

К.В. ШЕВЧЕНКО, А.Б. ГРИГОРОВ

ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ БЕНЗИНОВОЇ ФРАКЦІЇ ТЕРМІЧНИМ ПІРОЛІЗОМ ПОЛІОЛЕФІНОВОЇ СИРОВИНИ

В статті розглянуто особливості проведення процесу термічного піролізу вторинної полімерної сировини, спрямованого на отримання бензинової фракції – бази для отримання сумішевого або синтетичного автомобільного бензину. Спираючись на світовий досвід переробки полімерів, для дослідження було обрано поліолефіни, представлені поліетиленом високої густини (HDLP) та поліпропілен (PP). Термічний піроліз проводили при атмосферному тиску (0,10-0,12 МПа) на лабораторній установці реакторного типу з подальшим видаленням бензинової фракції (30-210 °С) із рідких продуктів піролізу за методом ASTM D 86. Встановлено, що температурний інтервал, в якому необхідно проводити піроліз поліолефінової сировини, складає для HDLP – 400-430°C (максимальний вихід бензинової фракції при 420°C); для PP - 350-370 °С (максимальний вихід бензинової фракції при 365 °С). Керуючи тривалістю термічного піролізу можна збільшити вихід бензинової фракції у середньому на 15-17 %, що необхідно враховувати при промисловому впровадженні та подальшій експлуатації установок піролізу полімерної сировини. Збільшення температури кінця кипіння бензинової фракції з 150 °С до 210 °С дозволяє збільшити її вихід на 9 % (для HDLP) і на 12 % (для PP). Але відповідно спостерігається і збільшення вмісту у ній олефінів (на 13-14 %), що є позитивним моментом з точки зору стійкості до детонації бензинової фракції і негативним – з огляду на низьку її хімічну стабільність. Проведені дослідження показали, що вторинну поліолефінову сировину необхідно розглядати як альтернативну до класичної сировини (нафти та газового конденсату), а процес піролізу як основний технологічний процес отримання бензинової фракції – бази для отримання товарного автомобільного бензину. Перспективними місцями реалізації даної технології є як виробничі майданчики нафтопереробних заводів, так і майданчики, розташовані у безпосередній близькості до місць накопичення сировини – портів, міських сміттєзвалищ, спеціальних полігонів.

Ключові слова: вторинна сировина, поліолефіни, піроліз, бензинова фракція, олефіни, температура, тиск, тривалість процесу

K.V. SHEVCHENKO, A.B. GRIGOROV

FEATURES OF RECEIVING THE GASOLINE FRACTION BY THERMAL PYROLYSIS OF POLYOLEFIN RAW MATERIALS

The article examines the peculiarities of the process of thermal pyrolysis of secondary polymer raw materials, aimed at obtaining a gasoline fraction - the basis for obtaining mixed or synthetic automobile gasoline. Based on the global experience of polymer processing, polyolefins represented by high-density polyethylene (HDLP) and polypropylene (PP) were chosen for the study. Thermal pyrolysis was carried out at atmospheric pressure (0.10-0.12 MPa) on a reactor-type laboratory installation with subsequent removal of the gasoline fraction (30-210 °C) from liquid pyrolysis products according to the ASTM D 86 method. It has been established that the temperature interval in which pyrolysis of polyolefin raw materials must be carried out is for HDLP - 400-430 °C (the maximum output of the gasoline fraction at 420 °C); for PP - 350-370 °C (maximum yield of gasoline fraction at 365 °C). By controlling the duration of thermal pyrolysis, it is possible to increase the yield of the gasoline fraction by an average of 15-17%, which must be taken into account during the industrial implementation and further operation of pyrolysis plants for polymer raw materials. Increasing the temperature of the end of boiling of the gasoline fraction from 150 °C to 210 °C allows to increase its output by 9% (for HDLP) and by 12% (for PP). But at the same time, there is also an increase in the content of olefins in it (by 13-14%), which is a positive point from the point of view of resistance to detonation of the gasoline fraction, and a negative point - in view of its low chemical stability. The conducted studies showed that secondary polyolefin raw materials should be considered as an alternative to classic raw materials (oil and gas condensate), and the pyrolysis process as the main technological process for obtaining the gasoline fraction - the basis for obtaining commercial automobile gasoline. Prospective places for the implementation of this technology are both production sites of oil refineries and sites located in close proximity to places of accumulation of the raw materials - ports, city landfills, special landfills.

