

К. В. Шевченко, д. ф. PhD, А. Б. Григоров<sup>1</sup>, д. техн. н., професор

## ВТОРИННІ ПОЛІМЕРИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКООКТАНОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНУ

<sup>1</sup> *Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",  
Харків, Україна*

**Ключові слова:** автомобільні бензини; вторинна сировина; полімери; каталізатор; піроліз; гази; рідкі фракції, хімічний склад; олефіни; технологія.

**Вступ.** Автомобільні бензини відносяться до тих видів моторних палив разом зі збільшенням обсягів споживання яких відбувається і посилення вимог до їх складу та експлуатаційних властивостей. Стрімке зростання чисельності світового автомобільного парку сприяє постійному збільшенню обсягів виробництва бензину а несприятлива екологічна обстановка у світі досить жорстко обмежує вміст в складі бензинів хімічних речовин (сірки, азоту, ароматичних сполук тощо), які при згорянні паливно-повітряної суміші здатні утворювати небезпечні для здоров'я людини та навколишнього середовища речовини. Задля цього, на теперішній час, в країнах Європейського Союзу діють стандарти екологічної безпеки Євро5 та Євро 6. Отже, пошуки сировини та розробка екологічно чистих технологій її переробки, які дозволять здійснити виробництво автомобільних бензинів, що відповідають вимогам діючих стандартів, без суттєвого їх здороження, відноситься до найактуальніших завдань сьогодення.

**Мета та постановка завдання дослідження.** Спираючись на дані, наведені в роботах [1, 2] автомобільний бензин можна розглядати як суміш рідкої базової вуглеводневої фракції із температурою кипіння від 30 до 215 °С з різними компонентами та присадками, що підвищують її стійкість до детонації. Рідка базова вуглеводнева фракція складається із суміші ароматичних, нафтоєвих і парафінових вуглеводнів та їх похідних із числом атомів вуглецю від 5 до 10. Середня молекулярна маса цієї суміші в середньому знаходиться в межах 100–120 одиниць [3]. У відповідності до стандартів екологічної безпеки, які регламентують вміст сірки в товарному автомобільному бензині на рівні 5–10 ppm, для їх виробництва спеціально підбирають сировину (нафти, газові конденсати або їх суміші) [4], яка нерідко має значну вартість. Іншим підходом до зниження вмісту сірковмісних сполук в бензиновій фракції є проведення її гідроочищення з використанням водню, високих температур і тисків та складних комплексних каталізаторів. Окрім цього, зважаючи на геополітичні умови, що склалися навколо України останнім часом, виросла вартість і ускладнилася процедура транспортування як нафтової сировини, так і компонентів, які досить успішно використовувалися в складі бензинів і імпортувалися із-за кордону. Загалом все це призвело до збільшення виробничих витрат і, як наслідок, до зниження потужностей виробництва та власне здороження товарного автомобільного бензину.

Рішенням цієї проблеми є виробництво автомобільних бензинів з наявної і доступної сировини, використовуючи промисловий потенціал підприємств нафтопереробної галузі України. Пошук наявної і доступної сировини, на нашу думку, лежить в площині використання вторинної сировини, яка є більш дешевою сировиною ніж нафта і газові конденсати. До того ж, на теперішній час на території України на полігонах і сміттєзвалищах накопичилася значна кількість цієї сировини. З огляду на накопичені запаси, зда-

тні забезпечити промислове виробництво автомобільного бензину, низьку вартість, у порівнянні з нафтою та газовим конденсатом, хімічний склад, технологічність, найбільш перспективною сировиною, яка може бути використана в технології палива є вторинна полімерна сировина. При її термічній або термокаталітичній переробці можна отримати як базову вуглеводневу фракцію, так і стійкі до детонації компоненти автомобільних бензинів.

З огляду на це, метою даної роботи є аналіз можливості термічної або термокаталітичної переробки вторинної полімерної сировини в базові вуглеводневі фракції та компоненти товарних високооктанових автомобільних бензинів, які відповідають вимогам діючих в Україні стандартів екологічної безпеки.

