полімерним зв'язуючим, наповненим окислювачем (перхлоратом амонію), енергетичними (октоген, алюмінієм) і технологічними домішками.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Продукти, які отримані в результаті гідромеханічної обробки твердого ракетного палива, стабілізуються емульсією та використовуються як енергетична домішка в емульсійних вибухових речовинах марки “ЕРА”. Однак більш раціональ-

ним способом використання полімерної матриці твердого ракетного палива (ПМ ТРП) є отримання цінних енергетичних речовин — перхлорату амонію, нітраміну для повторного їх використання.

**Метою статті** є встановлення закономірностей вилучення перхлорату амонію (ПХА) з полімерної матриці, отриманої в ході утилізації ракетних двигунів твердого ракетного палива.

### АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз наукової літератури свідчить [1–5], що найбільш вивченою та відпрацьованою ресурсозворотною технологією утилізації СКД ТРП зі збереженням сировинної бази є метод гідромеханічного вимивання. При руйнуванні СКД утворюються фрагменти палива, які можна застосувати для отримання промислових ВР, або знищення методом термічного спалення в спеціальних печах або, що найбільш доцільно, підлягають подальшій переробці для вилучення перхлорату амонію (ПХА) з метою повторного його використання. Визначити найкращі умо-

Таблиця 1

## Середній склад полімерної матриці твердого ракетного палива з метою вилучення ПХА

№	Розмір частинок	Вміст фракції, %
1	До 7 мм (7×4×2 мм і менше)	31,7
2	Від 8 до 10 мм (від 8×4×2 мм до 10×4×2 мм)	37,8
3	Від 11 до 15 мм (від 11×4×2 мм до 15×4×2 мм)	28,9
4	Більше 15 мм (15×4×2 мм і більше)	1,1

ви для отримання ПХА на основі літературних джерел неможливо, оскільки випробування проводили в різних умовах та з різними сировинними ресурсами, які не включали такий тип ТРП і розмір частинок полімерної матриці твердого ракетного палива, яке є в наявності на Україні, тому вилучення перхлорату амонію, з вторинної сировини (СКД) є актуальним питанням. Робочим середовищем у процесі гідромеханічної утилізації РДТП є вода, яка вилуговує в ході вилучення та подрібнення твердого ракетного палива до 50 % перхлорату амонію. Подальше вилуговування ПХА, цінного неорганічного окислювача, виробництво якого відсутнє в Україні, дає змогу збільшити його ступінь вилучення до 80 % по масі.

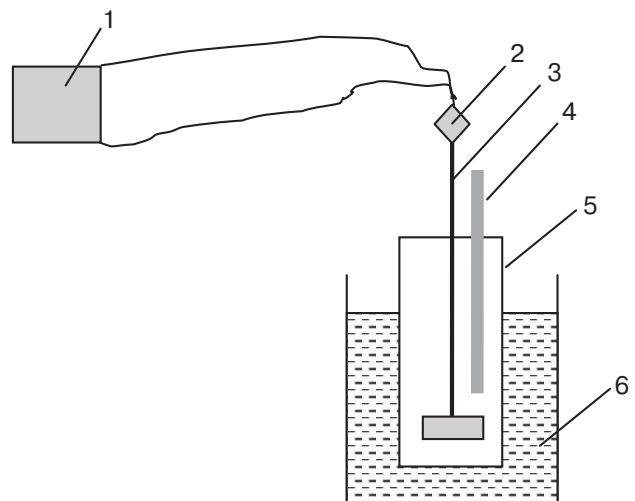
## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для проведення досліджень були використані зразки подрібненої ПМ ТРП із розміром частинок, які представлено в **табл. 1**.

На **рис. 1** наведено схему лабораторної установки з вилучення ПХА з полімерної матриці ТРП.

Для виконання експериментів зразки ПМ з вмістом ПХА — 28,1 % по масі промивалися водою в склянці (**рис. 1**), яка обладнана пропелерною мішалкою (поз. 3), термометром (поз. 4), що розміщений у термостаті (поз. 6). Співвідношення ПМ : вода — 1 : 2, промивку проводили при температурі  $20 \pm 2$  °С і перемішуванні пропелерною мішалкою 400 об/хв протягом 1–4 годин. Потім отриману полімерну матрицю фільтрували, висушували при кімнатній температурі та зважували. Перхлорат амонію вилучали методом ізогідричної кристалізації в діапазоні температур від 30 °С до 8 °С. Отриману тверду фазу кристалів перхлорату амонію фільтрували, висушували та зважували.