Key words: secondary raw materials, polyolefins, pyrolysis, gasoline fraction, olefins, temperature, pressure, process duration

Вступ. Товарний автомобільний бензин відноситься до основного продукту, який на сьогоднішній день виробляється з вуглеводневої сировини (нафти або газового конденсату) та користується значним попитом на ринку нафтопродуктів України. Зменшення обсягів виробництва автомобільних бензинів, яке спостерігається в Україні останнім часом, при постійному розширенні автомобільного парку, призвело до необхідності імпортування цього палива із країн Європейського Союзу, що негативно позначилось на енергетичній незалежності України і її обороноздатності. Тому наукові роботи, які пов'язані з розробкою і промисловим впровадженням сучасних енергоефективних технологій виробництва автомобільного бензину в Україні, на сьогоднішній день, відрізняються своєю актуальністю.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань нафтопереробної промисловості України є збільшення обсягів виробництва автомобільного бензину, якість якого задовольняє вимоги діючого стандарту екологічної безпеки, зокрема за вмістом сірки вміст якої не повинен перевищувати 5 ppm [1]. Вирішення цього завдання включає у себе як шлях удосконалення існуючих технологій переробки нафти та газового конденсату (наприклад, розвинення процесу гідроочищення продуктів), так і шлях, що пов'язаний з пошуком альтернативної сировини з мінімальним вмістом сірки. На сьогодні другий шлях для України є більш простим та реалізується за рахунок залучення до технологічного процесу виробництва вторинної полімерної сировини. Запаси цієї сировини складають мільйони тон [2-4], а отже, дозволяють її розглядати як перспективну сировину,

здатну забезпечити промислове виробництво автомобільного бензину.

Аналіз останніх джерел. На сьогодні, з числа вторинної полімерної сировини, яку можна залучати до виробництва автомобільного бензину, більшість авторів [5-9] виділяють поліолефінову сировину, тобто поліетилен (HDLP) та поліпропілен (PP), які переробляють методом термічного або каталітичного піролізу. Як сировина ці полімери мають ряд суттєвих переваг перед нафтою і газовим конденсатом, які полягають в відсутності в їх складі сірковмісних сполук, відсутність токсичної дії (особливо коли йде мова про одноразовий посуд, пакувальні матеріали тощо) та географія місць їх накопичення (спрощена логістика) на території України.

Використовуючи принципи проектування виробництв нафтопереробної промисловості [10, 11], слід зазначити, що установки з виробництва автомобільного бензину з вторинної полімерної сировини необхідно розташовувати на виробничих майданчиках нафтопереробних заводів, використовуючи існуючу інфраструктуру, або на майданчиках у безпосередній близькості до місць накопичення сировини – портів, міських сміттєзвалищ, спеціальних полігонів.

Метою роботи є: дослідження особливостей отримання бензинової фракції термічним піролізом поліолефінової сировини, які в майбутньому будуть враховані при промисловому впровадженні даної технології на підприємствах нафтопереробної галузі України.

Виклад основного матеріалу

Першим кроком на шляху розробки та подальшого промислового впровадження технології виробництва автомобільного бензину шляхом переробки вторинної полімерної сировини методом термічного піролізу виступають лабораторні дослідження, проведені за програмою, що складається з наступних основних етапів:

1) Проведення термічного піролізу поліетилену (HDLP) та поліпропілену (PP) при атмосферному тиску (0,10-0,12 МПа) на лабораторній установці реакторного типу (див. рис. 1).

2) Розділення рідких продуктів піролізу за методом ASTM D 86. Отримання бензинової фракції – цільовий продукт для виробництва синтетичного бензину.

3) Визначити вплив тривалості та температурного інтервалу піролізу полімерної сировини на вихід широкої бензинової фракції з межами кипіння 30-210 °С.

4) Встановлення взаємозв'язку між виходом бензинової фракції, вмістом у ній олефінів і температурою кінця кипіння фракції ($t_{к.к.}$, °С).