**Аналіз публікацій.** Серед вторинної полімерної сировини для виробництва товарних автомобільних бензинів найбільш придатною вважається та сировина, яка в своєму складі не містить азоту, сірки та хлору, що досить часто вводяться до складу полімерних виробів для надання їх споживчих властивостей (наприклад, міцності) та спрощення умов їх отримання.

Наявність в складі полімеру азоту, сірки та хлору не тільки чинить негативний вплив на властивості отриманих з них товарних автомобільних бензинів, а й сприяють утворенню в процесі їх переробки різних шкідливих газоподібних викидів, для нейтралізації яких виникає потреба використання складних систем очищення. Спираючись на це зазначимо, що для використання в технології виробництва автомобільних бензинів є непридатними такі полімери як полівінілхлорид (ПВХ) та хлорсульфовані поліетилені (ХСП). Так, ХСП може містити до 2,5 % сірки та до 45 % хлору, а вміст хлору в ПВХ, може доходити аж до 57 % [5].

Інший полімер, який завдяки його властивостям неможливо переробити на товарний автомобільний бензин є поліетилентерефталат (PET). Продуктами термічної деструкції PET є бензол, дифеніл, CO, CO<sub>2</sub> та етилен [6]. Однак, існує робота [7], в якій запропоновано виробляти компонент бензину та антифризу шляхом метанолізу. Цей процес супроводжується кількісним перетворенням поліетилентерефталату (PET) у п-ксилол (PX) та етиленгліколь (EG) на модифікованому каталізаторі Cu/SiO<sub>2</sub> з використанням метанолу як розчинника і донору водню.

Натомість, більшість науковців сходяться на думці, що найбільш придатною сировиною для термічної та термокаталітичної переробки в компоненти автомобільних бензинів виступають поліолефіни: поліетилені (HDPE та LDPE) та поліпропілен (PP).

Тож в роботі [8] наведено особливості процесів термічної та термокаталітичної переробки HDPE та характеристика отриманих продуктів. Максимального виходу рідких продуктів деструкції – піролізної оливи, який складав біля 78,7 %, було досягнуто в інтервалі температур 440–460 °С.

В роботі [9] проводили піроліз PP і HDPE в діапазоні температур 250–400 °С з отриманням рідких паливо-подібних продуктів (вихід коливався в межах 69,82–80,88 %) з вмістом олефінових вуглеводнів на рівні 25,7 % для PP та 31,90 % для HDPE.

Шляхом термічного піролізу LDPE, при температурі 340 °С та атмосферному тиску, за допомогою ініціатору фазового переходу (1-гексену), за відсутності каталізатора, було отримано мазут з виходом біля 90 % [10].

Некаталітичний піроліз HDPE і LDPE при 450–621 °С дозволив отримати продукти, які за вуглеводневим складом (C<sub>5</sub>–C<sub>12</sub>) схожі на бензин. Вихід цих фракцій склав 17 % та 58 % відповідно [11].

Результати експериментів, пов'язаних із перетворенням мішків для транспортування відходів із поліетилену низької щільності (LDPE) на паливо за допомогою економічного методу каталітичного піролізу в реакторі періодичної дії з використанням ок-

сиду цинку (ZnO) як каталізатора представлено в роботі [12]. Конверсія сировини в синтетичну оливу склала 67,30 %. Вміст олефінів та ароматичних вуглеводнів склав 18,7 % та 40,0 % відповідно.

Досить цікаві результати, отримані в роботі [13], що присвячена дослідженню впливу вмісту бензину, отриманого при піролізі РР, в паливній суміші на потужність двигуна. Встановлено, що додавання 20 % синтетичного бензину у паливну суміш, зумовлює максимальну потужність двигуна (4,373 НР) при 3000 об/хв.

В роботі [14] представлено результати проведення термохімічної конверсії твердих відходів LDPE в реакторі зі зрідженим нафтовим газом (LPG). Вихід рідких продуктів склав 46 %, а їх теплота згоряння знаходилася на рівні 37500 кДж/кг.