Процес екстракції “тверде тіло — рідина” має складний фізико-хімічний характер [6–8], який пов’язаний із низкою таких процесів як змочування, набухання, дифузія, розчинення, адсорбція, абсорбція. Екстракція в системі



1 – ЛАТР; 2 – мотор; 3 – мішалка пропелерна;  
4 – термометр; 5 – склянка; 6 – термостат

**Рис. 1.** Схема лабораторної установки з вилучення ПХА з полімерної матриці ТРП

тверде тіло — рідина складається з трьох основних стадій:

- проникнення екстрагента до частинок речовини, яка вилучається з твердого матеріалу (ПХА);
- розчинення у воді речовини, яка вилучається;
- перехід розчиненої речовини в об’єм екстрагенту.

Проникнення екстрагента до частинок речовини, що вилучається, твердого матеріалу здійснюється за рахунок капілярних явищ. По каналах, капілярах, які утворюються між частинками подрібненого матеріалу, по мікропорах екстрагент проникає в товщу сировини та всередину комірок, у яких знаходиться речовина, що вилучається. Результати кінетики вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці ТРП наведено в **табл. 2**.

Отримані значення описуються рівнянням (1), яке має вигляд [6–8]:

Таблиця 2

**Значення кінетичних параметрів процесу вилучення ПХА з полімерної матриці ТРП**

Найменування показника	t, с							
	1800	3600	5400	7200	9000	10 800	12 600	14 400
C <sub>експ</sub> , кг/м <sup>3</sup>	4,21	14,91	19,54	24,92	26,48	28,27	30,15	31,20
C <sub>теор</sub> , кг/м <sup>3</sup>	2,03	13,56	20,53	24,75	27,30	28,84	29,77	30,34
Ln(1-(C/C <sub>p</sub> ))	-0,15	-0,65	-0,98	-1,60	-1,89	-2,37	-3,39	-

$$C = C_p(1 - Ae^{kt}), \quad (1)$$

де C — поточна концентрація ПХА в розчині за час t, кг/м<sup>3</sup>; C<sub>p</sub> — рівноважна концентрація ПХА в розчині, визначається за досить тривалого процесу і в конкретному випадку становить — 31,20 кг/м<sup>3</sup>; A — передекспоненціальна константа, k — коефіцієнт масопереносу, м/с; t — час, с.

Рівняння (1) в логарифмічних координатах набуває вигляду:

$$\ln(1 - C/C_p) = \ln A - kt \quad (2)$$

і є прямою лінією, що дає змогу визначити передекспоненціальну константу — A і коефіцієнт масопереносу — k.

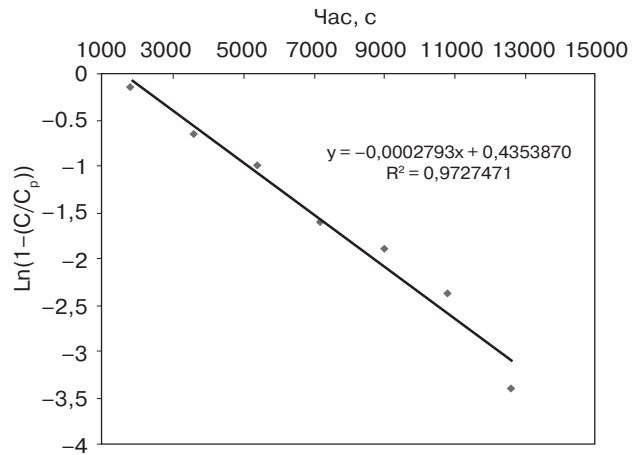
На **рис. 2** представлена кінетична залежність вилучення ПХА з полімерної матриці. Величина достовірності апроксимації становить R<sup>2</sup> = 0,97.

Кінетичні константи та загальне кінетичне рівняння вилучення ПХА з полімерної матриці наведено в **табл. 3**.