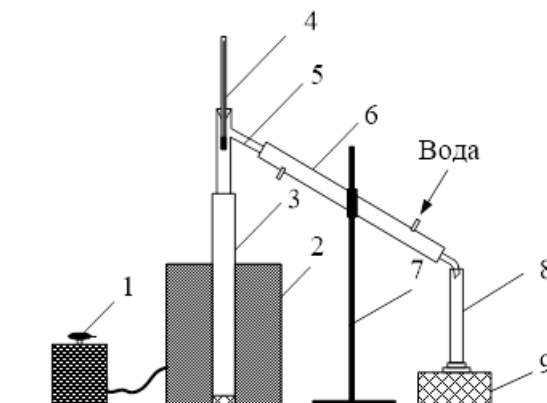


Рис. 1. Лабораторна установка з переробки поліетилену:

- 1 – автотрансформатор, 2 – пічка, 3 – кварцова трубка,
4 – термометр, 5 – дефлегматор,
6 – холодильник, 7 – штатив, 8 – приймач конденсату;
9 – підставка

Робота цієї установки полягає в наступному: у реактор періодичної дії, який складається з трубчатого електропечі (2) та кварцової трубки (3) поміщається 200 г подрібненої сировини (поліетилен та поліпропілен), яка нагрівається до температури піролізу (в залежності від сировини до 380-420 °С). Швидкість нагріву контролюється лабораторним автотрансформатором (1). При піролізі полімерної сировини утворюються пари та газ, які проходять крізь дефлегматор (5), термометр (4) та холодильник (6). Пари, що сконденсувалися, надходять до приймачу конденсату (8), а газ піролізу виходить у примусову вентиляційну систему. Слід зауважити, що при здійсненні лабораторного піролізу полімерної сировини, вода, що подається до холодильнику (6) повинна мати температуру не менше ніж 70 °С. Це зумовлено досить високою температурою застигання продуктів піролізу, що здатні при охолодженні переходити в твердий стан.

Результати дослідження виходу бензинової фракції (x , г) від температури (t , °С) піролізу представлено на рис. 2. Представлені результати свідчать про те, що температура в реакторі, особливо в зоні піролізу, суттєво впливає на вихід рідких продуктів, зокрема бензинової фракції (30-210 °С).

Процес утворення бензинової фракції при піролізі HDLP інтенсивно протікає в інтервалі температур 400-430 °С (максимальний вихід бензинової фракції при 420 °С, складає 22 г). При піролізі PP цей інтервал дещо зміщується в область менших температур та складає 350-370 °С (максимальний вихід бензинової фракції при 365 °С, складає 24 г). Саме цих температурних інтервалів необхідно дотримуватися при реалізації термічного піролізу полімерної сировини, спрямованому на отримання бензинової фракції.

Збільшення температури понад визначеного інтервалу буде призводити до перевитрати палива на нагрівання реакційної суміші, що в остаточному підсумку, сприятиме підвищенню собівартості кінцевого продукту.

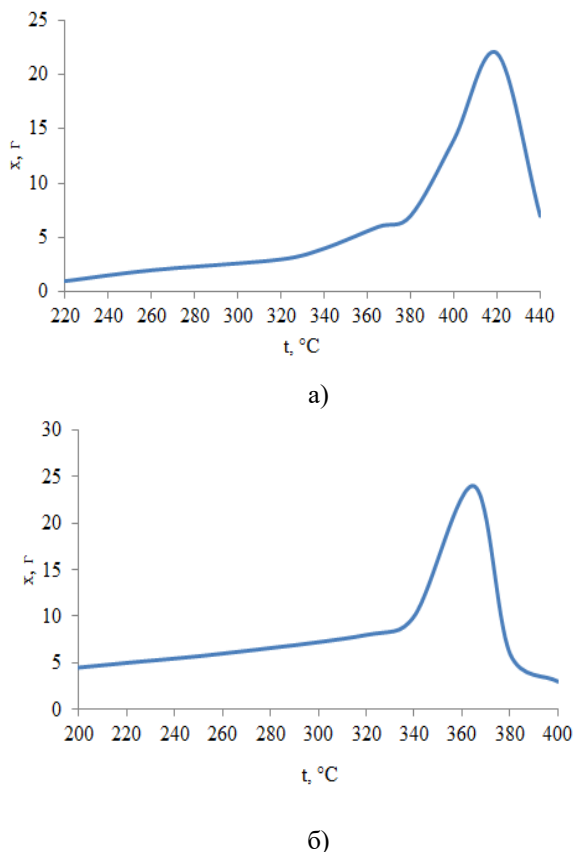


Рис. 2. Залежність виходу (x , г) бензинової фракції від температури (t , °C) піролізу: а) HDLP, б) PP