Отримувати піролізну оливу, що за теплоотою згоряння подібну до мазуту, шляхом піролізу LDPE при температурах 385–425 °С запропоновано роботі [15]. Максимальний вихід піролізної олії склав 53,36 при температурі 405 °С, часу реакції 150 хв. та швидкості нагріву 8 °С/хв. Теплота згоряння піролізної оливи становила 43,438 кДж/кг.

**Експериментальні дослідження.** Проаналізувавши роботи, присвячені переробці поліолефінової сировини слід відзначити, що вони мають спільний вагомий недолік, що пов'язаний з переробкою чистої (модельної) полімерної сировини. В представлених дослідженнях практично ніколи не використовуються реальні об'єкти, що надходять із полігонів і сміттєзвалищ. Варто зазначити, що в тих випадках, коли в якості сировини використовується чистий або відсортований полімерний матеріал із пунктів сортування вторинної сировини, за вмістом сірки та азоту, рідкі продукти деструкції будуть відповідати вимогам стандартів Євро-5 та Євро-6. Коли ж сировина надходить із полігонів і сміттєзвалищ, то в рідких продуктах деструкції може знаходитися біля 200 ppm сірко-вмісних сполук, що не відповідає навіть стандарту Євро-3, що тимчасово прийнятий в Україні. Отже, етап попередньої підготовки полімерної сировини, який складається із її сортування за видами, промивання, просушування та подрібнення є досить важливим в забезпеченні відповідної якості кінцевого продукту та має бути невід'ємною частиною будь-якої термодеструктивної переробки полімерів в базові фракції або високооктанові компоненти автомобільних бензинів.

До того ж, проведені нами лабораторні дослідження (досліджувалося 20 зразків полімерної сировини), дозволили визначити загальні середні температурні ( $t$ , °С) і гідравлічні ( $P$ , МПа) режими процесу термічного і каталітичного піролізу та відповідний до цих режимів вихід бензинової фракції ( $V_{б.ф.}$ , %), що википає в межах 30–200 °С (див. табл. 1).

Вміст олефінових (О, %) і ароматичних (А, %) вуглеводнів, що зумовлюють стійкість до детонації отриманих бензинових фракцій (ОЧМ, од.), визначений за допомогою капілярного газовому хроматографі GC 2010 Plus, фірми Shimadzu та представлено в табл. 2.

Отримані результати повністю узгоджуються з дослідженнями вітчизняних і закордонних вчених щодо можливості використання бензинових фракцій, отриманих шляхом термічного і каталітичного піролізу вторинної полімерної сировини при виробництві автомобільних бензинів. Але досить значний вміст олефінових вуглеводнів у складі отриманих фракцій сприяє їх не високій хімічній стабільності та значно знижує тривалість зберігання такої продукції. Тому, незважаючи на пониження стійкості до детонації, для отримання кінцевого товарного продукту – базової фракції, необхідно провести селективну очистку, спрямовану на зниження вмісту олефінових вуглеводнів до вимог стандарту [16]. Іншим способом зменшення вмісту олефінових вуглеводнів в бензиновій фракції, отриманої термічним або термокаталітичним піролізом є її компаундування з прямогонними бензиновими фракціями, або високооктановими продуктами вторинних термокаталітичних процесів переробки нафтової сировини.

Таблиця 1 – Температурні і гідравлічні режими процесу термічного і каталітичного піролізу

Тип полімерної сировини	Піроліз					
	Термічний			Каталітичний		
	V <sub>б.ф.</sub> , %	P, МПа	t, °C	V <sub>б.ф.</sub> , %	P, МПа	t, °C
HDPE, LDPE	35–40	0,1–3,5	380–450	50–60	0,5–2,0	360–420
PP	40–50		330–390			

Таблиця 2 – Вміст олефінових і ароматичних вуглеводнів в отриманих бензинових фракціях