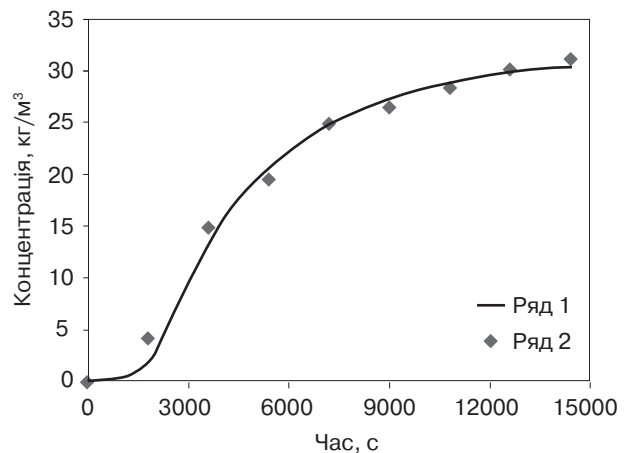
Для використання отриманого кінетичного рівняння необхідно провести перевірку його адекватності. На підставі отриманих даних (**табл. 2**) побудований графік залежності концентрації вилученого ПХА з ПМ ТРП у воді від часу процесу, який наведено на **рис. 3**.

Як зрозуміло з **рис. 3**, значення концентрацій ПХА в розчині при вилученні з ПМ (ряд 2), отримано з кінетичного рівняння (табл. 3) адекватно описують експериментальні дані (ряд 1) і показують наявність значного кореляційного зв'язку (R<sup>2</sup> = 0,92).

Мікроскопічний аналіз засвідчує, що отриманий із полімерної матриці ТРП перхлорат амонію, є кристалами неправильної форми з розмірами частинок переважно від 100 до 600 мкм (**рис. 4**). Ступінь вилучення ПХА із ПМ при цьому становила — 76,8 %.



**Рис. 2.** Кінетична залежність вилучення ПХА з ПМ



**Рис. 3.** Графік залежності концентрації вилученого ПХА з ПМ у розчині від часу процесу

Перхлорат амонію, який отримано вилученням із полімерної матриці ТРП, було досліджено

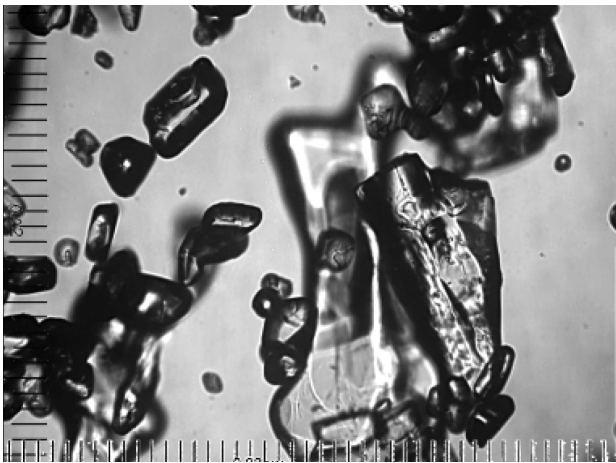
Таблиця 3

**Кінетичні константи та загальне кінетичне рівняння вилучення ПХА з ПМ**

k, м/с	LnA	A	Кінетичне рівняння
2,79·10 <sup>-4</sup>	0,4354	1,5456	C=31,20(1-1,5456exp(-2,79·10 <sup>-4</sup> t))

за такими показниками: вміст основної речовини, масова частка загальної вологи, гранулометричний склад і форма кристалів (мікроскопічний метод). Результати випробувань продукту ПХА у порівнянні з товарним продуктом (імпорт) наведені у **табл. 4**.

Як показали результати випробувань, хоча отриманий ПХА має досить високий вміст основної речовини (98,5 %) але нижче за цим параметром на 1,1 % товарного продукту. Вилучений ПХА є кристалічним продуктом з частинками неправильної форми (**рис. 4**) і гранулометричного складу, що не відповідає вимогам товарного ПХА. Отриманий перхлорат амонію має високий вміст внутрікристалічної вологи, що передбачає наявність в утворених кристалах



**Рис. 4.** Зовнішній вигляд кристалів перхлорату амонію, отриманих з полімерної матриці ТРП

значної кількості газо-рідинних включень, які знижують міцність кристалів. Тому для повторного використання в композиційних складах вилучений перхлорат амонію необхідно модифікувати. Після цього його можна застосовувати як окислювач у композиційних складах, або як сировину для виготовлення перхлорату калію — компоненту неелектричних систем ініціювання [5].

Отриману рафіновану полімерну матрицю після вилучення перхлорату амонію надалі можна використовувати для екстракції октогену — термостійкої високоенергетичної речовини [1; 10], або для застосування в складі емульсійних вибухових речовин як енергетичної домішки.

### ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було отримано константи і загальне кінетичне рівняння, що описує процес вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці твердого ракетного палива при температурі 20 °С. Мікроскопічний аналіз свідчить про те, що отриманий із полімерної матриці ТРП перхлорат амонію є кристалами неправильної форми з розмірами частинок переважно від 100 до 600 мкм, ступінь вилучення цільового продукту становила — 76,8 % з вмістом основної речовини 98,5 %. Перхлорат амонію, вилучений з полімерної матриці твердого ракетного палива, після модифікації пропонується використовувати в композиційних складах, або як сировину для конверсійної переробки у перхлорат калію — компоненту неелектричних систем ініціювання.

Таблиця 4

**Результати випробувань продукту ПХА в порівнянні товарним продуктом**

Найменування показника	Значення показника	
	ПХА, вилучений з ПМ ТРП	Товарний ПХА марки –315+160 мкм (імпорт)
Вміст основної речовини, %	98,5	Не менше 99,6
Масова доля вологи загальної, %	1,5	Не більше 2,0
Масова доля вологи внутрікристалічної, %	0,2	Не більше 0,06
Гранулометричний склад, %		
	315 мкм	77,2
	200 мкм	4,0
	160 мкм	7,6
	50 мкм	9,8
	піддон	1,4
Форма кристалів	Неправильна	Близька до округлої



### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шиман Л. Н. Безопасность процессов производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений: монография / Л. Н. Шиман, Е. Б. Устименко, В. И. Голинько, В. В. Соболев. — Днепропетровск : Лира, 2013. — 526 с.
  2. Забелин Л. В. Основы промышленной технологии утилизации крупногабаритных твёрдотопливных зарядов / Л. В. Забелин, Р. В. Гафиятулин, А. Н. Поник, В. Ю. Мелешко. — М. : Недра-Бизнесцентр, 2004. — 226 с.
  3. Челтонов М. М. Оптимизация процесса деструкции полимерного связующего твёрдых ракетных топлив с использованием азотной кислоты / М. М. Челтонов, С. А. Опарин, А. Л. Кириченко, Е. Б. Устименко // Вопросы химии и хим. технологии. — 2019. — № 3 (124). — С. 176–180.
  4. Устименко Е. Б. Конверсионная обработка продуктов гидромеханического извлечения твёрдого ракетного топлива для получения активного вещества, применяемого в средствах инициирования и взрывания / Е. Б. Устименко, Л. Н. Шиман, М. М. Челтонов // Высокоэнергетическая обработка материалов. — Днепропетровск : Арт-Пресс, 2009. — С. 219–228.
  5. Устименко Е. Б. Опыт конверсии отдельных компонентов ТРТ и аспекты безопасности для их использования в качестве активного вещества в элементах НСИ / Е. Б. Устименко, Л. Н. Шиман, Л. И. Подкаменная, М. М. Челтонов // Вестник КГПУ им. Михаила Остроградського. — 2008. — № 1(48). — С. 100–102.
  6. Extraction process of intracellular substance / V. V. Dyachok // Chemistry & Chemical Technology. — 2010. — Vol. 4, Issue 2. — P. 163–167.
  7. Some kinetic regularities of intracellular substances extracting / V. Dyachok, M. Malovanyy, I. Ilkiv // Chemistry & Chemical Technology. — 2011. — Vol. 6, Issue 4. — P. 469–472.
  8. On the mechanism of extraction from solid bodies cellular structure / V.V. Dyachok // Chemistry & Chemical Technology. — 2013. — Vol. 7, Issue 1. — P. 23–27.
  9. Poulin I. Literature Review on Demilitarization of Munitions. Prepared for the RIGHTTRACT Technology Demonstration Project. / I. Poulin. — Quebec : Defense R&D Canada — Valcartier, 2010. — 64 p.
  10. Solubilities of Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine in  $\gamma$ -Butyrolactone + Water, Dimethylsulfoxide + Water, and N-Methyl pyrrolidone + Water / K. J. Kim, H. S. Kim, J. S. Sim // Journal of Chemical & Engineering Data. — 2013. — Vol. 58 (9). — P. 2410–2413.
- heniy [Safety of processes for the production and use of emulsion explosives with components of utilized weapons]. Dnepropetrovsk. 526 p.
2. Zabelin, L. V., Gafiyatulina, R. V., Ponik, A. N., & Meleshko, V. Yu. (2004). Osnovy promyshlennoy tekhnologii utilizatsii krupnogabaritnykh tverdotoplivnykh zaryadov [Fundamentals of industrial technology for the disposal of large solid propellant charges]. Moscow. 226 p.
  3. Cheltonov, M. M., Oparin, S. A., Kirichenko, A. L., & Ustimenko, E. B. (2019). Optimizatsiya protsessa destrukttsii polimernogo svyazuyushchego tverdykh raketnykh topliv s ispolzovaniem azotnoy kisloty [Process optimization of the destruction of polymer binding in solid propellants with the use of nitric acid]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology]. 3. 176–180. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-176-180>
  4. Ustimenko, E. B., Shiman, L. N., & Cheltonov, M. M. (2009). Konversionnaya obrabotka produktov gidromekhanicheskogo izvlecheniya tverdogo raketnogo topliva dlya polucheniya aktivnogo veshchestva, primenyaemogo v sredstvakh initsirovaniya i vzyvaniya [Conversion processing of products of hydromechanical extraction of solid rocket fuel to obtain the active substance used in the means of initiation and blasting]. *Vysokoenergeticheskaya obrabotka materialov* [High Energy Material Processing]. Dnepropetrovsk. P. 219–228.
  5. Ustimenko, E. B., Shiman, L. N., Podkamennaya, L. I., & Cheltonov, M. M. (2008). Opyt konversii otdelnykh komponentov TRT i aspekty bezopasnosti dlya ikh ispolzovaniya v kachestve aktivnogo veshchestva v elementakh NSI [Experience in the conversion of propellant components and safety aspects for their use as an active substance in elements of non-electric initiation systems]. *Vestnik KGPU im. Mikhaila Ostrogradskogo* [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University]. 1 (48). 100–102. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.5.115-121>
  6. Dyachok, V. (2010). Extraction process of intracellular substance. *Chemistry & Chemical Technology*. 4 (2). 163–167.
  7. Dyachok, V. (2011). Some kinetic regularities of intracellular substances extracting. *Chemistry & Chemical Technology*. 6 (4). 469–472.
  8. Dyachok, V. (2013). On the mechanism of extraction from solid bodies cellular structure. *Chemistry & Chemical Technology*. 7 (1). 23–27.
  9. Poulin, I. (2010). Literature Review on Demilitarization of Munitions. Prepared for the RIGHTTRACT Technology Demonstration Project. Quebec: Defense R&D Canada — Valcartier. 64 p.
  10. Kim, K. J., Kim, H. S., & Sim, J. S. (2013). Solubilities of Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine in  $\gamma$ -Butyrolactone + Water, Dimethylsulfoxide + Water, and N-Methyl pyrrolidone + Water. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 58 (9). 2410–2413. <https://doi.org/10.1021/jc400199m>