На наступному етапі досліджень було встановлено залежність масового виходу (x , %) цільового продукту піролізу – широкої рідкої паливної фракції від тривалості (τ , хв.) піролізу (див. рис. 3), що є важливим технологічним параметром процесу від якого залежать техніко-економічні показники його ефективності.

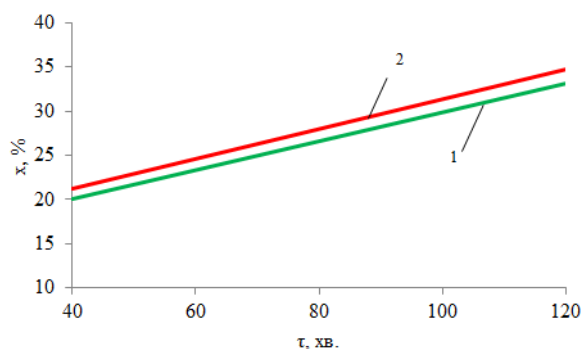


Рис. 3. Залежність виходу (x , %) бензинової фракції від тривалості (τ , хв) піролізу: 1 – HDLP, 2- PP

З отриманої залежності (див. рис. 3) виходить, що варіюючи тривалість процесу піролізу можна суттєво збільшити вихід бензинової фракції (30-210 °C). Так, це збільшення у середньому складає 15-17 %. Це пов'язано, насамперед, з поганою керованістю процесу, у порівнянні з каталітичним піролізом. При термічному піролізі полімерної сировини розпад полімерного ланцюга може відбуватися як за ланцюговим механізмом, так і випадково [12].

Характер залежностей для HDLP і PP повністю ідентичний, що пояснюється однаковою природою полімерів (відносяться до поліолефінів). Дещо збільшений вихід (1-2 %) бензинової фракції при піролізі PP зумовлено хімічною будовою його молекул – у PP кожний другий атом вуглецю є третинним [13] і менш термічно стійким ніж молекули лінійної будови.

Далі з рідких продуктів піролізу виділялися бензинові фракції з різними межами википання (до 30-150 °C, 30-180 °C, 30-200 °C та 30-210 °C), що відповідали зразкам товарних бензинів, які зустрічаються на ринку нафтопродуктів України.

Результати дослідження залежності виходу фракцій від температури їх кінця кипіння ($t_{к.к.}$, °C), представлено на рис. 4.

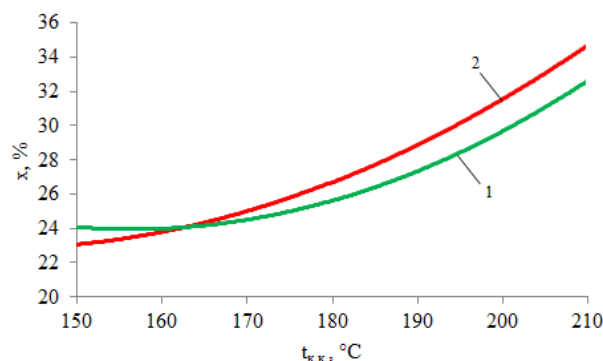


Рис. 4. Залежність виходу (x , %) бензинової фракції від кінця кипіння ($t_{к.к.}$, °C): 1 – HDLP, 2- PP

Залежності, представленні на рис. 4, ілюструють, що зі збільшенням температури кінця кипіння бензинової фракції з 150 °C до 210 °C відбувається збільшення виходу фракції: на 9 % для HDLP і на 12 % для PP. Але при підвищенні цієї температури зменшується повнота випаровування палива, порушується розподіл його по циліндрах двигуна, збільшується його витрата.