Тип полімерної сировини	Піроліз					
	Термічний			Каталітичний		
	A, %	O, %	ОЧМ, од.	A, %	O, %	ОЧМ, од.
HDPE, LDPE	–	32–37	68	30–34	27–30	80
PP	–	35–41	71	32–37	30–35	83

При реалізації технології термічного та термокаталітичного піролізу вторинної полімерної сировини окрім рідких продуктів утворюються побічні продукти у вигляді коксу (до 10 %) та вуглеводневих газів (в середньому 10–25 %). Зазвичай, ці продукти використовують для власних потреб виробництва, для отримання теплової енергії. Проте більш доцільним є використання вуглеводневих газів, представлених головним чином, етиленом, пропіленом, бутиленом [17] як сировини для отримання полімер-бензину (базова фракція) та високооктанових компонентів – алкілатів.

З огляду на все викладене вище, у загальному вигляді технологію виробництва товарних високооктанових автомобільних бензинів з вторинної полімерної сировини (HDPE, LDPE та PP), можна представити у вигляді структурної блок-схеми, наведеної на рис. 1.

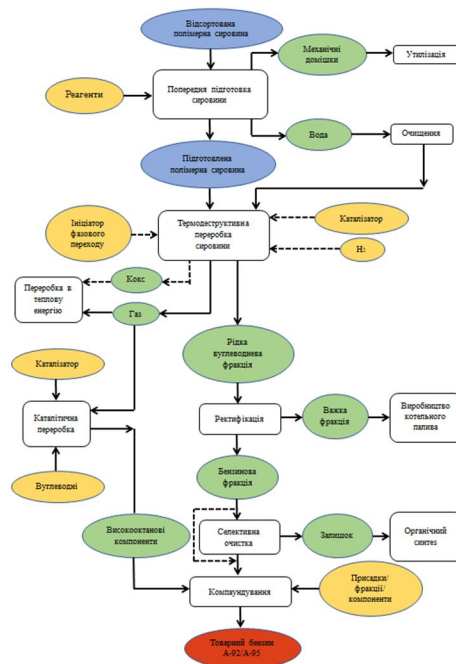


Рисунок 1 – Схема виробництва товарних високооктанових автомобільних бензинів з вторинної полімерної сировини (HDPE, LDPE та PP)

З метою раціонального використання виробничих ресурсів в запропонованій схемі виробництва високооктанових автомобільних бензинів, передбачено використання побічних продуктів виробництва. Так, на стадії підготовки сировини утворюються механічні домішки та вода. Механічні домішки використовуються у дорожньому будівництві для створення під'їзних шляхів до установки, вода після механічної та біохімічної очистки повертається до виробничого циклу, де використовується в теплообмінному обладнанні. Побічні продукти термодеструктивної переробки полімерної сировини кокс та газ використовуються для забезпечення виробничого процесу (отримання теплової енергії). У випадках, коли кількість утворених газів піролізу сягає 15 %, передбачено їх використання як сировини каталітичної переробки, спрямованої на отримання алкілатів.

**Висновки.** Аналіз технічної інформації щодо можливості використання вторинної полімерної сировини у виробництві високооктанових автомобільних бензинів показав, що найбільш перспективною сировиною, при переробці якої можна отримати продукти (базові фракції та високооктанові компоненти), які відповідають вимогам діючих стандартів екологічної безпеки, виступають поліолефіни: HDPE, LDPE та PP.

Встановлено, що основним технологічним процесом переробки такої сировини виступає термічний та термокаталітичний піроліз ( $t=320-450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $p=0,1-3,5\text{ МПа}$ ), який дозволяє отримати рідку бензинову фракцію (35–70 %) – цільовий продукт. В якості побічних продуктів утворюються гази піролізу, важкі паливні фракції, коксовий залишок, які можуть бути використані для власних потреб виробництва, для отримання теплової енергії. Водночас в тих випадках, коли серед продуктів піролізу утворюється понад 15 % газів (етилену, пропілену та бутилену), більш доцільним з економічної точки зору, є його каталітична переробка в полімер-бензин (базову фракцію) та високооктанові компоненти – алкілати.