### REFERENCES

1. Shiman, L. N., Ustimenko, E. B., Golinko, V. I., & Soboлев, V. V. (2013). Bezopasnost protsessov proizvodstva i primeneniya emulsiyonnykh vzryvchatykh veshchestv s komponentami utiliziruemykh vooruzheniy [Safety of processes for the production and use of emulsion explosives with components of utilized weapons]. Dnepropetrovsk: Lira. 526 p.

A. A. PIVOVAROV, Doctor of Science in Engineering, Professor

M. M. CHELTONOV, Postgraduate Student

### THE FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF EXTRACTING AMMONIUM PERCHLORATE PRODUCT OF THE DISPOSAL OF SOLID ROCKET FUEL

**Abstract.** In the process of disposal of solid propellant (SP) from the curb of engines formed polymer matrix with the size of the fragments here  $7 \times 4 \times 2$ – $15 \times 4 \times 2$  mm, which finds use as energy additive in the composition of emulsion explosives. The polymeric matrix includes: a binder, an oxidizer (ammonium perchlorate), energy supplements (HMX, aluminum) and technological additives. One of the most efficient ways to use polymer matrix is the production

of a valuable energy component of ammonium perchlorate, HMX. The aim of this work is to establish the patterns and determination of parameters of the deletion of ammonium perchlorate from the products of recycling of solid propellant. To remove ammonium perchlorate from the polymer matrix, the polymer matrix samples were treated with water at a temperature of 20 °C and stirring for 1–4 hours. The target protein was removed by crystallization in the temperature range 30 °C to 8 °C. the resulting solid phase crystals of ammonium perchlorate was filtered, dried, weighed. According to the results of the experiments obtained for the constants and the General kinetic equation that describes the leaching process of ammonium perchlorate with a polymeric matrix of the solid propellant at a temperature of 20 °C. Microscopic analysis suggests that the results obtained from the polymeric matrix of the solid rocket fuel ammonium perchlorate is a crystal of irregular shape with particle sizes predominantly between 100 and 600 μm, the recovery rate of the target product amounted to 76.8 per cent with a basic substance content of 98,5 %. The extracted product after modification can be used in composite formulations as an oxidizing agent, or as raw material for conversion processing of the latter in the potassium perchlorate, a component of non-electric initiation systems. The data obtained after detailed techno-economic analysis can be considered as a basis for the creation of experimental-industrial production extraction of water-soluble component of solid propellant ammonium perchlorate.