Відомо, що в рідких продуктах піролізу полімерної сировини завжди присутні олефінові вуглеводні, які, з одного боку, підвищують стійкість до детонації бензинової фракції [14], з іншого – погіршують її хімічну стабільність [15]. Результати дослідження залежності вмісту олефінів (O, %) від температури їх кінця кипіння ($t_{к.к.}$, °C), представлено на рис. 5.

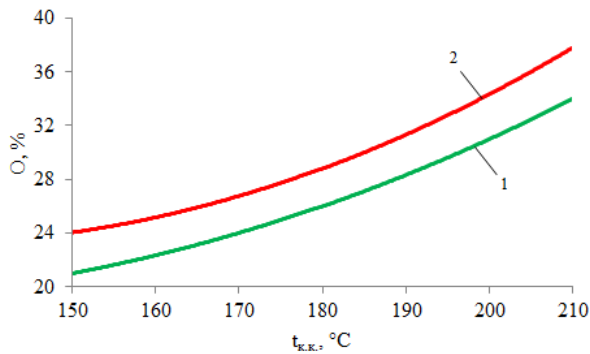


Рис. 5. Залежність вмісту олефінів (O, %) бензинової фракції від кінця кипіння ($t_{к.к.}$, °C): 1 – HDLP, 2- PP

Результати досліджень, представлені на рис. 4 ілюструють, що зі збільшенням температури кипіння бензинової фракції (на 60 °C) відбувається і збільшення вмісту у ній олефінів (13-14 %). Згідно з таблицею [1], вміст олефінів в товарних автомобільних бензинах не повинен перевищувати 18 %, що зумовлює необхідність їх зменшення або шляхом додаткової селективної очистки, або компаундуванням з іншими компонентами (базовими фракціями, присадками тощо).

Розраховані регресії, що описують експериментально отримані залежності (див. рис. 3-5), представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Рівняння регресії для отриманих залежностей

№	Полімер	Функція	Регресії для отриманих залежностей при $p=0,95$	R^2
1.	HDLP	$x=f(\tau)$	$x = 0,165 \times \tau + 13,4$	0,9973
	PP		$x = 0,17 \times \tau + 14,4$	0,9966
2.	HDLP	$x=f(t_{к.к.})$	$x = 0,003 \times t_{к.к.}^2 - 0,9485 \times t_{к.к.} + 98,167$	0,9835
	PP		$x = 0,0024 \times t_{к.к.}^2 - 0,6788 \times t_{к.к.} + 70,333$	0,9939
3.	HDLP	$O=f(t_{к.к.})$	$O = 0,0017 \times t_{к.к.}^2 - 0,3833 \times t_{к.к.} + 41$	0,9999
	PP		$O = 0,0023 \times t_{к.к.}^2 - 0,6159 \times t_{к.к.} + 63,583$	0,9983

Розраховані коефіцієнти детермінації (R^2) мають досить високі значення (0,9835-0,9999), що свідчить про адекватність представлених залежностей в дослідженому діапазоні значень.

Висновки

Представлені результати експериментальних досліджень дозволили визначити температурний інтервал в якому необхідно проводити піроліз поліолефінової сировини, спрямованого на отримання

бензинової фракції (межі википання 30-210 °C) – базового компоненту в виробництві товарного автомобільного бензину. Для піролізу HDLP цей інтервал складає 400-430 °C (максимальний вихід бензинової фракції при 420 °C); для піролізу PP - 350-370 °C (максимальний вихід бензинової фракції при 365 °C).

Тривалість піролізу є тим технологічним параметром варіюючи яким можна збільшити вихід бензинової фракції у середньому на 15-17 %, що необхідно враховувати при промисловому впровадженні та подальшій експлуатації установок піролізу полімерної сировини.

Збільшення температури кінця кипіння бензинової фракції з 150 °C до 210 °C дозволяє збільшити її вихід на 9 % (для HDLP) і на 12 % (для PP). Але водночас спостерігається і збільшення вмісту у ній олефінів (на 13-14 %), що є позитивним моментом з точки зору стійкості до детонації бензинової фракції і негативним – з огляду на низьку її хімічну стабільність.