На підставі проведених теоретичних і практичних досліджень запропоновано схему виробництва товарних високооктанових автомобільних бензинів з вторинної полімерної сировини (HDPE, LDPE та PP), яка базується на раціональному використанні виробничих ресурсів та побічних продуктів виробництва.

#### Література

1. Локомотивні експлуатаційні матеріали: навч. посіб. Ч. 1. Паливо / Д.С. Жалкін, С.Г. Жалкін, В.Г. Пузир, О.О. Анацький; за заг. ред. проф. С.Г. Жалкіна. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 106 с.
2. 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.
3. Сіренко Г.О. Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: [монографічний підручник (спеціальний курс лекцій)] [за ред. Г. О. Сіренка] / Г.О. Сіренко, В.І. Кириченко, І.В. Сулима. – Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2017 –366 с.
4. Tertyshna O.V. Estimatin of oil mixture componets compatibility by oscillator methodology / O.V. Tertyshna, K.V. Roienko, O.O. Kalinichenko, L.O. Snizhko // Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: монографія. – Київ: НАУ, 2014. – С. 159–164.
5. Гетьманчук Ю.П. Хімія високомолекулярних сполук : підруч. / Ю.П. Гетьманчук, М. М. Братичак. – Львів : Вид-во «Львівська політехніка», 2008. – 460 с.
6. Черваков Д.О. Сучасне уявлення про перебіг процесів деструкції поліетилен-терефталату / Д.О. Черваков, К.М. Сухий, О.В. Черваков, О.С. Сverdlikovska // Journal of Chemistry and Technologies, 2023, 31(3), 522–529.

7. Zhiwen Gao. Converting waste PET plastics into automobile fuels and antifreeze components / Zhiwen Gao, Bing Ma, Shuang Chen, Jingqing Tian, Chen Zhao // *Nature Communications*. – 2022. – Volume 13. – 3343.
8. Conversion of waste high-density polyethylene into liquid fuels. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment for the Award of the Degree of doctor of philosophy in chemical engineering. / Sachin Kumar. Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela-769008, 2015. – 206 p.
9. Imtiaz Ahmad. Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene Into Premium Oil Products / Imtiaz Ahmad, M. Ismail Khan, Hizbullah Khan, Muhammad Ishaq // *International Journal of Green Energy*. – 2014. – Volume 12(7). – 140303064405005. DOI:10.1080/15435075.2014.880146.
10. Yuanjia Zhang. Conversion of Polyethylene to High-Yield Fuel Oil at Low Temperatures and Atmospheric Initial Pressure / Yuanjia Zhang, Xueru Chen, Leilei Cheng, Jing Gu, Yulin Xu // *Int J Environ Res Public Health*. – 2023. – Volume 20(5). – 4048. DOI: 10.3390/IJERPH20054048.
11. Enggar Hero Istoto. Production of Fuels From HDPE and LDPE Plastic Waste via Pyrolysis Methods / Enggar Hero Istoto, Widayat, Singgih Saptadi // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – № 125. – 14 011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912514011>.
12. Rajan, K.P. Catalytic Pyrolysis of Waste Low-Density Polyethylene (LDPE) Carry Bags to Fuels : Experimental and Exergy Analyses / Rajan, K.P.; Mustafa, I.; Gopanna, A.; Thomas, S.P. // *Recycling*. – 2023. – Volume 8(63). – 8040063. <https://doi.org/10.3390/recycling8040063>.
13. Aditya Wahyu Pratama. Performance Test of A mixture of Polypropylene Plastic Fuel from Pyrolysis with Gasoline to Torque and engine Power / Aditya Wahyu Pratama, Winarko // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Volume 1569. – 032045. doi:10.1088/1742-6596/1569/3/032045.
14. Tuly S.S. Liquid fuel production by pyrolysis of polythene and PET plastic / S.S. Tuly, Md. Momen Shahriar Joarder, Md. Enamul Haque // *AIP Conf. Proc.* – 2019. – Volume 2121(1). – 120001. <https://doi.org/10.1063/1.5115938>.
15. Mueanmas, C. Liquid Fuel Production from Polyethylene Plastic Waste by Pyrolysis Process / Mueanmas, C., Nikhom, R. // *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*. – 2022. – Volume 14(2), 405-417.
16. ДСТУ 7687:2015 «БЕНЗИНИ АВТОМОБІЛЬНІ ЄВРО. Технічні умови». – К.: «ДП УкрНДНЦ», 2015. – 15 с.
17. Supriyanto. Gaseous products from primary reactions of fast plastic pyrolysis / Supriyanto, Paivi Ylitervo, Tobias Richards // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2021. – Volume 158. – 105248. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105248>.