**Key words:** recovery, utilization, ammonium perchlorate, polymer matrix, solid propellant.

**А. А. ПИВОВАРОВ**, д. т. н., профессор  
**М. М. ЧЕЛТОНОВ**, аспирант

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

**Резюме.** В процессе утилизации твердого ракетного топлива (ТРТ) из снаряженных корпусов двигателей образуется полимерная крошка с размерами фрагментов от 7×4×2 мм до 15×4×2 мм, которая нашла применение в качестве энергетической добавки в составе эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ). В состав полимерной крошки входит: связующее, окислитель (перхлорат аммония), энергетические добавки (октоген, алюминий) и технологические добавки. Одним из наиболее рациональных способов использования полимерной крошки (полимерной матрицы) является получение ценных энергетических компонентов — перхлората аммония, нитрамина. Целью данной статьи является установление закономерностей и определение параметров удаления перхлората аммония из продуктов утилизации твердого ракетного топлива. Для удаления перхлората аммония из полимерной матрицы, образцы полимерной матрицы обрабатывали водой при температуре 20 °C и перемешивали на протяжении 1–4 часов. Целевой продукт удаляли методом изогидрической кристаллизации в диапазоне температур 30 °C до 8 °C. Полученную твердую фазу кристаллов перхлората аммония фильтровали, высушивали, взвешивали. По результатам проведенных экспериментов получены константы и общее кинетическое уравнение, описывающее процесс выщелачивания перхлората аммония с полимерной матрице ТРТ при температуре 20 °C. Микроскопический анализ свидетельствует о том, что полученный из полимерной матрице твердого ракетного топлива перхлорат аммония представляет собой кристаллы неправильной формы с размерами частиц преимущественно от 100 до 600 мкм, степень извлечения при этом целевого продукта составила 76,8 % с содержанием основного вещества 98,5 %. Извлеченный продукт после модификации возможно использовать в композиционных составах в качестве окислителя, или как сырье для конверсионной переработки последнего в перхлорат калия, компонента неэлектрических систем инициирования. Полученные данные после детального технико-экономического анализа могут быть рассмотрены как основа для создания опытно-промышленного производства извлечения водорастворимого компонента твердого ракетного топлива — перхлората аммония.

**Ключевые слова:** извлечение, утилизация, перхлорат аммония, полимерная матрица, твердое ракетное топливо.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Пивоваров Олександр Андрійович** — д-р техн. наук, професор; Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагарина, 8, Дніпро 49005 Україна; +38 (0097)342-46-60; arivo@ua.fm; ORCID: 0000-0003-0520-171X

**Челтонов Максим Михайлович** — аспірант; “Державне підприємство “науково-виробничого об’єднання “Павлоградський хімічний завод”, вул. Кільцева, 6, м. Павлоград, 51402, Дніпропетровська обл., Україна; +38 (066) 121-90-43; nelonme@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8077-1985

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pivovarov O. A.** — Doctor of Science in Engineering, Professor; Ukrainian State Chemical Technology University, 8, Gagarin Av., Dnipro 49005 Ukraine; +38 (0097)342-46-60; arivo@ua.fm; ORCID: 0000-0003-0520-171X

**Cheltonov M. M.** — Postgraduate Student; State Enterprise Research-Industrial Complex “Pavlograd Chemical Plant”, vul. Kiltseva, 6, Kilceva St., Pavlograd 51402, Dnipropetrovsk region, Ukraine; +38 (066) 121-90-43; nelonme@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8077-1985

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Пивоваров А. А.** — д. т. н., профессор; Украинский государственный химико-технологический университет, пр. Гагарина, 8, Дніпро 49005 Україна; +38 (0097)342-46-60; arivo@ua.fm; ORCID: 0000-0003-0520-171X

**Челтонов М. М.** — аспірант; “Государственное предприятие “Научно-производственное объединение “Павлоградский химический завод”, ул. Кольцевая, 6, г. Павлоград, Днепропетровская обл., Україна; +38 (066) 121-90-43; nelonme@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8077-1985