Список літератури

1. ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні евро. Технічні умови». – К.: «ДП УкрНДНЦ», 2015. – 15 с.
2. Коломієць Т.М. Сучасні проблеми експертизи, регулювання та безпеки господарських систем / Т.М. Коломієць, Т.А. Караваєв, Т.Г. Глушкова // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки. – 2021. – № 26. – С. 86-94.
3. Національна стратегія управління відходами до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р). – 28с.
4. Турілова Х.О. Тверді побутові відходи в Україні: Потенціал розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами /Х.О. Турілова, Н.Л. Рязанова. Київ, 2015. – 152 с.
5. Md Hafizur Rahman. Pyrolysis of waste plastics into fuels and chemicals: A review / Md Hafizur Rahman, Prakashbhai R. Bhoi, Pradeep L. Menezes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Volume 188. – 113799. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113799>
6. Michal Holubčík. Pyrolysis Conversion of Polymer Wastes to Noble Fuels in Conditions of the Slovak Republic / Michal Holubčík, Ivana Kláčková, Peter Durčanský // Energies. – 2020. – Volume 13(18). – 4849. URL: <https://doi.org/10.3390/en13184849>
7. Shushay Hagos Gebre. Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics / Shushay Hagos Gebre, Marshet Getaye Sendeku, Mohamed Bahri // Chemistry Open. – 2021. – Volume 10, 1202–1226. URL: <https://doi.org/10.1002/open.2021001841202>
8. Shah H.N. A review on gasification and pyrolysis of waste plastics / H.N. Shah, M. Amin, A. Iqbal, I. Nadeem, M. Kalin, A.M. Soomar, A.M. Galal // Front. Chem. – 2022. – Volume 10. – 960894. URL: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.960894>
9. Ранський А.П. Альтернативна енергетика: отримання синтез-нафти в процесі піролізної переробки поліпропіленових відходів / А.П. Ранський, Б.В. Коріненко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2023. – № 2. – С. 6-14.
10. Юшко В. Л. Проектування нафтопереробних і нафтохімічних підприємств : підручник / В.Л. Юшко, М.В. Бурмістр, С.М. Русалін, С.Г. Пгіцин; Укр. держ. хім.-технол. ун-т. – Д., 2006. – 511 с.
11. Яцюк, Л. А. Основи проектування хімічних виробництв: навч. посібник / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв; «НТУУ КПІ». – Київ: КПІ, 2017. – 72 с.
12. Кузьменко М.Я. Технологія виробництва та перероблення

високомолекулярних сполук : підручник. Кн. 1. Полімери одержані за реакцією полімеризації, полімераналогічні перетворення, координаційні полімери / М.Я. Кузьменко, М.В. Бурмістр, Ю.М. Кобельчук. Дніпропетровськ : ДВНЗ «Укр. держ. хім.-технол. унт», 2015. – 545 с.

13. Солодка Л.М. Хімія та фізико-хімія високомолекулярних сполук : навч. посіб. / Л.М. Солодка, Г.А. Побігай, А.Ф. Бурбан. Київ : Вид. дім «Кієво-Могилянська академія», 2014. – 122 с.

14. Бойченко С.В. Антидетонаційні властивості авіаційних бензинів і способи їх забезпечення / С.В. Бойченко, О.Г. Кондакова // Вісник Національного транспортного університету. – 2016. – Випуск 2 (35). – С. 21-27.

15. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с.

References (transliterated)

1. DSTU 7687:2015 «BENZYN Y AVTOMOBIL'NI YEVRO. Tekhnichni umovy». – К.: «DP UkrNDNTS», 2015. – 15 s.

2. Kolomiyets' T.M. Suchasni problemy ekspertyzy, rehulyuvannya ta bezpeky hospodars'kykh system / T.M. Kolomiyets', T.A. Karavayev, T.H. Hlushkova // Visnyk L'vivs'koho torhovel'no-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 26. – S. 86-94.

3. Natsional'na stratehiya upravlinnya vidkhodamy do 2030 roku: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 8 lystopada 2017 r. № 820-r). – 28s.

4. Turilova K.H.O. Tverdi pobutovi vidkhody v Ukraini: Potensial rozvytku haluzi porodzhennya z tverdymy pobutovymy vidkhodamy / K.H.O. Turilova, N.L. Ryazanova. Kyiv, 2015. – 152 s.