#### Bibliography (transliterated)

1. Lokomotivni ekspluatatsiyini materIali: navch. posib. Ch. 1. Palivo / D.S. Zhalkin, S.G. ZhalkIn, V.G. Puzir, O.O. Anatskiy; za zag. red. prof. S. G. Zhalkina. – Harkiv: UkrDUZT, 2021. – 106 p.
2. Motorni paliva: vlastivosti ta yakist [tekst] pidruchnik / Sergiy Boychenko, Andriy Pushak, Petro Topilnitskiy, Kazimir Leyda; za zag. red. prof. S. Boychenka. – K. : «Tsentr uchbovoyi literaturi», 2017. – 324 p.
3. Sirenko G.O. Flzikhohimiya palivno-mastilnih materialiv: [monografichniy pidruchnik (spetsialniy kurs lektsiy)] [za red. G. O. Sirenka] / G.O. Sirenko, V.I. Kirichenko, I.V. Sulima. – Ivano-Frankivsk : Suprun V. P., 2017 –366 p.

4. Tertyshna O.V. Estimatin of oil mixture componets compatibility by oscillator methodology / O.V. Tertyshna, K.V. Roienko, O.O. Kalinichenko, L.O. Snizhko // Problemi hImmotologiyi. Teoriya ta praktika ratsionalnogo vikoristannya traditsiynih i alternativnih palivno-mastilnih materialiv: monografiya. – Kiyiv: NAU, 2014. – P. 159–164.
5. Getmanchuk Yu.P. Himiya visokomolekulyarnih spoluk : pidruch. / Yu.P. Getmanchuk, M.M. Bratichak. – Lviv : Vid-vo «Lvivska politehnika», 2008. – 460 p.
6. Chervakov D.O. Suchasne uyavlennya pro perebig protsesiv destruktseyi polietilentereftalatu / D.O. Chervakov, K.M. Suhyy, O.V. Chervakov, O.S. Sverdlikovska // Journal of Chemistry and Technologies, 2023, 31(3), 522–529.
7. Zhiwen Gao. Converting waste PET plastics into automobile fuels and antifreeze components / Zhiwen Gao, Bing Ma, Shuang Chen, Jingqing Tian, Chen Zhao // Nature Communications. – 2022. – Volume 13. – 3343.
8. Conversion of waste high-density polyethylene into liquid fuels. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment for the Award of the Degree of doctor of philosophy in chemical engineering. / Sachin Kumar. Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela-769008, 2015. – 206 p.
9. Imtiaz Ahmad. Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene Into Premium Oil Products / Imtiaz Ahmad, M. Ismail Khan, Hizbullah Khan, Muhammad Ishaq // International Journal of Green Energy. – 2014. – Volume 12(7). –140303064405005. DOI:10.1080/15435075.2014.880146.
10. Yuanjia Zhang. Conversion of Polyethylene to High-Yield Fuel Oil at Low Temperatures and Atmospheric Initial Pressure / Yuanjia Zhang, Xueru Chen, Leilei Cheng, Jing Gu, Yulin Xu // Int J Environ Res Public Health. – 2023. – Volume 20(5). – 4048. DOI: 10.3390/IJERPH20054048.
11. Enggar Hero Istoto. Production of Fuels From HDPE and LDPE Plastic Waste via Pyrolysis Methods / Enggar Hero Istoto, Widayat, Singgih Saptadi // E3S Web of Conferences. – 2019. – # 125. – 14 011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912514011>.
12. Rajan, K.P. Catalytic Pyrolysis of Waste Low-Density Polyethylene (LDPE) Carry Bags to Fuels : Experimental and Exergy Analyses / Rajan, K.P.; Mustafa, I.; Gopanna, A.; Thomas, S.P. // Recycling. – 2023. – Volume 8(63). – 8040063. <https://doi.org/10.3390/recycling8040063>.
13. Aditya Wahyu Pratama. Performance Test of A mixture of Polypropylene Plastic Fuel from Pyrolysis with Gasoline to Torque and engine Power /Aditya Wahyu Pratama, Winarko // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1569. – 032045. doi:10.1088/1742-6596/1569/3/032045.
14. Tuly S.S. Liquid fuel production by pyrolysis of polythene and PET plastic /S.S. Tuly, Md. Momen Shahriar Joarder, Md. Enamul Haque // AIP Conf. Proc. – 2019. – Volume 2121(1). – 120001. <https://doi.org/10.1063/1.5115938>.
15. Mueanmas, C. Liquid Fuel Production from Polyethylene Plastic Waste by Pyrolysis Process / Mueanmas, C., Nikhom, R. // Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal. – 2022. – Volume 14(2), 405–417.
16. DSTU 7687:2015 «BENZINI AVTOMOBILNI EVRO. TehnIchnI umovi». – K.: «DP UkrNDNTs», 2015. – 15 p.
17. Supriyanto. Gaseous products from primary reactions of fast plastic pyrolysis /Supriyanto, Paivi Ylitervo, Tobias Richards // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2021. – Volume 158. – 105248. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105248>.

К. В. Шевченко, А. Б. Григоров

## **ВТОРИННІ ПОЛІМЕРИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНА СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКООКТАНОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНУ**

В статті проаналізовано можливість розширення сировинної бази процесу виробництва товарного високооктанового автомобільного бензину марок А-92 та А-95 за рахунок залучення вторинної полімерної сировини. Визначено види сировини, що дозволить отримувати базові фракції або компоненти товарних бензинів, які в подальшому будуть використовуватися при виробництві товарних автомобільних бензинів, які за своїм хімічним складом та властивостями відповідатимуть вимогам стандартів екологічної безпеки прийнятих в Україні та країнах Європейського Союзу.

Встановлено, що основною сировиною, яка здатна замінити нафту та газові конденсати є вторинна поліолефінова сировина, представлена поліетиленами (HDPE та LDPE) та поліпропіленом (PP), а основним процесом її переробки виступає термічний або термокаталітичний піроліз. Пріоритетною є сировина, що безпосередньо утворюється на виробництві в вигляді відходів та сировина, яка надходить з пунктів сортування. Одночасно вторинна полімерна сировина, не зважаючи на джерело її походження, повинна пройти стадію попередньої підготовки, що включає в себе сортування, подрібнення, промивку та просушку сировини.

Практичні дослідження показали, що цей процес реалізується на установках реакторного типу при температурах 320–450 °С і тисках 0,1–3,5 МПа та дозволяє отримати значний вихід (35–70 %) рідкого продукту піролізу – бензинової фракції з межами википання 30–200 °С. Разом з рідкими продуктами утворюється понад 15 % газів (етилену, пропілену та бутілену), які доцільно переробляти в полімер-бензин (базову фракцію) та високооктанові компоненти – алкілати.

В результаті проведених досліджень, запропоновано схему виробництва товарних високооктанових автомобільних бензинів з вторинної полімерної сировини (HDPE, LDPE та PP), яка базується на раціональному використанні виробничих ресурсів та побічних продуктів виробництва.

**Ключові слова:** автомобільні бензини; вторинна сировина; полімери; каталізатор; піроліз; газ; рідкі фракції, хімічний склад; олефіни; технологія.