5. Doktor Khafizur Rakhman. Pirolyz plastykovykh vidkhodiv u palyvo ta khimikaty: ohlyad / doktor Khafizur Rakhman, Prakashbkhay R. Bkhoz, Pradip L. Menezes // Ohlyady vidnovlyuvanoyi ta staloyi enerhiyi. – 2023. – Tom 188. – 113799.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113799>

6. Mikhal Holubchuk. Pirolyzne peretvorennya polimerykh vidkhodiv na blahorodne palyvo v umovakh Slovats'koyi Respubliky / Mikhal Holubchuk, Ivana Klachkova, Peter Dyurchans'kyu // Enerhetyka. – 2020. – Tom 13(18). – 4849.

URL: <https://doi.org/10.3390/en13184849>

7. Shushay Khahos Hebre. Ostanni tendentsiyi pirolizu plastmas, shcho ne rozkladayut'sya, vidkhodiv / Shushay Khahos Hebre.] Marshet

Hetaye Sendeku, Mokhamed Bakhri // Chemistry Open. – 2021. – Tom 10, 1202–1226.

URL: <https://doi.org/10.1002/open.2021001841202>

8. Shakh K.H. K.H. Ohlyad hazyfikatsiyi ta pirolizu plastykovykh vidkhodiv / K.H. K.H. Shakh, M. Amin, A. Ikbal, I. Nadim, M. Kalin, A.M. Soomar, A.M. Halal // Front. Chem. – 2022. – Tom 10. – 960894.

URL: <https://doi: 10.3389/fchem.2022.960894>

9. Rans'kyu A.P. Al'ternatyvna enerhetyka: otrymannya syntezy nafty v protsesi polipropilenovoyi pererobky / A.P. Rans'kyu, B.V. Korinenko // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2023. – № 2. – S. 6-14.

10. Yushko V . L. Proektuvannya naftererobnykh i naftokhimichnykh pidpnyemstv : pidruchnyk / V.L. Yushko, M.V. Burmistr, S.M. Rusalyn, S.H. ptitsyn; ukr. derzh. khim.-tekhnol. un-t. – D., 2006. – 511 c.

11. Yatsyuk L . A. Osnovy proektuvannya khimichnykh vyrobnystv: navch. posibnyk / L.A. Yatsyuk, O.I. Buket, H.S. Vasylyev; «NTUU KPI». – Kyiv : KPI, 2017. – 72 s.

12. Kuz'menko M.YA. Tekhnolohiya vyrobnytstva ta pereroblennya vysokomolekulyarnykh spolk : pidruchnyk. Kн. 1. Polimery oderzhani za reaktsiyeyu polimeryzatsiyi, polimeranolohichni peretvorennya, koordynatsiyi polimery / M.YA. Kuz'menko, M.V. Burmistr, YU.M. Kobel'chuk. Dnipropetrovs'k : DVNZ «Ukr. derzh. khim.-tekhnol. unt», 2015. – 545 c.

13. Solodka L.M. Khimiya ta fizyko-khimiya vysokomolekulyarnykh spolk : navch. posib. / L.M. Solodka, H.A. Pobihay, A.F. Burban. Kyiv : Vyd. dim «Kyievo-Mohylyans'ka akademiya», 2014. – 122 s.

14. Boychenko S.V. Antydetonatsiyi vlastyivosti aviatsiynykh benzyniv i sposoby yikh zabezpechennya / S.V. Boychenko, O.H. Kondakova // Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. – 2016. – Vypusk 2 (35). – S. 21-27.

15. Motorni palyva: vlastyivosti ta yakist' [tekst] pidruchnyk / Serhiy Boychenko, Andriy Pushak, Petro Topil'nyts'kyu, Kazymyr Leyda; za zah. red. prof. S. Boychenka. – K. : «Tsentri uchbovoyi literatury», 2017. – 324 s.

Надійшла (received) 10.02 2024р

Відомості про авторів / About the Authors

Шевченко Кирило Володимирович, (Shevchenko Kyryl) – доктор філософії (PhD), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4819-4663>; e-mail: drekstar2007@gmail.com.

Григоров Андрій Борисович, (Grigorov Andriy) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технологія переробки нафти, газу та твердого палива; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-7016>; e-mail: grigorovandrey@ukr.net.