К. В. Шевченко, А. Б. Григоров

## **ВТОРИЧНЫЕ ПОЛИМЕРЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИСОКООКТАНОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНА**

В статье проанализирована возможность расширения сырьевой базы процесса производства товарного высокооктанового автомобильного бензина марок А-92 и А-95 за счет привлечения вторичного полимерного сырья. Определены виды сырья, позволяющие получать базовые фракции или компоненты товарных бензинов, которые в дальнейшем будут использоваться при производстве товарных автомобильных бензинов с химическим составом и свойствами, удовлетворяющих требованиям стандартов экологической безопасности, принятых в Украине и странах Европейского Союза.

Установлено, что основным сырьем, которое способно заменить нефть и газовые конденсаты, является вторичное полиолефиновое сырье, представленное полиэтиленами



(HDPE и LDPE) и полипропиленом (PP), а основным процессом его переработки выступает термический или термокаталитический пиролиз. Приоритетным является сырье, непосредственно образующееся на производстве в виде отходов, и сырье, поступающее из пунктов сортировки. При этом, вторичное полимерное сырье, несмотря на источник его происхождения, должно пройти стадию предварительной подготовки, которая включает в себя сортировку, дробление, промывку и просушку.

Практические исследования показали, что этот процесс реализуется на установках реакторного типа при температурах 320–450 °С и давлениях 0,1–3,5 МПа, и позволяет получить значительный выход (35–70 %) жидкого продукта пиролиза – бензиновой фракции с пределами выкипания 30–200 °С. Вместе с жидкими продуктами образуется более 15 % газов (этилена, пропилена и бутилена), которые целесообразно перерабатывать в полимер-бензин (базовую фракцию) и высокооктановые компоненты – алкилаты.

В результате проведенных исследований, предложена схема производства товарных высокооктановых автомобильных бензинов из вторичного полимерного сырья (HDPE, LDPE и PP), которая базируется на рациональном использовании производственных ресурсов и побочных продуктов производства.

**Ключевые слова:** автомобильный бензин; вторичное сырье; полимеры; катализатор; пиролиз; газы; жидкие фракции, химический состав; олефины; технология.

K. V. Shevchenko, A. B. Grigorov

## SECONDARY POLYMERS AS A PROSPECTIVE RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF HIGH-OCTANE AUTOMOBILE GASOLINE

The article analyzes the possibility of expanding the raw material base of the production process of commercial high-octane automobile gasoline of the A-92 and A-95 brands due to the involvement of secondary polymer raw materials. The types of raw materials that will make it possible to obtain basic fractions or components of commercial gasolines that will be used in the production of commercial automobile gasolines that, according to their chemical composition and properties, will meet the requirements of environmental safety standards adopted in Ukraine and the countries of the European Union have been determined.

It was established that the main raw material capable of replacing oil and gas condensate is secondary polyolefin raw material, represented by polyethylene (HDPE and LDPE) and polypropylene (PP), and the main process of its processing is thermal or thermocatalytic pyrolysis. Priority is given to raw materials that are directly generated in production in the form of waste and raw materials that come from sorting points. At the same time, secondary polymer raw materials, regardless of their source of origin, must undergo a stage of preliminary preparation, which includes sorting, crushing, washing and drying of raw materials.

Practical studies have shown that this process is implemented on reactor-type installations at temperatures of 320–450 °С and pressures of 0.1–3.5 МПа and allows obtaining a significant yield (35–70 %) of the liquid product of pyrolysis – a gasoline fraction with a boiling point of 30–200 °С. Along with liquid products, more than 15 % of gases (ethylene, propylene and butylene) are formed, which should be processed into polymer gasoline (base fraction) and high-octane components – alkylates.

As a result of the research, a scheme for the production of commercial high-octane automobile gasoline from secondary polymer raw materials (HDPE, LDPE and PP) is proposed, which is based on the rational use of production resources and production by-products.

**Keywords:** automobile gasoline; secondary raw materials; polymers; catalyst; pyrolysis; gases; liquid fractions, chemical composition; olefins; technology.